



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Identificación de especies nativas para la fitorremediación de
suelos contaminados por metales pesados: Revisión sistemática

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Fernandez Medina, Yarid (orcid.org/0000-0001-7268-1560)

ASESOR:

Dr. Espinoza Farfán, Eduardo Ronald (orcid.org/0000-0003-4418-7009)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

El amor y el apoyo incondicional de mi familia en cada una de las decisiones que he tomado, es el motor que me impulsa a seguir luchando por cada uno de mis sueños. “Dezna”, gracias por acompañarme en este camino.

Agradecimiento

Agradezco a cada uno de los docentes que me han brindado su sapiencia, y me han formado durante mi etapa universitaria.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Y un agradecimiento especial a mis compañeros ahora amigos, que me han acompañado en esta etapa universitaria.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación	17
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.	17
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimiento	19
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de datos.....	22
3.9. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS	60

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de especies.....	24
Tabla 2. Factor de translocación (FT).....	27
Tabla 3. Factor de bioconcentración aérea (FBA).....	32
Tabla 4. Factor de bioconcentración radicular (FBR).....	33
Tabla 5. Mecanismos de fitorremediación.....	40
Tabla 6. Especies hiperacumuladoras.....	42

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Esquema de los técnicas de fitorremediación.....	13
Figura 2. Procedimiento de selección de artículos.....	20
Figura 3. Escenarios de estudio.....	23
Figura 4. Factor de Translocación de la <i>Werneria nubigena</i>	30
Figura 5. Factor de Translocación de la <i>Achyrocline alata</i>	31
Figura 6. Factor de Translocación de la <i>Juncus spp</i>	31
Figura 7. Factor de Bioconcentración Aérea de la <i>Werneria nubigena</i>	36
Figura 8. Factor de Bioconcentración Radicular de la <i>Werneria nubigena</i>	36
Figura 9. Factor de Bioconcentración Aérea de la <i>Achyrocline alata</i>	37
Figura 10. Factor de Bioconcentración Radicular de la <i>Achyrocline alata</i>	37
Figura 11. Factor de Bioconcentración Radicular de la <i>Juncus spp</i>	38
Figura 12. Factor de Bioconcentración Radicular de la <i>Calamagrostis spp</i>	38
Figura 13. Factor de Bioconcentración Radicular de la <i>Festuca glyceriantha</i>	39

Resumen

La contaminación del suelo con metales pesados producto de diversas actividades antropogénicas es un problema actual que pone en riesgo diversos ecosistemas. La fitorremediación con especies nativas viene siendo una alternativa sustentable y económica para mitigar los impactos generados por estas actividades. El presente trabajo de investigación es una revisión sistemática, con un enfoque cualitativo, que tiene como objetivo analizar la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados empleando especies nativas. El proceso de investigación se realizó en tres etapas; la primera etapa fue la búsqueda sistemática, en diferentes plataformas científicas, publicadas entre los años 2017 al 2022, las fuentes científicas utilizadas fueron; Google Académico, Science Direct, Scopus. En la segunda etapa se clasificó y selecciono la información de acuerdo a las especies nativas utilizadas para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, donde se recolectaron 77 investigaciones bibliográficas entre repositorios y revistas científicas en los idiomas de inglés y español y en la última etapa, se desarrolló un informe de resultados donde se concluye que las plantas nativas cuentan con una alta capacidad fitorremediadora, tanto en su parte aérea como también parte radicular, a su vez se identificó las especies nativas hiperacumuladoras, y los mecanismos que estas presentan.

Palabras clave: Fitorremediación, contaminación de suelos, metales pesados, especies nativas.

Abstract

Soil contamination with heavy metals from various anthropogenic activities is a current problem that puts at risk various ecosystems. Phytoremediation with native species has been a sustainable and economic alternative to mitigate the impacts generated by these activities. This research paper is a systematic review, with a qualitative approach, which aims to analyze the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals using native species. The research process was carried out in three stages; the first stage was the systematic search, in different scientific platforms, published between 2017 and 2022, the scientific sources used were; Google Scholar, Science Direct, Scopus. In the second stage, the information was classified and selected according to the native species used for the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals, where 77 bibliographical investigations were collected between repositories and scientific journals in the languages of English and Spanish and in the last stage, a report of results was developed concluding that native plants have a high phytoremediation capacity, both in the aerial part and also in the root part, the native hyperaccumulative species were identified, and the mechanisms that these present.

Keywords: Phytoremediation, soil contamination, heavy metals, native species.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú diversas actividades antropogénicas, vienen generando impactos recurrentes en los ecosistemas. La contaminación por los metales pesados viene siendo un gran problema ambiental muy significativo, puesto que hace que los recursos como el agua y el suelo estén expuestos a un alto grado de acidez y concentraciones tóxicas que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del país (Chang et al., 2017).

Las aguas residuales industriales y domésticas, la fundición, la minería, la fabricación de combustibles, los agroquímicos, la agricultura intensiva, los lodos vertidos son diversas actividades que son considerados como puntos de ingreso de los metales pesados al suelo (Ashraf S. et al., 2019, p. 714; Peña y Beltrán, 2017).

A pesar que muchos de los metales tienen funciones esenciales y cumplen funciones importantes para las plantas, existen otros metales que son altamente tóxicos y son potencialmente peligrosos en altas concentraciones y supone un riesgo al sistema edáfico como también al sistema hídrico, debido a la lixiviación generada por los metales y por su persistencia en el suelo, que es absorbido por las plantas e integrado en la cadena trófica (Jara, 2018, p. 15; Oyuela, Fernández y Gutiérrez, 2017, p. 1231).

La cadena trófica se vuelve vulnerable a través de la biomagnificación por la exposición de los diversos metales pesados dispuestos en el suelo, poniendo en riesgo de manera directa e indirecta la salud de los consumidores primarios, secundarios y terciarios, que vienen siendo los animales y las personas, mediante la ingestión de alimentos enriquecidos con metales pesados (Cruzado-Tafur E. et al., 2021; Xiao R. et al., 2018, p. 178).

Existen tres técnicas para la remediación de suelos que son: física, química y biológica.

La remediación física consiste en reemplazar el suelo para realizar diferentes procesos como el aislamiento, la vitrificación y la remediación electrocinética (Murtić S. et al., 2021, p. 534).

Mientras que para realizar una remediación química se utilizan productos químicos para la inmovilización, la encapsulación y el lavado de suelos. Estas dos técnicas son altamente eficientes, pero demasiado costosas y tienden a generar diversos efectos negativos en el suelo, ya que dañan la fertilidad del suelo, es por eso que no es recomendada (Murtić S. et al., 2021, p. 534).

Como alternativa recomendable tenemos a la remediación biológica, que se da mediante el uso de plantas, principalmente especies introducidas y en algunos casos especies nativas que absorben de acuerdo al estado de solución de los metales pesados, esto hace posible la movilidad del metal hacia las raíces de las plantas, todo ese proceso se conoce como fitorremediación (Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021).

La fitorremediación viene siendo una tecnología biológica emergente y en constante crecimiento que se da a través de la asociación de las plantas con los microorganismos con el fin de minimizar los contaminantes y su impacto tóxico en el ambiente (Sarwar N. et al., 2017, p. 713; Corpus, 2018, p. 9).

