

# Phytoremediation of heavy metals in the soil. A systematic review of the literature between the years 2012-2022

Wilton Jaime Bobadilla Roman<sup>1</sup>, Joel Alexander Valderrama De La Cruz<sup>1</sup>, Jessica Marleny Luján Rojas, Mg.<sup>2</sup>,

Grant Ilich LLaque Fernández, Mg.<sup>3</sup>, and Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, N00167982@upn.pe, N00172131@upn.pe

<sup>2</sup>Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

<sup>3</sup>Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe, marlon.valderrama@upn.pe

**Abstract**– *Currently the presence of heavy metals in the soil considerably affects the environment and human health. Therefore, this review aimed to describe the importance of phytoremediation of heavy metals in the soil, based on the analysis of research articles. For this, the PRISMA methodology was used as a basis, whose general purpose is the impact of heavy metals in soils. The results of this review show a high proportion of national publications corresponding to China (20%), Peru (12%), Colombia and Spain (8%). Likewise, it was determined that there are different types of final disposal classified as agricultural land (69%), urban (20%), mining (7%) and industrial (4%). Also, it is described that the *Lonicera japonica* Thunb species is presented as the best *Cr* accumulating plant, because it would offer great opportunities in the phytoremediation process. In this same context, the plant *Helianthus annuus* L., would behave as a phytostabilizer of soil contaminated by Cd; In this sense, the species *Zea mays* L., is efficient for the phytoextraction process of heavy metals such as Pb and Cd. Thus, it was identified that the phytoremediation species that have the highest concentrations and dispersions of heavy metals are *Miconia* sp. and *Erica cinerea* L.; and the lowest are Halophyte *Halogeton glomeratus* and *Brassica napus*. It was concluded that, despite the minimum sustainable, lasting and more effective actions that minimize the risks of contamination; Phytoremediation of heavy metals in the soil is presented as a fundamental low-cost green technology to consider.*

**Keywords**– *Phytoremediation, Green Technology, Heavy Metals, Soils.*

**Keywords**– *Phytoremediation, Green Technology, Heavy Metals, Soils.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.21>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

# Phytoremediation of heavy metals in the soil. A systematic review of the literature between the years 2012-2022

## Fitorremediación de metales pesados en el suelo. Una revisión sistemática de la literatura entre los años 2012-2022

Wilton Jaime Bobadilla Roman<sup>1</sup>, Joel Alexander Valderrama De La Cruz<sup>1</sup>, Jessica Marleny Luján Rojas, Mg.<sup>2</sup>, Grant Ilich LLaque Fernández, Mg.<sup>3</sup>, and Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú, N00167982@upn.pe, N00172131@upn.pe

<sup>2</sup>Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

<sup>3</sup>Departamento de Humanidades, Universidad Privada del Norte, Perú, grant.laque@upn.pe, marlon.valderrama@upn.pe

**Resumen**– Actualmente la presencia de metales pesados en el suelo afecta considerablemente el medio ambiente y la salud humana. Por ende, esta revisión tuvo como objetivo describir la importancia de la fitorremediación de metales pesados en el suelo, a partir del análisis de artículos de investigación. Para esto se empleó como base, la metodología PRISMA, cuyo propósito general es el impacto de los metales pesados en los suelos. Los resultados de esta revisión muestran una alta proporción de publicaciones nacionales correspondientes a China (20%), Perú (12%), Colombia y España (8%). Asimismo, se determinó que existen diferentes tipos de disposición final clasificados en suelos agrícolas (69%), urbanos (20%), mineros (7%) e industriales (4%). También, se describe que la especie *Lonicera japonica* Thunb, es presentada como la mejor planta acumuladora de Cr, debido a que ofrecería grandes oportunidades en el proceso de fitorremediación. En ese mismo contexto, la planta *Helianthus annuus* L., se comportaría como un fitoestabilizador del suelo contaminado por Cd; en tal sentido, la especie *Zea mays* L., es eficiente para el proceso de fitoextracción del metal pesado como el Pb y Cd. Es así, como se identificó que las especies de fitorremediación que tienen las concentraciones y dispersiones de metales pesados más altas son *Miconia* sp. y *Erica cinerea* L.; y las más bajas son *Halophyte Halogeton glomeratus* y *Brassica napus*. Se concluyó que, a pesar de las mínimas acciones sustentables, duraderas y con mayor efectividad que minimicen los riesgos de contaminación; la fitorremediación de metales pesados en el suelo, es presentada como una tecnología verde fundamental de bajo costo a considerar.

**Palabras clave**– Fitorremediación, Tecnología verde, Metales Pesados, Suelos.

**Abstract**– Currently the presence of heavy metals in the soil considerably affects the environment and human health. Therefore, this review aimed to describe the importance of phytoremediation of heavy metals in the soil, based on the analysis of research articles. For this, the PRISMA methodology was used as a basis, whose general purpose is the impact of heavy metals in soils. The results of this review show a high proportion of national publications corresponding to China (20%), Peru (12%), Colombia and Spain (8%). Likewise, it was determined that there are different types of final disposal classified as agricultural land (69%), urban (20%), mining (7%) and industrial (4%). Also, it is described that the *Lonicera japonica* Thunb species is presented as the best Cr accumulating plant, because it would offer great opportunities in the phytoremediation process. In this same context, the plant *Helianthus annuus* L., would behave as a phytostabilizer of soil contaminated by Cd; In this sense, the species *Zea mays* L., is efficient for the phytoextraction process of heavy metals such as Pb and Cd. Thus, it was identified that the phytoremediation species that have the highest concentrations and dispersions of heavy metals are *Miconia* sp. and *Erica cinerea* L.; and the lowest are *Halophyte Halogeton glomeratus* and *Brassica napus*. It was concluded that, despite the minimum sustainable, lasting and more effective actions that minimize the risks of contamination; Phytoremediation of heavy metals in the soil is presented as a fundamental low-cost green technology to consider.

**Keywords**– Phytoremediation, Green Technology, Heavy Metals, Soils.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.21>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

### I. INTRODUCCIÓN

Las plantas mineras y metalúrgicas, los efluentes industriales, las actividades urbanas, el uso de fertilizantes, los residuos sólidos; han sido considerados como fuentes fundamentales de contaminación del suelo. Esto supone, no sólo un alto riesgo para este recurso finito primordial, sino también, para el medio ambiente y la salud humana [1]. Si bien es cierto, el suelo presta diversos servicios ecosistémicos [2]; no obstante, es lamentable ver que este bien primordial, se vea afectado por los diferentes tipos de contaminación. Por ende, un impacto negativo en el recurso suelo es la contaminación por metales pesados [3].

Por otro lado, el recurso hídrico (agua) también se ha visto afectado por la contaminación de metales pesados [4]. Por ejemplo, se estima que “en Bangladesh, la contaminación del agua por metales pesados, corresponde al 70% del recurso hídrico del país” [5]. En efecto, proveniente principalmente de la actividad minera; la cual, genera excesivas cantidades de residuos líquidos y sólidos [6]. A comparación de ello, en México, la actividad minera ha ocasionado graves daños ambientales; presentando al suelo como el recurso más afectado [7]; de igual manera, se evidenció en India, debido al riego de cultivos (proveniente de aguas contaminadas de efluentes mineros) [5].

Es importante recalcar que, los metales están de forma natural en el medio ambiente, los cuáles, son aportados a los suelos y al ciclo hidrológico durante la erosión de rocas ígneas y metamórficas [8]. Sin embargo, los metales pesados se definen como aquellos metales comprenden una densidad atómica superior a 5 g/cm<sup>3</sup> [9]; siendo estos perjudiciales por su persistencia y toxicidad al ingresar al suelo, donde, tienden a bioacumularse y biomagnificarse en las cadenas tróficas [3].

A raíz de ello, nace la fitorremediación, está concierne simplemente a la degradación y/o eliminación de un contaminante en particular; en un determinado sitio contaminado y puede ser por una planta específica o un grupo de estas [10]. Asimismo, está se divide en diferentes técnicas como: fitoextracción, fitofiltración, fitoestabilización, fitovolatilización, fitodegradación y rizodegradación [11]. La relación que tiene la fitorremediación y los metales pesados, es de manera sustancial y crucial; debido a la atención que brinda la fitorremediación como una novedosa tecnología verde sostenible, para la estabilización y remediación de la contaminación por metales pesados [12]. En donde, la fitoextracción y la fitoestabilización de los contaminantes son uno de los campos más estudiados y de mayor avance científico [13].

Por todo lo anterior, la inadecuada disposición final de estos contaminantes en el suelo genera impactos negativos, debido a esto, es necesario aplicar distintos métodos de remediación ambiental con el fin de recuperar dicho material edáfico perjudicado. Es por ello que, este trabajo de investigación tiene como propósito describir la importancia de la fitorremediación de metales pesados en el suelo, la cual, se llevó a cabo la búsqueda de información, a partir del análisis de artículos de investigación.