Una técnica potencial que a sus inicios en el año 1960, empleaba plantas acuáticas para la depuración de aguas residuales (Cepeda y Echavarría, 2018). Hoy en día es un mecanismo amigable con el entorno, es una forma estética, económica y respetuosa a diferencia de los mecanismos convencionales de remediación (Ashraf S. et al., 2019, p. 718; Chamba-Eras I. et al., 2022, p. 2).

Las plantas remedian las zonas contaminadas mediante distintas técnicas como la fitoextracción, fitoestabilización, fitovolatilización y la fitodegradación, esto se da de acuerdo a la capacidad de movilizar, absorber, tolerar y almacenar los contaminantes ya sea en su raíz, tallo, hojas y brotes (Maguiña, 2017, p. 21).

Para evaluar la capacidad que tienen cada una de las especies para concentrar y translocar los metales pesados desde la raíz hasta sus partes aéreas, existen factores que se vienen utilizando, como el Factor de Bioconcentración (FBC), este factor nos ayuda a conocer la eficiencia que posee una planta para acumular desde su entorno diversos metales, que son concentrados en sus tejidos, ya sea en su sistema radicular o en su parte aérea (Clemente J. et al., 2021, p. 4).

También se viene utilizando el Factor de Translocación (FT), este factor nos brinda información sobre la relación del contaminante concentrado entre la parte aérea y las raíces de la planta (Torres, 2018; Munive R. et al., 2020, p. 184).

Sin embargo, existen diversos factores que influyen en la adaptabilidad de la planta a un entorno contaminado, como la falta de nutrientes, el valor de pH extremo, el suelo suelto y fluido, la mala capacidad de retención de agua y fertilizantes, y la temperatura superficial excesivamente alta (Wu B. et al., 2021, pp. 1-2; Martínez-Manchego, Sarmiento-Sarmiento y Bocardo-Delgado, 2021, p. 162).

Esto hace que las plantas usadas para la remediación puedan sobrevivir difícilmente y sean incapaces de lograr la función de fitorremediación, o en algunos casos la duración de la remediación podría durar décadas dependiendo el nivel de contaminación (Wu B. et al., 2021, pp. 1-2; Xiao R. et al., 2018, p. 179).

Ante esta problemática son pocos los investigadores que han estudiado el potencial de las plantas nativas para la fitorremediación (Chang J. et al., 2018, p. 3).

Se considera especies de plantas nativas a aquellas que son propias de un determinado lugar, ya que se han adaptado y han evolucionado en dicho ambiente creando simbiosis con otros organismos vivos. La introducción de estas especies en estos determinados ecosistemas se realizó de manera natural, sin intervención humana (Gasparri, Rodríguez y Cristaldo, 2021)

La fitorremediación con especies nativas es más efectiva y eficiente que sus contrapartes no nativas, y es ecológicamente más segura, más económica, estéticamente agradable, socialmente aceptable y más fácil de cultivar (Futughe, Purchase y Jones, 2020, p. 317).

Siendo esta una opción útil porque se adaptan y se desarrollan mejor a las condiciones ambientales locales en comparación con las plantas introducidas (Chang J. et al., 2018, p. 3; Martínez-Manchego, Sarmiento-Sarmiento, & Bocardo-Delgado, 2021, p. 162).

Por consiguiente se formuló el siguiente **problema general**: ¿Cuáles son las especies nativas más eficientes para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados?

En cuanto a los **problemas específicos**: ¿Cuál es la capacidad de translocación y de acumulación que poseen las especies nativas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados?, ¿Qué mecanismos de fitorremediación presentan las especies nativas en la remediación de suelos contaminados por metales pesados?, ¿Cuáles son las especies nativas hiperacumuladoras para la remediación de suelos contaminados por metales pesados?

La **justificación social** se fundamenta porque impulsará el desarrollo y manejo de nuevos mecanismos de remediación, que sean más amigables con el entorno, más eficientes y seguras para una adecuado tratamiento de suelos contaminados (Leon, 2017).

La **justificación teórica** se da puesto que aportará y contribuirá a otras perspectivas y conocimientos para el desarrollo de investigaciones futuras que estén enfocados en la remediación de suelos contaminados con metales pesados, utilizando alternativas eficientes y seguras como son las especies nativas.

La investigación se **justifica de manera práctica** ya que aportará información que ayudará a solucionar los problemas de contaminación de suelos por metales pesados utilizando especies nativas y así evitar el uso de especies no nativas (Futughe, Purchase y Jones, 2020).

La **justificación metodológica** se fundamenta porque brindará información sobre el procedimiento aplicado en la investigación, que consiste en el análisis documental de diversos artículos y repositorios, para identificar e incentivar el uso de especies nativas para la remediación de suelos contaminados con metales pesados.

La investigación tiene como **objetivo general**: fue: Identificar especies nativas más eficientes para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, y en cuanto al **objetivo específico**: Determinar la capacidad de translocación y de acumulación que poseen las especies nativas para la

remediación de suelos contaminados por metales pesados, analizar los mecanismos de fitorremediación que presentan las especies nativas en la remediación de suelos contaminados por metales pesados, identificar las especies nativas hiperacumuladoras para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación se menciona las síntesis de los antecedentes investigados a nivel nacional:

Fow A., (2021); este estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas (*Calamagrostis* spp., *Paranephelium ovatus* y *Werneria nubigena*) asistidas con biochar en suelos contaminados por Drenaje ácido de roca (DAR). Esta investigación es de tipo básica y aplicada a través de un análisis cuantitativo y tiene un diseño experimental. Se investigó un proceso avanzado del Drenaje ácido de minas en la microcuenca Quillcayhuanca, en el departamento de Ancash donde encontraron una alta concentración de metales pesados en los recursos hídricos y el suelo. Ante esta problemática, se realizaron evaluaciones para determinar los parámetros ambientales y la concentración de metales, luego se escogieron y recolectaron tres especies vegetales predominantes, las cuales fueron cultivadas a 3850 m.s.n.m en suelos contaminados y expuestas a diferentes dosis de biochar. Los resultados nos demostraron altas concentraciones de metales por la presencia del DAR, y demostró igualmente la influencia de la aplicación dosificada de biochar. Se determinó que las especies seleccionadas demostraron un potencial de remediación, la *Calamagrostis* spp acumuló Cobre y Aluminio en las partes aéreas, la *Paranephelium ovatus* como la *Werneria nubigena* presentaron aumentos significativos de Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre en sus partes radiculares.

Chuptaya y Molina, (2022); el objetivo que se plantea fue evaluar el potencial de fitorremediación de dos especies en suelos contaminados con metales pesados en Canta - Lima. Este estudio tiene un diseño experimental. Se recopiló muestras de suelo como también muestras vegetales de toda la estructura de las plantas, y estas fueron analizadas en laboratorio. Donde se determinó que la *Schinus molle* logró acumular en toda su estructura cantidades significativas de Sr y Tl, a su vez demostró un potencial de hiperacumulación de Hg en toda su estructura y de Tl en su raíz y tallo, mientras que la *Acacia macracantha* acumuló en su tallo solo Sr y en sus hojas solo Tl, a su vez demostró un potencial de hiperacumulación de Hg en toda su estructura de la planta. Estos resultados

demonstraron el potencial de remediación que poseen la *Schinus molle* y *Acacia macracantha*.