## II. METODOLOGÍA

Se utilizó la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), su finalidad es ayudar a mejorar la integridad de los informes concernientes a revisiones sistemáticas y metanálisis, del mismo modo, contribuye a sustentar la base para otros tipos de revisiones y se utiliza para revisiones sistemáticas publicadas [14].

Las preguntas de investigación para el estudio de revisión fueron: ¿Qué países desarrollan más investigaciones sobre fitorremediación de metales pesados? ¿Cuáles son las fuentes de contaminación, disposición final e impactos que ocasionan los metales pesados al suelo? ¿Cuáles son las plantas hiperacumuladoras? ¿Qué géneros y especies se utilizan para la fitorremediación, según el metal, concentración y técnica? ¿Qué especies de fitorremediación tienen las concentraciones y dispersiones de metales pesados más altas y más bajas?

Por otro lado, para la búsqueda de información que persigue el objetivo de investigación; teniendo en cuenta la homogeneidad de estudios de variables y similitud de contexto, analizando los resultados y conclusiones que justifiquen su inclusión, en distintas bases de datos tales como: Dialnet, European Geosciences Union, IOPScience, MDPI, Nature, PubMed, Repositorios, ResearchGate, Scielo, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Taylor and Francis Group y Wiley Online Library.

Asimismo, el criterio de búsqueda son palabras claves en el idioma inglés; se realizó la búsqueda por autores y títulos; el uso de operadores booleanos para simplificar la búsqueda de inclusión o exclusión como AND/OR a ello se le agregó

comillas (") para una mayor exactitud y el rango de tiempo de las publicaciones 2012 – 2022.

Del mismo modo, se incluye filtros como "Environmental Science" y "Agrarian and Biological Sciences"; asimismo, se identificó palabras que tengan la variable de estudio "Phytoremediation" y palabras que contengan consecuencia sobre el tema abordado como "Heavy metals", "Contamination", y para el ámbito de estudio "Soils".

A continuación, la Fig. 1 se detalla el proceso de selección de artículos para el desarrollo de la investigación

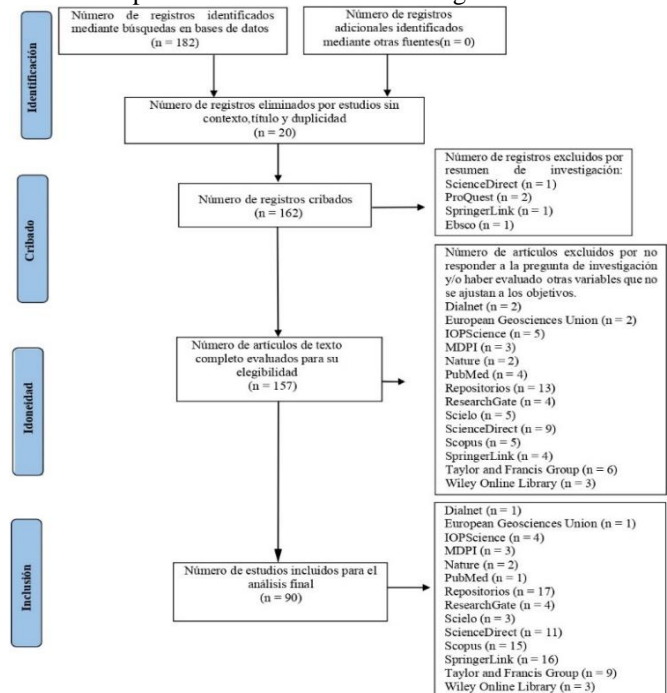


Fig. 1 Diagrama de Flujo de selección de información

## III. RESULTADOS

Una vez concluido la metodología PRISMA y habiendo recopilado un total de 90 artículos previamente seleccionados, se procede a representar las tablas y figuras que sustentan las preguntas de investigación y objetivo de la revisión.

La Fig. 2 representa el porcentaje de inclusión de artículos de investigación que corresponde a cada base de datos consultada. Donde un mayor número de inclusión de estudios se tiene en SpringerLink y Scopus, obteniendo un 80% y 75% respectivamente.



Fig. 2 Porcentaje de éxito de inclusión en base al 50% del total de artículos pre-seleccionados

Asimismo, en la Tabla I se evidencia el tipo de documento, cantidad y el idioma en que han sido publicadas, siendo los artículos de investigación y el idioma inglés los más predominantes.

TABLA I  
CANTIDAD DE ARTÍCULOS POR TIPO DE DOCUMENTO Y POR IDIOMA

Tipo de documento	Cantidad de publicaciones	%	Idioma		
			Inglés	Español	Portugués
Artículos de investigación	77	86	67	8	2
Tesis (Maestría y Doctorado)	13	14	0	13	0
<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>21</b>	<b>2</b>
	<b>%</b>		<b>74.44</b>	<b>23.33</b>	<b>2.22</b>

La tabla I, muestra el tipo de documento y la cantidad de publicaciones concerniente al idioma de publicación.

Del mismo modo, en la Fig. 3 se representa la cantidad de países, donde existen mayores publicaciones encontradas, de los artículos incluidos en esta revisión las cuales pertenecen a: China, Perú, Colombia y España.

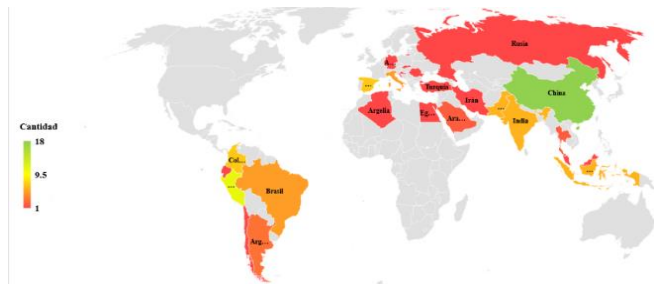


Fig. 3 Cantidad de artículos encontrados por país de publicación

Por otro lado, en la Tabla II se distribuyó la información para su mejor análisis e interpretación de los resultados en referencias a las preguntas de investigación y objeto de estudio de la revisión; se detalla la información, en cuanto a las fuentes de contaminación, disposición final y los impactos que ocasionan los metales pesados; de igual modo los continentes, y la única muestra donde se hallan la presencia de estos contaminantes.

TABLA II  
CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN, DISPOSICIÓN FINAL E IMPACTOS QUE OCASIONA

Continente	Muestra	Fuente de contaminación	Disposición final	Impactos que ocasiona	Referencia
América (Norte y Sur)	Suelo	- Actividades naturales	- Suelos agrícolas	- Lixiviación de suelos	[13], [15]–[41]
		- Actividades industriales	- Suelos urbanos	- Suelos con baja cobertura vegetal	
		- Residuos sólidos	- Suelos mineros	- Disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales.	
		- Adición de metales pesados	- Suelos industriales		
		- Fertilizantes			
Asia	Suelo	- Efluentes domésticos e industriales	- Suelos agrícolas	- Repercusión en la cadena trófica	[42]–[85]
		- Actividades industriales	- Suelos urbanos	- Disminución de NPK	
		- Fertilizantes	- Suelos mineros	- Alterar sus características físicoquímicas de los suelos	
		- Adición de metales pesados			
Europa	Suelo	- Actividades naturales	- Suelos agrícolas	- Baja retención de agua	[1], [86]–[100]
		- Adición de metales pesados	- Suelos urbanos	- Dificultad de enraizamiento	
		- Actividades industriales	- Suelos mineros	- Baja capacidad de cambio	
				- Presencia de compuestos tóxicos	
África	Suelo	- Adición de metales pesados	- Suelos agrícolas	- Baja retención de agua	[101], [102]
		- Actividades industriales		- Baja capacidad de cambio	
				- Presencia de compuestos tóxicos	

La Tabla II, caracteriza a las fuentes de contaminación, indicando la disposición final y los impactos que se generan; del mismo modo, hace referencia a los continentes y autor de los artículos incluidos.

Además, la Tabla III representa la identificación de plantas hiperacumuladoras de acuerdo al contaminante hallado, tomando en consideración su género, especie y metal pesado

que estas tuvieron la capacidad de acumular; así también, la referencia correspondiente al artículo de investigación.