Romero y Bravo, (2021); mencionan que el objetivo de su trabajo de investigación es analizar el potencial de plantas nativas como el Ichu y Cortadera, para la absorción de metales pesados de pasivos ambientales mineros. El trabajo de investigación tomo muestras de especies potenciales y de suelos contaminados por pasivos ambientales de zonas de la provincia de Hualgayoc en el departamento de Cajamarca. En dichas muestras de suelos se cultivaron durante ocho meses las especies seleccionadas para determinar los niveles de concentración de metales pesados en la raíz y en las partes aéreas. La conclusión de la investigación fue que las plantas nativas son adecuadas para la remediación ya que cuenta con capacidad de acumular metales pesados en diferentes escalas.

Papuico K., (2018), en su investigación tiene como objetivo analizar el potencial de fitorremediación de la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) para la extracción de metales pesados en la relave de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas. Esta investigación es de tipo descriptivo y longitudinal, el diseño experimental. La muestra se realizó de manera aleatoria, en un área total de 9 m². El método de investigación se realizó mediante trabajo de gabinete y trabajo de campo, para lo cual se realizó el recojo de esquejes de 5cm para su posterior plantación, se realizaron monitoreos de crecimiento cada tres meses, luego de 9 meses se realizó la extracción y análisis de las muestras. Los resultados indicaron que el *Senecio rudbeckiaefolius* tiene potencial para la bioacumulación ya que capturo en diversas concentraciones en su proceso de extracción metales pesados.

Leon V., (2017), tiene como objetivo evaluar el potencial fitorremediador de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de una compañía minera en condiciones de invernadero. La investigación tuvo varias etapas de desarrolló, la primera fue la etapa de propagación de cuatro especies seleccionadas y la segunda etapa fue de tratamiento donde se seleccionaron tres especies con potencial de propagación las cuales estuvieron expuestas a suelos contaminados. Se concluyó que las

especies evaluadas, cuentan con capacidad fitorremediadora, ya que su propagación en áreas expuestas a metales pesados es alta.

A nivel internacional se mencionan las siguientes síntesis de los antecedentes investigados:

Wu B. et al., (2021), elaboraron una investigación, que tuvo como objetivo investigar la distribución espacial de los metales pesados del suelo; explorar la abundancia y distribución de la vegetación en diferentes distancias de relaves; medir la concentración de metales pesados en las plantas dominantes; evaluar el potencial de enriquecimiento y migración de las plantas dominantes nativas; descartar especies con potencial de remediación y aplicarlas al proyecto de fitorremediación en esta área de relaves mineros. El diseño de la investigación fue experimental, y se realizó en la región de Sichuan en China. Los resultados de la investigación demostraron la existencia de metales pesados cuyos niveles de toxicidad superan los estándares de Clase II en China. Se encontraron 73 especies de plantas, a las cuales se midió la concentración de metales, donde se encontró plantas con una buena capacidad de fitoextracción y fitoestabilización.

Lu N. et al., (2021), mencionan que su objetivo de investigación es explorar los efectos del suelo contaminado con Pb en las características de crecimiento de diferentes plantas, aclarar la relación de redistribución de Pb entre el suelo y las plantas, e identificar Pb enriquecimiento en diferentes tejidos y órganos vegetales. Esta investigación tiene un diseño experimental. Las plantas con buen potencial de reparación fueron seleccionadas después de la comparación final. Los resultados mostraron que existe diferencia entre la relación de Pb acumulado por las plantas y el nivel de Pb contenido en el suelo. Se determinó un gran potencial de remediación del ajeno y el plátano, para la acumulación de Pb metálico dispuestos en suelos mineros en el noroeste de China.

Hasnaoui S. et al., (2020), su investigación tuvo como objetivo la detección de plantas nativas que crecen en un área contaminada en las cercanías de un área minera de Pb/Zn en el este de Marruecos; y la identificación de plantas nativas tolerantes y/o hiperacumuladoras para sugerir plantas adecuadas para uso en fitorremediación. Este estudio tiene un diseño experimental. Los resultados

mostraron un bajo contenido de materia orgánica en los suelos a su vez altas concentraciones de metales pesados, como el Pb y el Zn, debido a las actividades de extracción existentes. Las muestras de plantas nativas y dominantes se clasificaron en 14 especies y ocho familias. El análisis de fitorremediación a la *Artemisia herba-alba* demostraron altas concentraciones de metales pesados como el Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel y Plomo en sus brotes. Mientras que la *Reseda alba*, *Cistus libanotis*, *Stipa tenacissima* y *Artemisia herba-alba*, mostraron una gran capacidad de tolerancia e hiperacumulación de metales pesados, especialmente Pb, en su estructura.

Cepeda I., (2018), su estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad biorremediadora de dos especies (*Baccharis latifolia* y *Verbesina crassirame*) de Asteráceas sobre suelos contaminados con arsénico. Este estudio tiene un diseño experimental. El estudio se realizó en un invernadero para la fácil aclimatación de las especies seleccionadas, estas fueron sembradas y asistidas con nutrientes necesarias. Se dosificó a las especies diversas concentraciones de arsénico. Luego de dos meses se realizó el análisis de los individuos para determinar la concentración de arsénico en el suelo, la raíz, el tallo y las hojas. Los resultados demostraron que las especies estudiadas concentraron diversos niveles de arsénico esto demostró el potencial de remediación de dichas especies.

Ameh y Aina, (2020), el objetivo de la investigación fue determinar la concentración de metales en plantas nativas cultivadas en suelos contaminados mediante la extracción de carbón y comparar la concentración de metales en la raíz como en la biomasa aérea; a su vez se buscó evaluar, identificar y recomendar especies vegetales aptas para fines de fitorremediación. Este estudio se realizó en un área contaminada perteneciente a una mina de carbón dentro de Okaba (Nigeria) donde se logró identificar diversas especies de plantas hiperacumuladoras, fitoextractoras y fitoestabilizadoras en función a su factor de concentración. Se concluyó que solo la especie *Hyptis suaveolens* Poit tiene un gran potencial como hiperacumulador de Cu. La mayoría de las plantas bajo investigación tienen potencial para la fitoextracción y estabilización. Por lo tanto, el trabajo de investigación demostró que estas plantas demuestran capacidad de remediación.

Es necesario señalar que el suelo es de gran importancia debido a su dinamismo y a su complejidad ya que contribuye de manera favorable en la producción agrícola y en consecuencia, para la supervivencia humana (Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, p. 1), sin embargo a pesar de su importancia, a nivel mundial la contaminación de los suelos a causa de metales pesados supera los 20 millones de hectáreas (Jaramillo y Trujillo, 2021, p. 16) una cifra que va en aumento debido a las actividades antropogénicas.

Los metales pesados son producidos principalmente por actividades geológicas como la meteorización de rocas, las erupciones volcánicas, entre otras y actividades humanas (Ashraf S., 2019, p. 714; Shah y Daverey, 2020, p. 2), existen numerosas fuentes que generan contaminantes y que son introducidos en los suelos como son; las minas, las fundiciones, las fábricas, las refinerías de petróleo, las industrias pesadas y la agricultura, producen contaminantes que son liberados al medio ambiente con mucha frecuencia (Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, pp. 1,4).