TABLA III  
IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE ACUERDO AL CONTAMINANTE

País de publicación	Muestra	Género	Especie	Contaminante	Referencia
Alemania	Suelo	- <i>Lonicera</i>	- <i>Lonicera japonica</i> Thunb.	- Cr	[90]
Argelia	Suelo	- <i>Salix</i>	- <i>Salix viminalis</i>	- Zn, Cd y Pb	[102]
Argentina	Suelo	- <i>Bidens</i>	- <i>Bidens pilosa</i> L.	- Pb	[39]
		- <i>Allium</i>	- <i>Allium fistulosum</i>	- Pb	[31]
Brasil	Suelo	- <i>Cistus</i>	- <i>Cistus monspeliensis</i> L.	- Zn	[18]
		- <i>Baccharis</i>	- <i>Baccharis trimera</i>	- Zn, Cd, Cr, Pb, Ba, Cu y Ni	[16]
		- <i>Dipteryx</i>	- <i>Dipteryx alata</i>	- As, Cd y Cr	[26]
China	Suelo	- <i>Tagetes</i>	- <i>Tagetes erecta</i> L.	- Cd	[55]
		- <i>Pteris</i>	- <i>Pteris vittata</i> L.	- As	[50]
		- <i>Lactuca</i> L.	- <i>Pterocypsela laciniata</i>	- Cd	[84]
		- <i>Youngia japonica</i>	- <i>Youngia</i>	- Cd	[83]
		- <i>Lirio de Siberia</i>	- <i>Iris sibirica</i> L.	- Cd	[79]
Colombia	Suelo	- <i>Acacia</i>	- <i>Acacia melanoxylon</i>	- Cr	[19]
		- <i>Brachiaria</i>	- <i>Brachiaria humidicola</i>	- Cd y Pb	[35]
Ecuador	Suelo	- <i>Erato</i>	- <i>Erato polynnioides</i>	- Cd, Pb, Zn y Hg	[20]
España	Suelo	- <i>Medicago</i> L.	- <i>Medicago truncatula</i>	- Cd	[96]

		- <i>Festuca</i>	- <i>Festuca rubra</i>	- Co y Cr	[89]
		- <i>Brassica</i>	- <i>Brassica Napus</i>	- Co, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, As y Se	[1]
		- <i>Halimione</i>	- <i>Halimione portulacoides</i> L.	- Zn	[93]
India	Suelo	- <i>Coronopus</i>	- <i>Coronopus didymus</i>	- Cd	[71]
		- <i>Helianthus</i>	- <i>Helianthus annuus</i> L.	- Cu	[60]
Indonesia	Suelo	- <i>Biduri</i>	- <i>Calotropis gigantea</i>	- Hg	[74]
		- <i>Ipomoea</i>	- <i>Ipomoea reptans</i>	- Hg	[72]
Irán	Suelo	- <i>Datura</i>	- <i>Datura stramonium</i> L.	- Cd	[70]
Italia	Suelo	- <i>Cannabis</i>	- <i>Cannabis sativa</i> L.	- CO <sub>2</sub> e	[97]
		- <i>Zea</i>	- <i>Zea mays</i> L.	- Pb, Cd y Cr	[25]
		- <i>Phalaris</i>	- <i>Phalaris</i>	- Fe, Pb y Zn	[27]
		- <i>Baccharis</i>	- <i>Baccharis salicifolia</i>	- Hg	[30]
Perú	Suelo	- <i>Plantago</i>	- <i>P. lanceolata</i>	- Fe, Zn, Cr y Cu	[17]
		- <i>Attalea</i>	- <i>Attalea</i> sp.		
		- <i>Carludovica</i>	- <i>Carludovica palmata</i>		
		- <i>Malvaviscus</i>	- <i>Malvaviscus</i> sp.	- Cd	[28]
		- <i>Matisia</i>	- <i>Matisia cordata</i>		
Rumanía	Suelo	- <i>Silphium</i>	- <i>Silphium perfoliatum</i> L.	- Cu, Zn, Cr y Pb	[91]
Tailandia	Suelo	- <i>Gynura</i>	- <i>Gynura pseudochina</i>	- Cd	[51]
Turquía	Suelo	- <i>Zea</i>	- <i>Zea mays</i>	- Cr	[42]

La Tabla III, se detalla las plantas hiperacumuladoras en base al género y especie utilizadas para un determinado contaminante, y hace referencia al autor y país de publicación de los artículos incluidos.

De igual forma, la Tabla IV representa la identificación de géneros y especies utilizadas en la fitorremediación de metales pesados; a su vez, las diferentes técnicas de fitorremediación determinadas según la planta utilizada y el metal, y la referencia correspondiente al artículo de investigación.

TABLA IV  
IDENTIFICACIÓN DE GÉNEROS Y ESPECIES UTILIZADAS, SEGÚN EL METAL, ABSORCIÓN Y TÉCNICAS DE FITORREMEDIACIÓN

País	Género	Especie	Metal	Absorción (mg/kg)	Técnica	Referencia
Arabia Saudita	- <i>Chenopodium</i>	- <i>Chenopodium Quinoa</i> Willd	Cd y Pb	120 y 1800	2	[57]
	- <i>Sesuvium</i>	- <i>Sesuvium portulacastrum</i> L.	Cu, Ni y As	496.69; 490.17 y 296.63	1	[43]
Argentina	- <i>Helianthus</i>	- <i>Helianthus petiolaris</i>	Cd y Pb	329.83 y 7.03	2	[40]
Brasil	- <i>Montrichardia</i>	- <i>Montrichardia linifera</i>	Mn, Zn, Cd y Cu	12; 150 y 1.6	3	[22]
	- <i>Chrysanthemum</i>	- <i>Chrysanthemum</i>	Cu	527.47	2	[24]
Chile	- <i>Atriplex</i>	- <i>Atriplex halimus</i>	Pb	2952.25	2	[15]
	- <i>Brassica</i>	- <i>Brassica pekinensis</i>	Cd	514	1	[82]
	- <i>Amaranthus</i>	- <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Cd	179.3	1	[54]
	- <i>Macleaya</i>	- <i>Macleaya cordata</i>	Cd	163.39	3	[64]
	- <i>Lycopersicon</i>	- <i>Lycopersicon esculentum</i>	Cd	3.7	1	[76]
	- <i>Halogeton</i>	- <i>Halophyte Halogeton glomeratus</i>	Cu, Hg, As, Ni y Cd	46.65; 0.58; 0.26; 7.24 y 55.79	1	[53]
	- <i>Cyrtomium</i>	- <i>Cyrtomium macrophyllum</i>	Hg	50.34	3	[80]
China	- <i>Phragmites</i>	- <i>Phragmites australis</i>	Cd	4124	2	[49]
	- <i>Hydrangea</i>	- <i>Hydrangea Endless Summer</i>	Pb	823.39	1	[58]
	- <i>Calotropis</i>	- <i>Calotropis gigantea</i> L.	Cd	3.86	1	[81]
	- <i>Geranium</i>	- <i>Geranium pyzowianum</i>	As, Cd, Pb y Zn	28.00; 0.34; 84.53 y 32.95	1	[77]
	- <i>Amaranthus</i>	- <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Cd	179.3	1	[52]
	- <i>Pteris</i>	- <i>Pteris vittata</i>	Pb y As	142.89 y 225.87	1	[78]
	- <i>Pteris</i>	- <i>Pteris vittata</i>	As	1330.02	1	[56]
	- <i>Solanum</i>	- <i>Solanum nigrum</i> L.	Cd	1.00	1	[36]
	- <i>Jatropha</i>	- <i>Jatropha curcas</i>	Hg	7.25	3	[29]
Colombia	- <i>Clidemia</i>	- <i>Clidemia sericea</i>	Hg y Cd	1.59 y 6.45	2	[23]
	- <i>Paspalum</i>	- <i>Paspalum fasciculatum</i>	Cd y Pb	46.8 y 22.1	2	[38]
	- <i>Tradescantia</i>	- <i>Tradescantia pallida</i>		16.6; 177.7; 214.9 y 457.62	1	
	- <i>Pennisetum</i>	- <i>Pennisetum setaceum</i>	Cd, Cr, Ni y Pb	9.7; 103.3; 821.60 y 164.6	1	[33]
Croacia	- <i>Miscanthus</i>	- <i>Miscanthus × giganteus</i>	Cd y Hg	293.8 y 4.7	1	[100]
Ecuador	- <i>Miconia</i>	- <i>Miconia</i> sp.	Hg, Cd y Zn	28; 350; 900 y 13	1 y 2	[20]
Egipto	- <i>Rhazya</i>	- <i>Rhazya stricta</i>	Cd, Pb, Cu y Zn	21 87; 56.20; 50.10 y 131.66	3	[101]
Eslovaquia	- <i>Vicia</i>	- <i>Vicia faba</i>	Cd	103	2	[92]
	- <i>Chrysopogon</i>	- <i>Chrysopogon zizanioides</i> L. Roberty	Cd	180.00	2	[98]
	- <i>Achyranthes</i>	- <i>Achyranthes aspera</i>	Zn, Pb y Cr.	47.61; 46.48 y 4.98	2	[94]
	- <i>Festuca</i>	- <i>Festuca rubra</i>	Co y Cr	21.91; 160 y 279.94	2	[89]
	- <i>Erica</i>	- <i>Erica cinerea</i> L.		109.92; 986.47; 25.4 y 47.22	2	
España	- <i>Rubus</i>	- <i>Rubus fruticosus</i> L.		33.72; 338.08; 10.03 y 47.22	2	
	- <i>Festuca</i>	- <i>Festuca rubra</i> L.	Cu, Mn, Ni y Zn	242.32; 287.96; 14.81 y 35.02	2	[88]
	- <i>Ulex</i>	- <i>Ulex europaeus</i> L.		74.40; 192.55; 13.05 y 28.83	2	
	- <i>Brassica</i>	- <i>Brassica Napus</i>	Co, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, As y Se	3.61; 27.44; 4.03; 5.62; 6.71; 2.49; 0.97 y 5.15	2	[1]
	- <i>Brassica</i>	- <i>Brassica juncea</i>	Hg	100	2	[66]
	- <i>Furcraea</i>	- <i>Furcraea foetida</i>	Cd	200	1	[67]
India	- <i>Coronopus</i>	- <i>Coronopus didymus</i>	Pb	1000	3	[85]
	- <i>Pteris</i>	- <i>Pteris vittata</i>	As	17	1	[61]
	- <i>Chloris</i>	- <i>Chloris barbata</i>	Cd y Pb	84 y 61	1 y 2	[59]
	- <i>Codiaeum</i>	- <i>Codiaeum variegatum</i>	Pb	375	1	[48]
Indonesia	- <i>Dracaena</i>	- <i>Sansevieria trifasciata</i>	Hg	79	3	
	- <i>Celosia</i>	- <i>Celosia plumosa</i>		58	3	[68]
	- <i>Chrysopogon</i>	- <i>Chrysopogon zizanioides</i>	Cu	40.6	3	[45]
Italia	- <i>Phragmites</i>	- <i>Phragmites australis</i>	Cr	34	3	[95]