En el Perú se realizan muchas de estas actividades, siendo la principal la minería, ya que cuenta en su territorio recursos metálicos y no metálicos, que vienen siendo extraídos desde el año 2000 con el comienzo del boom de la extracción minera a tajo abierto, ubicados principalmente en la sierra peruana (Huerta, 2019, p. 3; Martínez-Manchego, Sarmiento-Sarmiento y Bocado-Delgado, 2021, p. 162).

Los metales pesados se clasifican en esenciales y no esenciales, el primero mencionado también conocido como oligoelementos son necesarios para la vida, en bajas concentraciones cumple funciones biológicas importantes, ayudan a mejorar el crecimiento y el rendimiento, proporcionan micronutrientes esenciales y tienen funciones reguladoras importantes en los procesos biológicos, podemos mencionar al Boro (B), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe) , Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Níquel (Ni) , Selenio (Se) y Zinc (Zn) ; mientras que los metales no esenciales no cumplen funciones biológicas y son altamente tóxicos para las plantas provocando alteraciones en la estructura biomolecular, causando inhibición del crecimiento, deterioro de la calidad del suelo, reducción del rendimiento, y aberraciones en las funciones metabólicas, entre los metales

pesados tenemos al Arsénico (As), Cromo (Cr), Plata (Ag), Plomo (Pb), Selenio (Se), Talio (Tl) y Mercurio(Hg) (Sarwar N. et al., 2017, pp. 711-712; Ramírez, 2017, p. 12; Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, p. 7; Ashraf S. et al., 2019, p. 716)

La bioacumulación de los metales pesados son altamente tóxicos en los organismos ya que se ven afectados diversos eslabones de la cadena alimenticia (Chuptaya y Molina, 2022, p. 6). Dicho ingreso de los metales pesados pone en riesgo a los ecosistemas y a los seres humanos debido a la biomagnificación, en los seres humanos el consumo en concentraciones bajas de plantas intoxicadas con metales pesados causa cáncer y otras enfermedades crónicas a largo plazo (Ashraf S. et al., 2019, p. 716; Sarwar N. et al., 2017, p. 712).

La remediación de suelos contaminados producto de la interacción con metales pesados se realiza de manera ex-situ mediante técnicas fisicoquímicas, y de manera in-situ, siendo esta la más recomendada por ser económica y respetuosa con el medio ambiente, los mecanismos de remediación buscan eliminar completamente los contaminantes y posteriormente transformar los contaminantes en formas menos dañinas (Ashraf S. et al., 2019, p. 717).

La tolerancia de las plantas para concentrar metales en grandes cantidades, hace que se puedan desarrollar en medios contaminados (González, 2017, p. 21; Corpus, 2018, p. 44) esto resulta ser una buena técnica para recuperar suelos, mediante la fitorremediación, aprovechando la capacidad de absorber, estabilizar, volatilizar, estimular, extraer, metabolizar y degradar metales pesados (Arce, Calderón y Jarecca, 2021, p. 70), del mismo modo, el crecimiento de las plantas ayuda a la estabilidad física en el suelo, evita la erosión y reduciendo la generación de polvo minimizando la movilidad de los metales (Ramírez, 2017, p. 28). Dicha movilidad resulta ser un factor determinante para su disponibilidad y potencial de lixiviación a través de diversos perfiles de suelo (Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, p. 8), el grado de acumulación de las plantas depende de la selección de la especie y la condiciones del suelo contaminado por metales pesados, ya que las plantas tienen diversos mecanismos como los excluyentes, indicadoras y acumuladoras (Jara, 2018, p. 12).

Las plantas cumplen una función muy importante, ya que secuestran los metales pesados en estado de solución y los bioacumulan a través de las raíces, se pueden agrupar en diferentes grupos de acuerdo a sus mecanismos para desarrollarse en suelos contaminados; acumuladores: por su capacidad de concentrar metales en sus partes aéreas; excluyentes: impide que los metales entren a la raíz y también restringe la movilidad de los metales a las partes aéreas de la planta; e indicadores: regula la absorción y el transporte para que la concentración en el tejido aéreo con la concentración del suelo tengan una relación lineal (Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, pp. 2,10; González, 2017, p. 40; Covarrubias y Peña, 2017, p. 11).

La fitorremediación durante los últimos años se viene utilizando como una alternativa sustentable y de bajo costo (Leon, 2017), una tecnología capaz de usar las plantas (nativas o introducidas) y su relación con los microorganismos (Fow, 2021, p. 43; Soto, 2019, p. 10; Maguiña, 2017, p. 20) para minimizar, remover, reducir o extraer metales pesados de suelos contaminados (Romero y Bravo, 2021, p. 27; Sarwar N. et al., 2017, p. 713).

La fitorremediación se da mediante la asociación de la microbiota del suelo y la capacidad y tolerancia de las plantas para remediar los contaminantes del suelo ya sea in situ o ex situ, para mejorar sus condiciones, transportando los metales pesados a sus partes altas o estabilizándolos en sus raíces (Chang J. et al., 2018, p. 3; Guerra, Muñoz y Sokolski, 2021, p. 9; Rondón, 2021, p. 18). Entre las ventajas adicionales que nos ofrece la fitorremediación tenemos el aumento de la población microbiana del suelo, la aireación del suelo por la intervención de las raíces (Chinchay y Chamorro, 2020, p. 5).

Las plantas hiperacumuladoras, son aquellas especies que absorben, concentran y acumulan grandes niveles de metales pesados, sin presentar síntomas de toxicidad ya que han desarrollado tolerancia, estos pueden superar 100 veces las concentraciones normales, que luego son trasladados a sus tejidos, la adaptación a las elevadas concentraciones requiere un alto consumo de energía lo que provoca que tengan poca biomasa (Romero y Bravo, 2021; Jara, 2018, p. 12; Dávila y Walter, 2018, p. 29).

Dependiendo del tipo de contaminante existen diversas técnicas de fitorremediación (Fow, 2021, p. 41) que se agrupan en subclases (Ashraf S. et al., 2019, p. 718) la fitoestabilización, fitovolatilización, la fitoestimulación, la fitoextracción, la rizofiltración, la rizodegradación los cuales varían en naturaleza de acuerdo con el espécimen o especie vegetal y el metal pesado en cuestión (Futughe A. et al., 2020, p. 288; Guerra B. et al., 2021, p. 9).

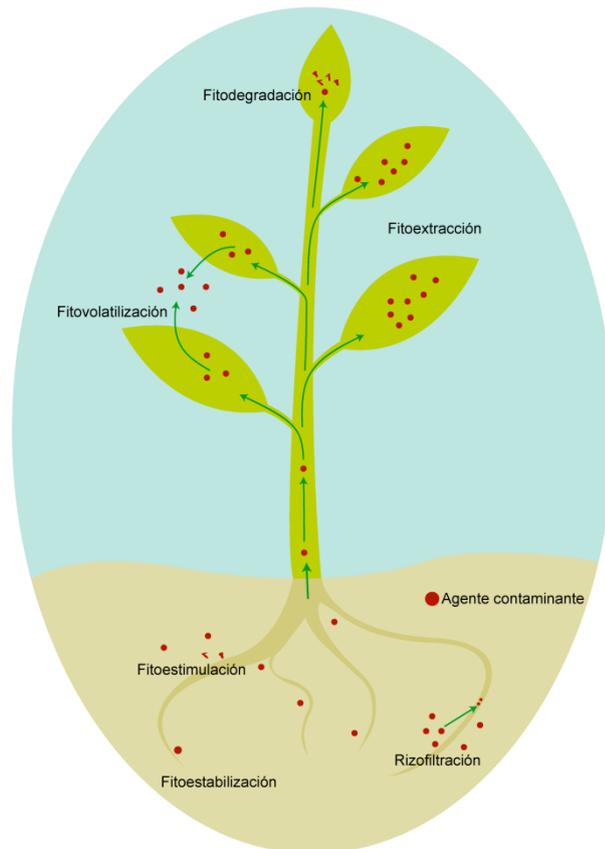


Figura 1. Esquema de las técnicas de fitorremediación.