	- <i>Helianthus</i>	- <i>Helianthus annuus</i>	Cr	34	3	
	- <i>Populus</i>	- <i>Populus deltoides</i>	As	1.48	1	[87]
	- <i>Pteris</i>	- <i>Pteris vittata</i>	Cd	1.3	1	
	- <i>Cynara</i>	- <i>Cynara cardunculus</i>	Cd	815	1	[86]
	- <i>Cannabis</i>	- <i>Cannabis sativa</i> L.	Zn y Cd	950 y 6.8	1	[99]
Malasia	- <i>Acacia</i>	- <i>Acacia mangium</i>	As	500	2	[69]
	- <i>Leptochloa</i>	- <i>Leptochloa fusca</i>	Cr	100	2	[75]
	- <i>Phyllostachys</i>	- <i>Phyllostachys pubescens</i>	Cu	340	3	[46]
	- <i>Ricinus</i>	- <i>Ricinus communis</i> L.	Cr	0.25	1	[65]
	- <i>Tagetes</i>	- <i>Tagetes patula</i> L.	Cd y Cr	875	1	[63]
Pakistán	- <i>Calotropis</i>	- <i>Calotropis procera</i>	Cu, Zn, Pb y Cd	23.45; 103.70; 19.45 y 2.3	1	[73]
	- <i>Chenopodium</i>	- <i>Chenopodium quinoa</i>	Cd y Pb	0.8 y 1678	3	[44]
	- <i>Geranium</i>	- <i>Geranium cultivation</i>	As, Cd y Cu	45.99; 5.02 y 0.034	3	[32]
	- <i>Helianthus</i>	- <i>Helianthus annuus</i>	Cd	25	2	[21]
	- <i>Medicago</i>	- <i>Medicago sativa</i> L.	Cd	34.03%	2	[41]
	- <i>Acacia</i>	- <i>Acacia visco</i>	Sb, As, Cd, Cu, Ag y Pb	69.78%; 29.20%; 4.4%; 83.74%; 24.35% y 64.48 %	3	[34]
	- <i>Cucurbita</i>	- <i>Cucurbita pepo</i>	As, Pb y Cd	2; 0.84 y 20	1	[37]
Perú	- <i>Zea</i>	- <i>Zea Mays</i> L.	Cd y Pb	13.50 y 379.50	1	[13]
	- <i>Helianthus</i>	- <i>Helianthus annuus</i>	Hg	4.7 y 134	1	[30]
	- <i>Schoenoplectus</i>	- <i>Schoenoplectus pungens</i>	Cd	5191	3	
	- <i>Theobroma</i>	- <i>Theobroma cacao</i>	Cd	1	3	
	- <i>Vochysia</i>	- <i>Vochysia</i> sp.	Cd	<0.008	3	[28]
	- <i>Pouteria</i>	- <i>Pouteria caimito</i>	Fe, Zn, y Cr	0.2	1	
	- <i>Bidens</i>	- <i>B. triplinervia</i>	Pb, Cd, Cr y V	1000	1	[17]
Rusia	- <i>Echinochloa</i>	- <i>Echinochloa frumentacea</i>	Pb	7, 1; 96.60 y 47.79	1	[47]
Tailandia	- <i>Thysanolaena</i>	- <i>Thysanolaena maxima</i>	Pb	32.1	2	[62]

En la Tabla IV, se detalla las especies, géneros, metal y técnica de fitorremediación en base al país de publicación y haciendo referencia al autor. Asimismo, la numeración en técnica indica: Fitoextracción (1), Fitoestabilización (2) y No Especifica (3).

En ese sentido, la Figura 4, sintetiza la información de la Tabla IV, donde podemos apreciar las concentraciones mayores y menores que absorben las plantas fitorremediadoras para los contaminantes, tales como Cd, Pb y Cu.

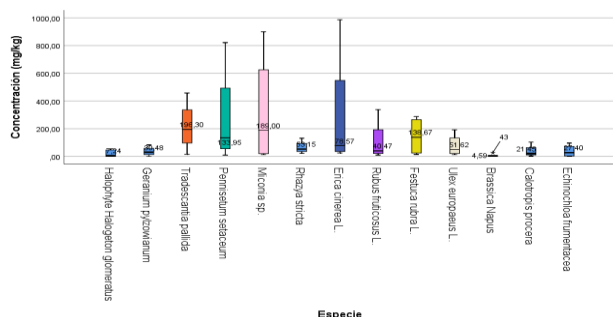


Fig. 4 Concentraciones de metales pesados (mg/kg), contenidas en las diversas especies fitorremediadoras; capaces de absorber  $\geq 4$  metales pesados.

#### IV. DISCUSIÓN

El número de estudios encontrados indica que existe interés científico en solucionar el problema de la contaminación por metales pesados a través de la fitorremediación, lo que equivale a un análisis de 90 estudios. Por lo tanto, se resume que las investigaciones en fitorremediación se han incrementado en los últimos años para obtener tratamientos de bajo costo [103]. La cual, Yang et al., (2022) informó que los investigadores realizan una serie de análisis sobre remediación de metales pesados creciendo exponencialmente [81]. En efecto, se sustentó que la fitorremediación es una efectiva estrategia de bajo costo que permite la remoción de metales pesados en el suelo; mediante las diferentes técnicas y diversas plantas que se utilicen [104].

En este sentido, se debe resaltar que en la Tabla 1 se observa que el 86% pertenecen a artículos de investigación y solo el 14% a tesis de maestría y doctorado. Como señaló

Englander (2014), la investigación científica es uno de los documentos más autorizados que se producen actualmente [105]. Como resultado, podemos ver que el inglés, que es el idioma dominante, alcanza el 74,44%. En donde, Beltrán et al., (2021); afirma que el inglés se ha convertido en el idioma más importante del mundo [106]. La obtención de información científica es fundamental para el análisis y evaluación de resultados; Gonzales et al., (2018), comentó que esta es una buena medida de la calidad educativa en instituciones académicas y comunidades [107].

Los resultados de esta revisión muestran una alta proporción de publicaciones nacionales correspondientes a China (20%), Perú (12%), Colombia y España (8%) (ver Figura 3). Estos hallazgos están relacionados con el Consejo Nacional De Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica, que afirma que países como Colombia y Perú tienen más investigación científica; y que China y España, tienen más publicaciones científicas anuales.[108].

Dada la presencia de metales pesados en este material primitivo, uno se pregunta sobre su origen o procedencia. En ese caso, Salazar (2014); atribuye que la industria metalúrgica medieval fue la principal responsable de la contaminación de suelos con metales pesados; considerándose así, que el ingreso de los metales pesados a los suelos es, en gran parte, por actividades industriales (Tabla II) [39]. Una comparación de la adición de contaminantes artificiales que contienen Cu al suelo para validar la eficacia del proceso de fitorremediación [60].

Existen diferentes tipos de disposición, divididos en agrícola (69%), urbano (20%), minero (7%) e industrial (4%) (ver Tabla II). Por ejemplo, en China, algunos cultivos de suelos agrícolas suelen contener algún nivel de As [50]. Medrano et al., (2019), por otro lado, observaron que la capa superficial en las zonas urbanas estaba contaminada con metales pesados provenientes de actividades industriales [31]. Esto resultó en la

erosión periódica de la cubierta, el agotamiento o desequilibrio de los nutrientes y la mala retención de agua [17].