Fuente: elaboración propia.

La fitoestabilización, emplea especies para evitar la translocación de metales pesados a sus partes aéreas gracias al desarrollo de mecanismos y tolerancia para inmovilizar física y químicamente los contaminantes mediante su absorción en las raíces y fijación con diferentes enmiendas del suelo, se realiza en periodos cortos por la persistencia de los contaminantes en el suelo, la fitoestabilización evita que los metales pesados ingresen en la cadena trófica (Ashraf S. et al., 2019, p. 718; García y Vásquez, 2020, p. 17).

La fitovolatilización, emplea especies para absorber y transportar metales pesados desde la raíz hasta las partes altas para realizar la conversión del metal a su forma volátil y menos tóxica para posterior liberación en la atmósfera a través de estomas (Sarwar N. et al., 2017, p. 714; García y Vásquez, 2020, p. 18).

La fitoestimulación, emplea la interacción de las plantas con los microorganismos para degradar contaminantes orgánicos (Corpus, 2018, p. 66)

La fitoextracción, es considerada como una técnica no invasiva, económica y segura para el medio ambiente, que emplea especies para la captación y absorción mediante la translocación de metales pesados hasta las partes aéreas de las plantas (brotes) para su posterior tratamiento, la cosecha y el quemado de los brotes aporta y beneficia en la generación de energía y a su vez en el reciclaje del metal mediante las cenizas (Jara, 2018, p. 14; Martínez, 2018, p. 15; Pietrini I. et al., 2021, p. 2).

La rizofiltración se utiliza para remediar aguas contaminadas y otros efluentes acuosos, a través de las raíces de las plantas, para esta técnica se utilizan plantas hidropónicas que luego son trasladadas a aguas contaminadas, para que las raíces acumulen y absorban los metales pesados (Corpus, 2018, p. 65; García y Vásquez, 2020, p. 19)

La fitodegradación y la rizodegradación consiste en la captación, almacenaje y degradación de compuestos orgánicos a través de las enzimas de las plantas para generar subproductos menos tóxicos o no tóxicos (Jara, 2018, p. 14; García y Vásquez, 2020, p. 17)

Luego de la utilización de estas técnicas de fitorremediación las partes donde se acumula los metales pesados en las plantas pueden ser extraídas y destruidas o recicladas (Ramírez, 2017, p. 26)

Para identificar la capacidad y el potencial que tienen las plantas para absorber y translocar metales pesados, existen factores que se vienen utilizando como son el Factor de Bioconcentración (FBC) y el Factor Translocación (FT). El Factor de Bioconcentración (FBC) nos indica el grado de contaminación y la capacidad para transferir los metales pesados desde el suelo hasta los tejidos de las plantas, nos

muestra la relación existente entre la concentración del metal en la raíz, tallos y hojas y la concentración del metal existente en el suelo, el valor mayor a 1 representa la capacidad que tiene la planta de absorber y acumular los metales pesados (Chen R. et al., 2021; Okoye E. et al., 2022, p. 2), cuando los valores son mayores a 10, llegando hasta valores sobre 50, se consideran que son potencialmente hiperacumuladoras (Fow, 2021, p. 44; González, 2017, p. 21)

El Factor de bioconcentración (FBC) se calcula con la siguiente ecuación (Okoye E. et al., 2022, p. 2):

$$FBC = \frac{[Metales\ pesados_{Raíces,hojas\ o\ tallos}]}{Metales\ pesados_{Suelo}}$$

Para conocer la capacidad que tiene una planta para transportar metales el Factor de Translocación (FT) deberá ser mayor a 1, esto representa una capacidad de transporte desde las raíces hasta la parte aérea de la planta (Alderete-Suarez B. et al., 2019, p. 96), se calcula mediante la siguiente ecuación (Jara, 2018, p. 45):

$$FT = \frac{[Metales\ pesados_{Hojas\ o\ tallos}]}{Metales\ pesados_{Raíces}}$$

Para identificar una especie indicadora se determina de acuerdo al valor del FBC Raíz, este debe ser menor a 1 (Chuptaya y Molina, 2022).

$$FT < 1$$

La eficiencia de la fitorremediación progresa exitosamente cuando las especies en desarrollo logran adaptarse a diversos factores como el pH extremo, la falta de nutrientes, el oxígeno disuelto, la capacidad de retención de agua, la temperatura superficial excesivamente alta, el clima, la concentración y movilidad de contaminantes en el área a remediar, mucho de estos factores mencionados hacen que a las plantas de remediación se les haga difícil sobrevivir y desarrollarse, esto provoca que sean incapaces de lograr la función de fitorremediación (Wu B. et al., 2021, pp. 1-2; Wong-Argüelles C. et al., 2021, p. 134; Xiao R. et al., 2018, p. 179).

Para que la fitorremediación sea más efectiva es necesario evitar el uso de especies alóctonas o no nativas, especies potencialmente invasoras, que son capaces de dispersarse y establecerse, este proceso genera una competencia entre las especies invasoras y nativas lo que provoca una amenaza para la especies regionales, las especies nativas son fitorremediadoras capaces de separar, captar, metabolizar y acumular contaminantes presentes en el suelo (Futughe, Purchase y Jones, 2020, p. 3; Chinchay y Chamorro, 2020, p. 5; Oyuela, Fernández, y Gutiérrez, 2017, p. 1234).

Varios estudios demostraron el alto potencial de desarrollo de las especies nativas en suelos contaminados (Martínez-Manchego L. et al., 2021, p. 162), ya que son productos evolutivos de ese ambiente y presentan mejores tasas de supervivencia, crecimiento, adaptación y reproducción en comparación con las especies inducidas, las plantas nativas representan una buena estrategia para los estudios in situ en áreas contaminadas (Wong-Argüelles C. et al., 2021, p. 134; Murtic S. et al., 2021, p. 534). Identificar y caracterizar las especies nativas es necesario para restituir el equilibrio del ecosistema siendo esta una alternativa necesaria para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Martínez-Manchego L. et al., 2021, p. 162).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El trabajo de investigación es de tipo básica. Como menciona Álvarez-Risco (2020), la investigación es básica cuando de manera sistemática se busca conocimientos de un tema en específico (p. 3).

La investigación es cualitativa, que viene a ser un proceso metodológico detallado de la investigación, empleando métodos de recolección, para su adecuado análisis e interpretación de los datos, desde el punto de vista de los participantes (Corona y Maldonado, 2018, p. 2; Pogranivá y Matanza, 2016, p. 51; Guerrero, 2016, p. 3).