Por otro lado, con respecto a la Tabla III, en Asia, Liu et al., (2019) describen el uso de la especie *Tagetes erecta* L., considerada una planta potencialmente hiperacumuladora de Cd [55]. En este sentido, Sidhu et al. (2017) examinaron el género *Coronopus didymus*, para afirmar que es una planta hiperacumuladora, y puede emplearse prácticamente para aliviar el Cd de los suelos contaminados [71]. De manera similar, sucede en Europa, al momento de acumular el metal pesado (Se); donde en España, Álvarez (2019) describe que utilizó la especie *Brassica Napus* para hiperacumular este metal en sus hojas [1]. Por otro parte, en América del Sur, específicamente en Perú; al instante de acumular el metal pesado (Hg), Martínez (2018), describe que las plantas de *Baccharis salicifolia* presentan una mayor capacidad de acumular este metal en las partes aéreas [30].

Además, tras identificar los géneros y especies más utilizados, es necesario determinar las distintas técnicas de fitorremediación que existen; entre ellas, las más utilizadas son la fitoextracción y la fitoestabilización. Para ejemplificar esto, Clemente (2021) comenta que, *Helianthus annuus* L., se comportaría como un fitoestabilizador del suelo contaminado por Cd [21]. Además, según Ranieri et al., (2013) afirman que tienen la capacidad para fitorremediar el Cr [95]. En paralelo, Munive (2022) nos indica que *Zea mays* L., es eficiente para el proceso de fitoextracción del metal pesado como el Pb y Cd [13]. De igual manera, lo expresa Rosales (2022); bajo el mismo método, pero con la planta *Cucurbita pepo* [37].

Por tanto, se identifican las especies fitorremediadoras que tienen la mayor concentración y dispersión de metales pesados. Solo se consideraron las especies que contenían 4 o más metales pesados en hojas, tallos y raíces (Tabla IV). En tal sentido, para los valores obtenidos (ver Figura 4), la *Halophyte Halogeton glomeratus* y *Brassica napus* son las especies fitorremediadoras con menor concentración y dispersión de contaminantes. Según, Li et al., (2019), *Halophyte Halogeton glomeratus* solo puede contener 46.65 mg/kg; 0.58 mg/kg; 0.26 mg/kg; 7.24 mg/kg y 55.79 mg/kg; de los metales como Cu, Hg, As, Ni y Zn, respectivamente [53]. Al mismo tiempo, para Álvarez (2019) *Brassica napus* solo puede contener 3.61 mg/kg; 27.44 mg/kg; 4.03 mg/kg; 5.62 mg/kg; 6.71 mg/kg; 2.49 mg/kg; 0.97 mg/kg y 5.15 mg/kg; de los metales como Co, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, As y Se, respectivamente [1].

Por otro lado, *Miconia* sp. y *Erica cinerea* L.; presentan los mayores valores de concentración y dispersión de metales pesados. Donde, Capozzi et al., (2022) determinó que, *Miconia* sp., contiene metales como el Cd, Zn, Pb y Hg con concentraciones de 28 mg/kg, 350 mg/kg, 900 mg/kg y 13 mg/kg, respectivamente [20]. Asimismo, Lago et al., (2014) determinó que *Erica cinerea* L. contiene concentraciones de 109.92 mg/kg; 986.47 mg/kg; 25.4 mg/kg y 47.22 mg/kg, para los metales como el Cu, Mn, Ni y Zn, respectivamente. Considerándose ambas especies, como plantas fitorremediadoras efectivas a grandes concentraciones [88].

## V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este estudio, se concluye que la fitorremediación de metales pesados en el suelo es de suma importancia, presentándose, como una tecnología verde de bajo costo fundamental a considerar. Para ello, identificamos los países con los mayores artículos de investigación publicados con relación al tema; así mismo, se determinó el origen y disposición final de estos contaminantes. De igual forma, se han identificado una amplia variedad de especies remediadoras asociadas a plantas hiperacumuladoras. Por otro lado, se logró identificar las diversas plantas con poder fitorremediador, describiendo la concentración de absorción de las especies, de acuerdo al metal y la técnica de fitorremediación aplicada. Finalmente, se determinaron las especies de fitorremediación que tienen las concentraciones y dispersiones de metales pesados más altas y más bajas.

## RECONOCIMIENTO

A mi familia Bobadilla Roman, a una persona muy especial y sobre todo a Dios.

A mi familia Valderrama De La Cruz, mi amigo David Cuba, y sobre todo a Dios.

## REFERENCIAS

- [1] L. Álvarez, "Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar," Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2019. [En línea]. Disponible: doi: 10.20868/UPM.THESIS.55865.
- [2] H. Burjano, "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria," *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 33, no. 2, pp. 117–124, Dec. 2016, doi: 10.22267/RCIA.163302.58.
- [3] L. Londoño, P. Londoño, and F. Muñoz, "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal," *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, pp. 145–153, 2016, Consultado: Apr. 15, 2022. [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117865>
- [4] Y. Falero, "Determinación de metales pesados - arsénico, cadmio, mercurio y plomo - en banano orgánico producido en el distrito de Buenos Aires, Valle Alto Piura - Morropón, Piura 2020," Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Piura, Piura, 2021. Consultado: May 01, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2795/IAIA-FAL-ALV-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] Y. Reyes, I. Vergara, O. Torres, M. Díaz, and E. González, "Heavy metals contamination: implications for health and food safety," vol. 16, pp. 66–77, 2016. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- [6] M. Rosique, "Gestión de los residuos y suelos contaminados provenientes de la minería metálica: Aspectos técnicos, problemas ambientales y marco normativo," Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2016. Consultado: Apr. 15, 2022. [En línea]. Disponible: [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ge-stion\\_de\\_los\\_residuos\\_y\\_suelos\\_contaminados\\_provenientes\\_de\\_la\\_min-eria\\_metalica.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ge-stion_de_los_residuos_y_suelos_contaminados_provenientes_de_la_min-eria_metalica.pdf)
- [7] S. Covarrubias and J. Peña, "Contaminación ambiental por metales pesados en México problemática y estrategias de fitorremediación," *Intr. Contam. Ambie.*, pp. 7–21, 2017, Consultado: May 01, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp01.01/46640>
- [8] E. M. Hafida, "Técnicas de preconcentración en el análisis de metales traza. Fraccionamiento químico en el control de la contaminación metálica de la bahía de Tánger," Tesis de doctorado, Universidad De Cádiz, Cádiz, 2013. Consultado: May 01, 2022. [En línea]. Disponible:

- <https://rocin.uca.es/bitstream/handle/10498/16999/Tesis%20Hafida%20El%20Mai%20Marzo%202013.pdf>
- [9] A. P. Pinto, A. de Varennes, R. Fonseca, and D. M. Teixeira, "Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals: Techniques and Strategies," *Phytoremediation*, vol. 1, pp. 133–155, Jan. 2015, doi: 10.1007/978-3-319-10395-2\_10.
  - [10] K. Kennen and N. Kirkwood, *Phyto: Principles and resources for site remediation and landscape design*. Taylor and Francis, 2015. doi: 10.4324/9781315746661.
  - [11] R. Chanda, N. Dubey, and V. Kumar, *Phytocapping technology for sustainable management of landfill sites*. CRC Press, 2017. doi: 10.4324/9781315161549.
  - [12] R. Batista and A. Sánchez, "Fitorremediación de metales pesados y microorganismos | Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo," *Cub@: Medio Ambiente Y Desarrollo*, vol. 9, no. 16, 2020, Consultado: Apr. 16, 2022. [En línea]. Disponible: <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/123>
  - [13] R. Munive, "Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación," Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. Consultado: Apr. 16, 2022. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3770>
  - [14] B. Hutton *et al.*, "The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: Checklist and explanations," *Annals of Internal Medicine*, vol. 162, no. 11, pp. 777–784, Jun. 2015, doi: 10.7326/M14-2385.
  - [15] E. Acuña, B. Castillo, M. Queupuan, M. Casanova, and Y. Tapia, "Assisted phytoremediation of lead contaminated soil using Atriplex halimus and its effect on some soil physical properties," *International Journal of Environmental Science and Technology* 2020 18:7, vol. 18, no. 7, pp. 1925–1938, Oct. 2020, doi: 10.1007/S13762-020-02978-5.
  - [16] T. Afonso, C. Demarco, S. Pieniz, M. Quadro, F. de Oliveira, and R. Andreazza, "Analysis of Baccharis dracunculifolia and Baccharis trimera for Phytoremediation of Heavy Metals in Copper Mining Tailings Area in Southern Brazil," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 194, no. 2, pp. 694–708, Sep. 2021, doi: 10.1007/S12010-021-03652-3.
  - [17] N. Alarcon, "Estimación del potencial remedidor de metales en plantas vasculares herbáceas en el 'Cerro El Toro' Shiracmaca – Huamachuco, Perú," Tesis de doctorado, Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, 2019. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15277>
  - [18] D. Arenas, L. C. Carvalho, E. S. Santos, and M. M. Abreu, "The physiological mechanisms underlying the ability of Cistus monspeliensis L. from São Domingos mine to withstand high Zn concentrations in soils," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 129, pp. 219–227, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.ECOENV.2016.03.041.
  - [19] D. Calderón, "Fitoestabilización de cromo hexavalente por acacia melanoxylon; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados," Tesis de posgrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 2019. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/8258>
  - [20] F. Capozzi, I. Chamba, D. Griffith, C. Kalinhoff, J. Ramírez, and M. Jesús, "Native Hyperaccumulator Plants with Differential Phytoremediation Potential in an Artisanal Gold Mine of the Ecuadorian Amazon," *Plants*, vol. 11, no. 9, p. 1186, Apr. 2022, doi: 10.3390/PLANTS111091186.
  - [21] J. Clemente, J. Medina, J. Laura, L. Pariona, and P. Gutierrez, "Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (Helianthus annuus L. var. Sunbright)," *Acta Agronómica*, vol. 70, no. 2, pp. 163–170, Nov. 2021, doi: 10.15446/ACAG.V70N2.94208.
  - [22] A. de Santana, C. Bastos, S. dos Reis, R. da Rocha, and A. Ferraz, "Avaliação do Potencial Bioacumulador e Fitorremediador da parte aérea de Montrichardia linifera (Arruda) Schott," *Revista Virtual de Química*, vol. 11, no. 4, pp. 1180–1189, 2019, Consultado: Apr. 21, 2022. [En línea]. Disponible: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/3030>
  - [23] E. V. Durante, M. A. Martínez, G. Enamorado, E. C. Caballero, and J. Marrugo, "Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals from Gold Mining Activities Using Clidemia sericea D. Don," *Plants*, vol. 11, no. 5, p. 597, Feb. 2022, doi: 10.3390/PLANTS111050597.
  - [24] J. Farias, F. Antonello, R. Antonio, A. Swarowsky, and R. dos Santos, "Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre," *Ornamental Horticulture*, vol. 23, no. 1, pp. 63–71, Feb. 2017, doi: 10.14295/OH.V23I1.915.
  - [25] Y. Gama, "La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción - Cajabamba," Tesis de maestría, Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, 2019. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3489>
  - [26] R. Gomes *et al.*, "Transfer of Metal(loid)s from Soil to Leaves and Trunk Xylem Sap of Medicinal Plants and Possible Health Risk Assessment," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 2, p. 660, Jan. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19020660.
  - [27] E. Huamán, "Fitoacumulación de metales pesados (Pb, Fe y Zn) por Phalaris aquatica en relave de la Unidad Minera Morococha – Junín," Tesis de maestría, Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 2019. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6755>
  - [28] W. Llatance, C. Gonza, W. Guzmán, and E. Pariente, "Bioacumulación de cadmio en el cacao (Theobroma cacao) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú," *Revista Forestal del Perú*, vol. 33, no. 1, pp. 63–75, Jun. 2018, doi: 10.21704/RFP.V33I1.1156.
  - [29] J. Marrugo, J. Durango, J. Pinedo, J. Olivero, and S. Díez, "Phytoremediation of mercury-contaminated soils by Jatropha curcas," *Chemosphere*, vol. 127, pp. 58–63, May 2015, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2014.12.073.
  - [30] L. Martínez, "Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal - Arequipa y propuesta de Fitorremediación," Tesis de maestría, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa, 2018. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7789>
  - [31] M. A. R. Medrano, J. E. Lacava, I. Curotto, L. Fuks, and R. M. Gargarello, "Acumulación de Plomo en especias: potencial para procesos de fitorremediación de suelos urbanos contaminados en Argentina," *Revista Conhecimento Online*, vol. 3, no. 11, pp. 27–37, 2019, doi: 10.25112/RCO.V3I0.1850.
  - [32] A. Obeso and R. Vejarano, "Cultivo de geranio: uso potencial para remover arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu) de suelos contaminados," 2020. Consultado: Apr. 26, 2022. [En línea]. Disponible: <http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP144.html>
  - [33] H. Pajoy, "Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados," Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2017. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62136>
  - [34] J. Paredes, "Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros," *Revista ECIPerú*, vol. 11, no. 2, 2015, doi: 10.33017/RevECIPerú2014.0013/Resumen.
  - [35] M. Peláez, J. Bustamante, and E. Gómez, "Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de Brachiaria en el Magdalena Medio Colombia," *Luna Azul*, no. 43, pp. 82–101, 2016, doi: 10.17151/luaz.2016.43.5.
  - [36] R. Ramírez, D. Giraldo, and D. Barrera, "Cadmium phytoextraction with mulberry grass (Solanum nigrum L.) in soils grown with cocoa (Theobroma cacao L.)," *Acta Agronómica*, vol. 67, no. 3, pp. 420–424, 2018, doi: 10.15446/ACAG.V67N3.68536.
  - [37] B. Rosales, "Concentración de metales pesados y la influencia del pH en suelos de Matahuasi y El Mantaro (Junín) en Cucurbita pepo," Tesis de posgrado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, 2020. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6066/T01\\_0\\_40378402\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6066/T01_0_40378402_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  - [38] M. Salas and J. Marrugo, "Phytoremediation potential of Cd and Pb-contaminated soils by Paspalum fasciculatum Willd. ex Flügge," *International Journal of Phytoremediation*, vol. 22, no. 1, pp. 87–97, Jan. 2019, doi: 10.1080/15226514.2019.1644291.
  - [39] M. Salazar, "Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de especies nativas en la Provincia de Córdoba," Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 2014. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/12720>
  - [40] A. Saran *et al.*, "Phytostabilization of Pb and Cd polluted soils using Helianthus petiolaris as pioneer aromatic plant species," *International Journal of Phytoremediation*, vol. 22, no. 5, pp. 459–467, Apr. 2019, doi: 10.1080/15226514.2019.1675140.
  - [41] L. Solano, "Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) en la remediación de suelos degradados por

- fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro,” Tesis de maestría, Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, 2019. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5337/T01\\_0\\_41684253%20\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5337/T01_0_41684253%20_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [42] S. Adiloğlu and M. Göker, “Phytoremediation: elimination of hexavalent chromium heavy metal using corn (*Zea mays* L.),” *Cereal Research Communications*, vol. 49, no. 1, pp. 65–72, Aug. 2020, doi: 10.1007/S42976-020-00070-9.
- [43] E. Alsherif, T. Al-Shaikh, O. Almaghrabi, and H. Abdelgawad, “High Redox Status as the Basis for Heavy Metal Tolerance of *Sesuvium portulacastrum* L. Inhabiting Contaminated Soil in Jeddah, Saudi Arabia,” *Antioxidants*, vol. 11, no. 1, p. 19, Dec. 2021, doi: 10.3390/ANTIOX11010019.
- [44] M. Amjad *et al.*, “Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and its implications for phytoremediation and human health,” *Environmental Geochemistry and Health* 2021 44:5, vol. 44, no. 5, pp. 1487–1500, Feb. 2021, doi: 10.1007/S10653-021-00826-0.
- [45] S. Butar, I. Permatasari, T. Sembiring, and Jasmansyah, “Phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Chrysopogon zizanioides* L,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1017, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1017/1/012022.
- [46] J. Chen *et al.*, “Copper induced oxidative stresses, antioxidant responses and phytoremediation potential of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*),” *Scientific Reports*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, Sep. 2015, doi: 10.1038/srep13554.
- [47] S. Gorelova, A. Muratova, I. Zinicovskaia, O. Okina, and A. Kolbas, “Prospects for the Use of *Echinochloa frumentacea* for Phytoremediation of Soils with Multielement Anomalies,” *Soil Systems*, vol. 6, no. 1, p. 27, Mar. 2022, doi: 10.3390/SOILSYSTEMS6010027.
- [48] L. Herlina, H. Purnaweni, S. Sudarno, B. Widianarko, and H. R. Sunoko, “Phytoremediation of lead-contaminated soil by ornament plant *Codiaeum variegatum*,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1567, no. 3, Jun. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1567/3/032043.
- [49] N. Jeelani, W. Yang, H. L. Zhu, and S. An, “Phytoremediation for co-contaminated soils of cadmium and pyrene using *Phragmites australis* (common reed),” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 22, no. 13, pp. 1385–1395, 2020, doi: 10.1080/15226514.2020.1780411.
- [50] H. Jiang *et al.*, “Recovery of arsenic and practical utilization of aqueous phase in hydrothermal liquefaction of hyperaccumulator,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 439, p. 135514, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.CEJ.2022.135514.
- [51] S. Khaokaew and G. Landrot, “A field-scale study of cadmium phytoremediation in a contaminated agricultural soil at Mae Sot District, Tak Province, Thailand: (1) Determination of Cd-hyperaccumulating plants,” *Chemosphere*, vol. 138, pp. 883–887, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2014.09.108.
- [52] L. Lei *et al.*, “The cadmium decontamination and disposal of the harvested cadmium accumulator *Amaranthus hypochondriacus* L.,” *Chemosphere*, vol. 286, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131684.
- [53] B. Li *et al.*, “Halophyte *Halogeton glomeratus*, a promising candidate for phytoremediation of heavy metal-contaminated saline soils,” *Plant and Soil*, vol. 442, pp. 323–331, Jul. 2019, doi: 10.1007/S11104-019-04152-4.
- [54] N. Li, Z. Li, Q. Fu, P. Zhuang, B. Guo, and H. Li, “Agricultural Technologies for Enhancing the Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soil by *Amaranthus hypochondriacus* L.,” *Water Air & Soil Pollut.*, vol. 224, pp. 1–8, Aug. 2013, doi: 10.1007/S11270-013-1673-3.
- [55] Z. Liu, W. Chen, and X. He, “Evaluation of hyperaccumulation potentials to cadmium (Cd) in six ornamental species (compositae),” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 20, no. 14, pp. 1464–1469, Dec. 2019, doi: 10.1080/15226514.2018.1501343.
- [56] Y. Lu *et al.*, “Effect of *Stevia rebaudiana* Bertoni residue on the arsenic phytoextraction efficiency of *Pteris vittata* L.,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 421, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2021.126678.
- [57] S. Lukatkin, N. Anjum, P. Malec, A. Bamagoos, H. Alharby, and G. Abbas, “Differential Uptake and Translocation of Cadmium and Lead by Quinoa: A Multivariate Comparison of Physiological and Oxidative Stress Responses,” *Toxics*, vol. 10, no. 2, p. 68, Feb. 2022, doi: 10.3390/TOXICS10020068.
- [58] W. Ma, B. Zhao, X. Lv, and X. Feng, “Lead tolerance and accumulation characteristics of three *Hydrangea* cultivars representing potential lead-contaminated phytoremediation plants,” *Horticulture, Environment and Biotechnology*, vol. 63, no. 1, pp. 23–38, Jan. 2022, doi: 10.1007/S13580-021-00381-8.
- [59] M. Madanan, G. Varghese, and I. Shah, “Heavy metal phytoremediation potential of the roadside forage *Chloris barbata* Sw. (swollen windmill grass) and the risk assessment of the forage-cattle-human food system,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 33, pp. 45096–45108, Apr. 2021, doi: 10.1007/S11356-021-13840-7.
- [60] G. Mahardika, A. Rinanti, and M. Fachrul, “Phytoremediation of heavy metal copper (Cu<sup>2+</sup>) by sunflower (*Helianthus annuus* L.),” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 106, Jan. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/106/1/012120.
- [61] A. Mandal, T. J. Purakayastha, A. K. Patra, and S. K. Sanyal, “Phytoremediation of Arsenic Contaminated Soil by *Pteris Vittata* L. II. Effect on Arsenic Uptake and Rice Yield,” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 14, no. 6, pp. 621–628, Jul. 2012, doi: 10.1080/15226514.2011.619228.
- [62] W. Meeinkuirt, M. Kruatrachue, P. Tanhan, R. Chaiparat, and P. Pokethitiyook, “Phytostabilization Potential of Pb Mine Tailings by Two Grass Species, *Thysanolaena maxima* and *Vetiveria zizanioides*,” *Water Air & Soil Pollution*, vol. 224, no. 10, pp. 1–12, Sep. 2013, doi: 10.1007/S11270-013-1750-7.
- [63] A. Nazir, M. Shafiq, and F. Bareen, “Fungal biostimulant-driven phytoextraction of heavy metals from tannery solid waste contaminated soils,” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 24, no. 1, pp. 47–58, 2021, doi: 10.1080/15226514.2021.1924115.
- [64] J. Nie *et al.*, “Cadmium accumulation and tolerance of *Macleaya cordata*: a newly potential plant for sustainable phytoremediation in Cd-contaminated soil,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23, no. 10, pp. 10189–10199, May 2016, doi: 10.1007/S11356-016-6263-7.
- [65] F. F. Qureshi *et al.*, “Organic chelates decrease phytotoxic effects and enhance chromium uptake by regulating chromium-speciation in castor bean (*Ricinus communis* L.),” *Science of The Total Environment*, vol. 716, p. 137061, May 2020, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.137061.
- [66] D. Raj, A. Kumar, and S. K. Maiti, “*Brassica juncea* (L.) Czern. (Indian mustard): a putative plant species to facilitate the phytoremediation of mercury contaminated soils,” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 22, no. 7, pp. 733–744, Jun. 2020, doi: 10.1080/15226514.2019.1708861.
- [67] S. Ramana, A. K. Tripathi, A. Kumar, P. Dey, J. K. Saha, and A. K. Patra, “Evaluation of *Furcraea foetida* (L.) Haw. for phytoremediation of cadmium contaminated soils,” *Environmental Science and Pollution Research* 2021 28:11, vol. 28, no. 11, pp. 14177–14181, Jan. 2021, doi: 10.1007/S11356-021-12534-4.
- [68] R. Ratnawati and F. Faizah, “Phytoremediation of Mercury Contaminated Soil with the Addition of Compost,” *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 66–80, 2020, Consultado: Apr. 25, 2022. [En línea]. Disponible: [https://journals.itb.ac.id/index.php/jets/article/view/11765/pdf\\_52](https://journals.itb.ac.id/index.php/jets/article/view/11765/pdf_52)
- [69] R. Rosli *et al.*, “Phytoremediation of Arsenic in Mine Wastes by *Acacia mangium*,” *Remediation Journal*, vol. 31, no. 3, pp. 49–59, Jul. 2021, doi: 10.1002/REM.21688.
- [70] Z. Shirkhani, A. Chehregani Rad, M. Gholami, and F. Mohsenzadeh, “Phytoremediation of Cd-contaminated Soils by *Datura stramonium* L.,” *Toxicology and Environmental Health Sciences*, vol. 10, no. 3, pp. 168–178, Oct. 2018, doi: 10.1007/S13530-018-0361-5.
- [71] G. P. S. Sidhu, H. P. Singh, D. R. Batish, and R. K. Kohli, “Tolerance and hyperaccumulation of cadmium by a wild, unpalatable herb *Coronopus didymus* (L.) Sm. (Brassicaceae),” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 135, pp. 209–215, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.ECOENV.2016.10.001.
- [72] R. Sikanna, D. Sutiriono, and P. Prismawiranti, “The Phytostabilization of Mercury (Hg) in *Ipomoea reptans* Poir Plants from Polluted Soil,” *European Union Digital Library*, Jun. 2019, doi: 10.4108/EAL2-5-2019.2284696.
- [73] Siraj, N. Khan, K. Ali, M. Khan, and D. Jones, “Phytoaccumulation of Heavy Metals by Sodom Apple (*Calotropis procera* (Aiton) W. T. Aiton) along an Urban-Rural Gradient,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, p. 1003, Jan. 2022, doi: 10.3390/AP12031003.
- [74] Sutami, Purwanto, and R. Rosariastuti, “The effectivity of Biduri combined with indigenous bacteria in mercury absorption,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 905, no. 1, Nov. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/905/1/012130.