La investigación tiene un diseño narrativo de tópicos. Según Salgado (2007), esta diseño se enfoca en describir y analizar una determinada temática, suceso o fenómeno en la investigación (p. 73).

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.

El presente estudio tiene como objetivo general identificar especies nativas más eficientes para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados.

Según Cisterna (2005), menciona que “las categorías denotan una idea con mucha frecuencia en la investigación” (p.64). A su vez Pérez (2017) menciona que la categoría “es un conjunto de conceptos que agrupan diferentes conceptos o subcategorías que se presentan regularmente” (p.4). Se determinó las siguientes categorías; a) factores de concentración; b) especie nativa; c) mecanismos de fitorremediación.

Para Angulo (2017), define como las subcategorías como “conceptos que se agrupan dentro de una categoría, que le aporta claridad y distintas cualidades” (p.38). Mientras que las subcategorías tendremos; a) factor de translocación, factor de bioconcentración; b) excluyentes, indicadoras, acumuladoras; c) especies nativas hiperacumuladoras.

Según Cisterna (2005), se debe de expresar una relación entre la unidad de estudio que agrupa diferentes características dentro de las

categorías, además propone una matriz que incluye; el ámbito temático, problema de investigación, pregunta de investigación, objetivo general y específico, categorías y subcategorías. Tomando el punto anterior como referencia se propone y se muestra la siguiente matriz de categorización apriorística. **(Ver anexo 1)**.

3.3. Escenario de estudio

Según Rodríguez, Gil y Garcia (1996), el escenario de estudio “se debe identificar el estudio y este debe brindarnos el acceso a los recursos, como también las características de los participantes” (p.7).

Por lo tanto la investigación al ser una revisión sistemática tiene con escenario de estudios diversos artículos científicos de diversos trabajos de investigación de la base datos indexadas y repositorios que fueron recopilados, donde se manifiestan las diversas especies nativas que fueron utilizadas para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados.

3.4. Participantes

Para Guerrero (2016), “los participantes pueden ser manifestaciones humanas (textos, estructuras, etc.), que nos orientan a aprender desde diversos puntos de vista mediante experiencias”

Los participantes del proyecto de investigación se conformarán por las diversas fuentes de investigación que serán recopiladas de bases de datos indexadas, y plataformas académicas, para la compilación de artículos y repositorios utilizados en esta investigación. Las fuentes de investigación son las siguientes: ScienceDirect, Scopus, Springer, EBSCO, ProQuest, Scielo, Dialnet, Google Académico, Alicia Concytec, Renati.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Existen diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos (Hernández-Sampieri y Torres, 2018, p. 250), esta ayuda al investigador a obtener información, orientar, ordenar y transmitir los datos (Bustos, 2021, p. 54).

En la investigación se usará la ficha de análisis de contenido, ayudará a la interpretación de la información mediante la recolección de datos y el análisis documental (Herrera, 2018, p. 126). **(Ver anexo 2).**

3.6. Procedimiento

Según Hernández-Sampieri (2018), para la selección del procedimiento, “es necesario elegir y tener acceso a los casos relevantes de acuerdo al planteamiento del problema” (p.190). En la etapa de la revisión sistemática el procedimiento que se empleó consistió en la realización de un diagrama que resalta el proceso de búsqueda de información, para su posterior inclusión, exclusión y selección de los trabajos de investigación.

Se recopilaron (n=6115) artículos indexadas y repositorios, comprendidos entre los años 2017 al 2022, cuyos idiomas fueron el español e inglés. Para la búsqueda de información se emplearon combinaciones de las palabras clave, las cuales son: especies nativas, native species; fitorremediación, phytoremediation; suelos contaminados, contaminated soils; metales pesados, heavy metals.

Seguidamente se realizó la exclusión por duplicidad y por irrelevancia; se hizo la revisión de los trabajos de investigación y evaluación de títulos y resúmenes para su futura selección. Los trabajos de investigación que pasaron ese filtro, son leídos y se evalúa la calidad de los artículos y repositorios de interés. De los trabajos seleccionados se obtuvo un total de 77 artículos y repositorios que se emplearán para este trabajo de investigación.

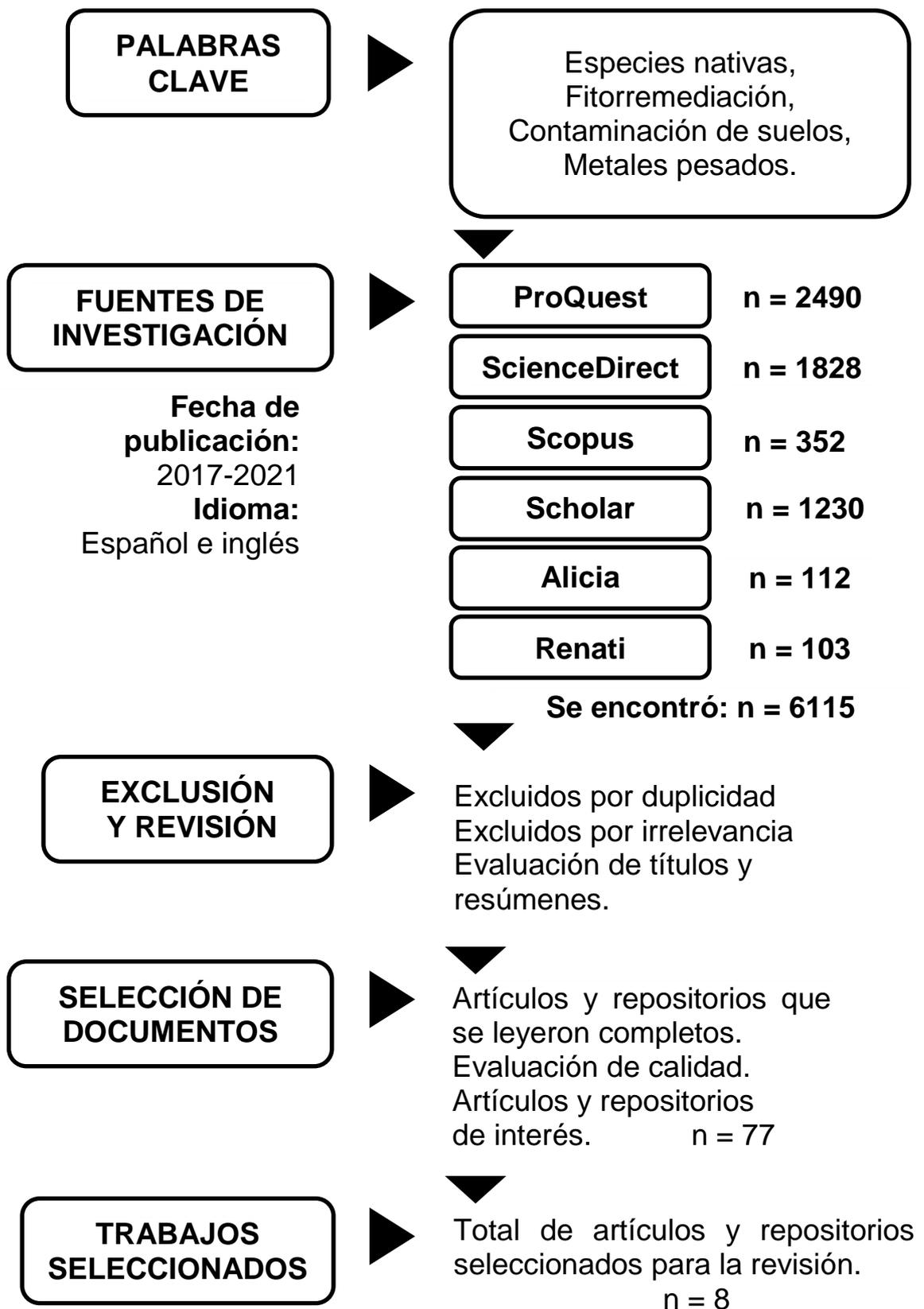


Figura 2. Procedimiento de selección de artículos

Fuente: Elaboración Propia.

3.7. Rigor científico

Según Bravo y Osorio (2017), los trabajos de investigación deben contar con rigor científico, que demuestre un adecuado desarrollo de la investigación, utilizando de manera puntual y científica la información obtenida y una adecuado manejo de las técnicas de análisis para un correcto procesamiento de los datos (p. 64), ya que se está basando en la recopilación de artículos científicos, garantizando un trabajo de calidad mediante la dependencia que hace referencia a la estabilidad de los datos (Pla, 1999, p. 298; Hernández-Sampieri y Torres, 2018, p. 501), de una manera objetiva mostrar verazmente los resultados para garantizar confiabilidad (Espinoza, 2020, p. 107), calidad y confianza de los hallazgos mediante la recopilación de información (Bravo y Osorio, 2017, p. 67). La presente investigación contará con rigor científico, ya que se basará en la recopilación coherente de diversas investigaciones, garantizando un trabajo de calidad y coherente que cumplirá con cuatro criterios importantes como son:

La dependencia o consistencia lógica, se considera cuando los resultados se mantienen similares en los trabajos de investigación de diversos investigadores, teniendo datos similares y realizando los mismos análisis, demostrando coincidencia y coherencia entre las diferentes fuentes (Hernández-Sampieri y Torres, 2018)

La credibilidad, se considera cuando el investigador interpreta adecuadamente el planteamiento sin omitir datos que contradigan la investigación (Hernández-Sampieri y Torres, 2018).

La auditabilidad o confirmabilidad, se considera cuando se demuestra mínimos errores en la investigación, mediante una adecuada interpretación de la fuente y de los datos recopilados (Hernández-Sampieri y Torres, 2018).

La transferibilidad o aplicabilidad, se considera cuando existe una amplia transferencia de información entre el investigador al usuario de la

investigación, que puede usar dicha información como guía para futuras investigaciones (Hernández-Sampieri y Torres, 2018).

3.8. Método de análisis de datos

El presente trabajo de investigación tiene un diseño cualitativo, siendo el análisis documental la técnica utilizada y el instrumento de recolección de datos utilizado será la ficha de análisis de contenido. En la investigación se empleará una matriz de categorización apriorística con la finalidad de analizar la información recopilada. Dicho análisis comprende tres categorías: factores de concentración, especies nativas y mecanismos de fitorremediación.

La primera categoría, factores de concentración comprende las siguientes subcategorías, factor de translocación y factor de bioconcentración.

La segunda categoría, mecanismos de fitorremediación, tiene tres subcategorías, excluyentes, indicadoras, acumuladoras.

Y por último, la tercera categoría, especies nativas esta cuenta con la subcategoría, especies nativas hiperacumuladoras.

Los criterios mencionados beneficiarán en la búsqueda de la información y su adecuada selección, obtenidas de fuentes indexadas como son artículos científicos y repositorios, esto facilitará la respuesta de los objetivos anteriormente planteados.

3.9. Aspectos éticos

En la presente investigación se garantizará la veracidad ya que se cumplirán los lineamientos de investigación y el código de ética de la Universidad César Vallejo dispuesto en el Reglamento de Propiedad Intelectual Resolución de Consejo Universitario N. ° 0168-2020/UCV, además se garantizará el uso correcto de las citas de la Organización Internacional de Estandarización ISO 690.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la revisión de artículos científicos y repositorios, correspondientes a los últimos cinco años, se encontraron 77 referencias bibliográficas que fueron citadas en este trabajo de investigación, de las cuales se utilizaron ocho referencias bibliográficas donde se determinaron especies nativas dentro del territorio peruano capaces de remediar suelos contaminados con metales pesados, de las ocho investigaciones cinco referencias bibliográficas se realizaron en el departamento de Ancash, así como en los departamentos de Lima, Arequipa y Cajamarca como podemos observar en los escenarios de estudio en la Figura 3.