- [75] S. Ullah, S. Mahmood, R. Ali, M. R. Khan, K. Akhtar, and N. Depar, "Comparing chromium phyto-assessment in *Brachiaria mutica* and *Leptochloa fusca* growing on chromium polluted soil," *Chemosphere*, vol. 269, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.128728.
- [76] J. Wan *et al.*, "Effects of intercropping on cadmium uptake by maize and tomato," *Chinese Journal of Biotechnology*, vol. 36, no. 3, pp. 518–528, Mar. 2020, doi: 10.13345/J.CJB.190116.
- [77] L. Wang *et al.*, "Accumulation of potentially toxic trace elements (PTEs) by native plant species growing in a typical gold mining area located in the northeast of Qinghai-Tibet Plateau," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 5, pp. 6990–7000, Aug. 2021, doi: 10.1007/S11356-021-16076-7.
- [78] D. Wang *et al.*, "Phytoextraction of lead and arsenic from agricultural soils by different intercropping density of *Boehmeria nivea* (L.) and *Pteris vittata* (L.)," *Agronomy Journal*, vol. 113, no. 2, pp. 923–931, Mar. 2021, doi: 10.1002/AGJ2.20569.
- [79] Y. Wang *et al.*, "Cadmium tolerance and accumulation characteristics of wetland emergent plants under hydroponic conditions," *RSC Advances*, vol. 8, no. 58, pp. 33383–33390, Sep. 2018, doi: 10.1039/C8RA04015J.
- [80] Y. Xun, L. Feng, Y. Li, and H. Dong, "Mercury accumulation plant *Cyrtomium macrophyllum* and its potential for phytoremediation of mercury polluted sites," *Chemosphere*, vol. 189, pp. 161–170, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.09.055.
- [81] L. Yang *et al.*, "Phytoremediation of heavy metal pollution: Hotspots and future prospects," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 234, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.ECOENV.2022.113403.
- [82] R. Ying, B. Xia, X. Zeng, R. Qiu, Y. Tang, and Z. Hu, "Adsorption of Cadmium by *Brassica juncea* (L.) Czern. and *Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr. in Pot Experiment," *Sustainability*, vol. 14, no. 1, p. 429, Dec. 2021, doi: 10.3390/SU14010429.
- [83] B. Yu *et al.*, "Phytoremediation potential of *Youngia japonica* (L.) DC: a newly discovered cadmium hyperaccumulator," *Environmental Science and Pollution Research* 2020 28:5, vol. 28, no. 5, pp. 6044–6057, Sep. 2020, doi: 10.1007/S11356-020-10853-6.
- [84] L. Zhong *et al.*, "Phytoremediation potential of *Pterocypsela laciniata* as a cadmium hyperaccumulator," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 13, pp. 13311–13319, Mar. 2019, doi: 10.1007/S11356-019-04702-4.
- [85] G. P. S. Sidhu, A. S. Bali, H. P. Singh, D. R. Batish, and R. K. Kohli, "Phytoremediation of lead by a wild, non-edible Pb accumulator *Coronopus didymus* (L.) Brassicaceae," *Int J Phytoremediation*, vol. 20, no. 5, pp. 483–489, Apr. 2018, doi: 10.1080/15226514.2017.1374331.
- [86] F. Capozzi, M. Sorrentino, A. Caporale, N. Fiorentino, S. Giordano, and V. Spagnuolo, "Exploring the phytoremediation potential of *Cynara cardunculus*: a trial on an industrial soil highly contaminated by heavy metals," *Environmental Science and Pollution Research* 2020 27:9, vol. 27, no. 9, pp. 9075–9084, Jan. 2020, doi: 10.1007/S11356-019-07575-9.
- [87] A. Ciurli, L. Lenzi, A. Alpi, and A. Pardossi, "Arsenic Uptake and Translocation by Plants in Pot and Field Experiments," *International Journal of Phytoremediation*, vol. 16, no. 7–8, pp. 804–823, 2014, doi: 10.1080/15226514.2013.856850.
- [88] M. Lago, D. Arenas, L. Andrade, and F. Vega, "PhytoDisponible content of metals in soils from copper mine tailings (Touro mine, Galicia, Spain)," *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 147, no. PB, pp. 159–166, Dec. 2014, doi: 10.1016/J.GEXPLO.2014.07.001.
- [89] M. Lago, D. Arenas, A. Rodríguez, M. L. Andrade, and F. A. Vega, "Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry," *Solid Earth*, vol. 6, no. 1, pp. 323–335, Mar. 2015, doi: 10.5194/SE-6-323-2015.
- [90] F. Meng, Y. Gao, and Q. Feng, "Discovery and mechanism study of a novel chromium-accumulating plant, *Lonicera japonica* Thunb.," *Environmental Science and Pollution*, vol. 26, no. 14, pp. 13812–13817, Sep. 2018, doi: 10.1007/S11356-018-3182-9.
- [91] V. Nescu *et al.*, "Physiological Aspects of Absorption, Translocation, and Accumulation of Heavy Metals in *Silphium perfoliatum* L. Plants Grown in a Mining-Contaminated Soil," *Minerals*, vol. 12, no. 3, p. 334, Mar. 2022, doi: 10.3390/MIN12030334.
- [92] B. Piršelová, R. Kuna, P. Lukáč, and M. Havrlentová, "Effect of cadmium on growth, photosynthetic pigments, iron and cadmium accumulation of Faba Bean (*Vicia faba* cv. Aštar)," *Agriculture*, vol. 62, no. 2, pp. 72–79, Aug. 2016, doi: 10.1515/AGRI-2016-0008.
- [93] A. Puerto, "Avances en la utilización de esquejes de *Halimione portulacoides* (L.) aellen en estrategias de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados," Tesis de doctorado, Universidad De Sevilla, Sevilla, 2017. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://idus.us.es/handle/11441/74710>
- [94] A. Ramírez, "Evaluación del potencial fitorremediativo para el control de la exposición al plomo y otros metales y restauración ambiental en Haina, República Dominicana," Tesis de doctorado, Universidad De Murcia, Murcia, 2017. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/53809>
- [95] E. Ranieri, U. Frattino, D. Petruzzelli, and C. Alisson, "A Comparison Between *Phragmites australis* and *Helianthus annuus* in Chromium Phytoextraction," *Water Air & Soil Pollut*, vol. 224, pp. 1–9, Feb. 2013, doi: 10.1007/S11270-013-1465-9.
- [96] V. Sánchez, "Tolerancia al estrés por cadmio y mercurio en *Medicago* spp: Análisis de los mecanismos implicados y potencial aplicación en fitorremediación," tesis de doctorado, Universidad Autónoma De Madrid, Madrid, 2015. Consultado: Apr. 30, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/666631>
- [97] G. Todde, G. Carboni, S. Marras, M. Caria, and C. Sirca, "Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) for phytoremediation: Energy and environmental life cycle assessment of using contaminated biomass as an energy resource," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102081, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102081.
- [98] C. Vargas, "Utilización de Sustancias Húmicas Comerciales para Optimizar la Fitorremediación de Suelos Mineros Usando *Vetiveria* (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) y *Verdolaga* (*Atriplex portulacoides* L.)," Tesis de doctorado, Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, 2016.
- [99] S. Vingiani *et al.*, "Hemp Cultivation in Soils Polluted by Cd, Pb and Zn in the Mediterranean Area: Sites Characterization and Phytoremediation in Real Scale Settlement," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, p. 3548, Mar. 2022, doi: 10.3390/AP12073548.
- [100] Z. Zgorelec, N. Bilandžija, K. Knez, M. Galic, and S. Zuzul, "Cadmium and Mercury phytostabilization from soil using *Miscanthus × giganteus*," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 6685, pp. 1–10, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-63488-5.
- [101] E. Azab and A. Hegazy, "Monitoring the Efficiency of *Rhazya stricta* L. Plants in Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil," *Plants*, vol. 9, no. 9, p. 1057, Aug. 2020, doi: 10.3390/PLANTS9091057.
- [102] E. Fosso, R. Santos, S. Lamine, and I. Saunders, "Phytoremediation of Heavy-Metals-Contaminated Soils: A Short-Term Trial Involving Two Willow Species from Gloucester WillowBank in the UK," *Minerals*, vol. 12, no. 5, p. 519, Apr. 2022, doi: 10.3390/MIN12050519.
- [103] R. Vizueta, A. Pascual, C. Taco, and M. Morales, "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos," *Rev. La Sallista de Investigación*, vol. 17, no. 01, pp. 177–187, 2020, Consultado: May 04, 2022. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v17n1/1794-4449-rlsi-17-01-177.pdf>
- [104] S. Bhat *et al.*, "Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach," *Chemosphere*, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134788.
- [105] K. Englander, "English Competence, Funds for Research and Publishing Success," *Springer Link*, pp. 11–13, 2014, doi: 10.1007/978-94-007-7714-9\_3.
- [106] G. Beltrán, E. Ruiz, and J. Gómez, "Vista de La importancia e influencia del idioma inglés dentro del campo científico," *Revista Lengua y Cultura*, vol. 3, no. 5, pp. 46–51, 2021, Consultado: May 19, 2022. [En línea]. Disponible: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/lc/article/view/7499/8388>
- [107] J. Gonzales, T. Chavez, K. Lemus, I. Silva, T. Galvez, and J. Galvez, "Producción científica de la facultad de medicina de una universidad peruana en SCOPUS y PubMed," *Educación Médica*, vol. 19, no. 2, pp. 128–134, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.EDUMED.2017.01.010.
- [108] Consejo Nacional De Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], "Situación de la formación de capital humano e investigación en las universidades peruanas. II Censo Nacional Universitario 2010," Lima, 2014. Consultado: May 05, 2022. [En línea]. Disponible: [https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/97/2/capital\\_humano\\_investigacion\\_universidades\\_peruanas.pdf](https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/97/2/capital_humano_investigacion_universidades_peruanas.pdf)
- [109] N. Alarcón and F. Peláez, "Transferencia de metales suelo – planta en el cerro 'El Toro', Huamachuco, Perú," *Manglar*, vol. 16, no. 2, pp. 143–149, Dec. 2019, doi: 10.17268/MANGLAR.2019.020.