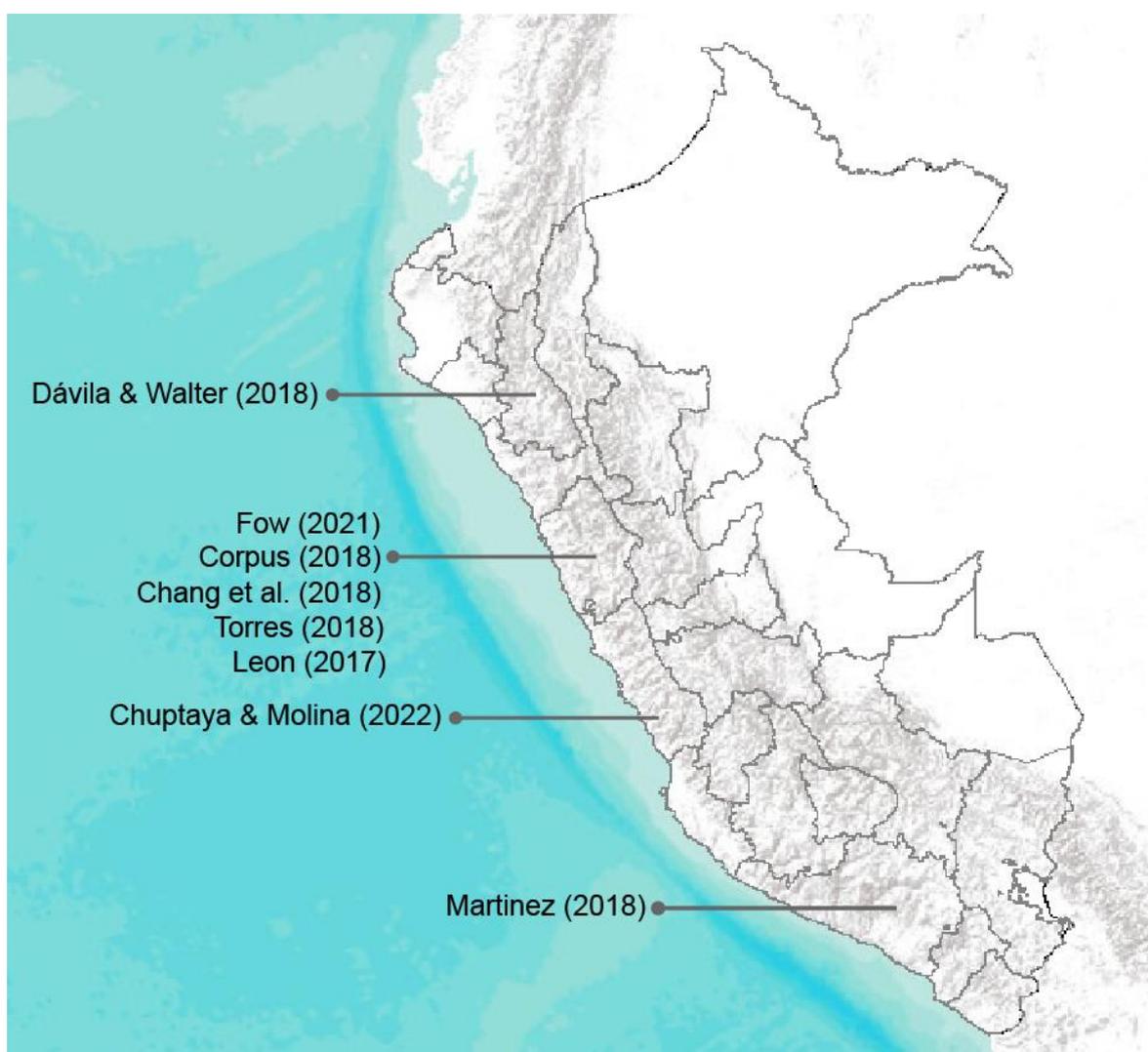


Figura 3. Escenarios de estudio

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 01, hemos identificado la distribución de las especies utilizadas en las ocho referencias bibliográficas para esta investigación, donde podemos encontrar las siguientes especies como *Werneria nubigena*, *Calamagrostis* spp., *Paranephelius ovatus*, *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, *Cortaderia jubata* (Lemoine) Stapf, *Festuca glyceriantha* Pilg., *Achyrocline alata*, *Juncus* sp., *Stipa* Ichu, *Baccharis salicifolia*, *Schoenoplectus pung.*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis* y *Lachemilla orbiculata*, que vienen siendo utilizadas para la remediación de suelos contaminados con metales pesados.

Tabla 01. *Distribución de Especies*

Familia	Nombre científico	Nombre común	Distribución
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	Lleqllish qora	<i>Werneria nubigena</i> es una especie nativa que se encuentran entre los 2800 a 5000 m.s.n.m, distribuidos en los Andes de Perú, Bolivia y Ecuador (Beltrán, 2017).
Poaceae	<i>Calamagrostis</i> spp.	Sora, Ichu	<i>Calamagrostis</i> spp. las especies se encuentran sobre los 3260 m.s.n.m, distribuidos en la cordillera de los Andes de Perú (De la Torre, Alegría, Refulio y Sánchez, 2006)
Asteraceae	<i>Paranephelius ovatus</i>	Inti Salvia	<i>Paranephelius ovatus</i> se encuentran sobre los 3600 m.s.n.m, en zonas de elevación del Perú y en Bolivia (Norrbon et al., 2013).
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Molle	<i>Schinus molle</i> se extiende por Sudamérica pero es nativa de Perú y Bolivia (Rojas , Schulte, & Rojas, 1992)
Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	Faique	Es una especie nativa de Perú, Ecuador y Colombia, se distribuyen desde 0 hasta 3000 m.s.n.m. (Tarazona, 2018)

Poaceae	Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf	Jesje	Cortaderia jubata es una especie nativa de las regiones andinas de Ecuador, Perú y Bolivia, entre los 3200 a 3800 m.s.n.m. (Lambrinos, 2000).
Poaceae	Festuca glyceriantha Pilg.	Desconocido	Festuca glyceriantha Pilg. se encuentran sobre los 3340 a 4200 m.s.n.m. distribuidos en el norte y centro del Perú (De la Torre, Alegría, Refulio y Sánchez, 2006)
Asteraceae	Achyrocline alata	Huirahuirah	Achyrocline alata se distribuye en Sudamérica, en el Perú lo encontramos desde Amazonas hasta Tacna entre los 900 a 4500 m.s.n.m. (Beltrán, 2016)
Juncaceae	Juncus spp.	Totora	Se distribuye por la en todo el continente Americano (Zeballos, Ochoa y López, 2010)
Poaceae	Stipa ichu	Ichu	Stipa ichu especie nativa que crece principalmente entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. (Weberbauer, 1945). Se distribuye en diversos países de Latinoamérica. En el Perú se difunde por la Cordillera de los Andes (Tovar, 1993)
Fabáceas	Medicago lupulina	Alfalfa	Es una especie introducida para forraje (Zeballos, Ochoa, & López, 2010)
Gramíneas	Pennisetum clandestinum	Pasto	Es una especie nativa de África oriental, distribuido ampliamente en todo el mundo (CABI, 2022).
Asteraceae	Baccharis salicifolia	Chilco	Es una especie nativa Peruana, se extienden en todo el continente americano entre los 1000 a 4000 m.s.n.m. (Loja B. et al., 2017)

Cyperaceae	Schoenoplectus pung.	Junco	Es una especie nativa, y cosmopolita, se distribuye en diferentes partes del mundo, encontrándose en zonas húmedas (Aponete, 2009)
Poaceae	Paspalum bonplandianum	Sara sara	Se extiende entre Ecuador y Perú, entre los 3400-3500 m.s.n.m. (Hitchcock, 1927)
Cyperaceae	Carex pichinchensis	Kacho pasto	Se distribuye en la cordillera de Perú y Ecuador, entre los 3300 a 4100 m.s.n.m. (Tovar, 1993)
Rosaceae	Lachemilla orbiculata	Aullarin	Se distribuye en la Región Andina del Perú entre los 2000 a 3400 m.s.n.m. (Palacios, 2009)

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 02, 03 y 04, detallan la categoría I, los factores de concentración que tiene como subcategoría al Factor de Translocación (FT), Factor de Bioconcentración Aérea (FBA) y Factor de Bioconcentración Radicular (FBR) respectivamente, nos ayudan a determinar los niveles de concentración que poseen las plantas frente a diversos contaminantes..

La tabla 02 nos muestra la capacidad de translocación (FT) de las especies estudiadas.

Tabla 02. Factor de Translocación (FT)

Factor de Translocación - FT																					
Autor	Especie Nativa	Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Tl	V	Zn	
Fow (2021)	Werneria nubigena	M1	1.11				1.11		1.42			0.39								1.02	
	Calamagrostis spp.	M1	0.88				1.09		1.31			0.48								1.91	
	Paranephelius ovatus	M1	0.88				0.79		0.69			0.91								1.05	
Chuptaya & Molina (2022)	Schinus molle	M1		1	0.5864	1	1	1	0.6897	1.0108		0.6904	1	1			0.8001	1	1	1	
		M2		1	0.0027	1	0.0064	1	0.0071	1.0045		0.05	1	1			0.9694	0.033	1	0.0251	
		M3		1	0.0419	1	0.0191	1	0.1659	1.0531		0.1812	1	1			0.449	0.0117	1	0.0088	
	Acacia macracantha	M1		1	7.8	1	1	1	0.0175	0.9884		0.4478	1	1			7.2123	0.1402	1	1	
		M2		1	0.0214	1	0.07	1	0.0534	1.0250		0.0606	1	1			1.1616	0.3206	1	0.0295	
		M3		1	0.2661	1	0.0831	1	0.1861	0.9288		0.1326	1	1			6.6631	0.2022	1	1.0391	
Corpus (2018)	Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud.	M1				0.16	0.08						0.26	0.13						0.4	
		M2				0.07	0.11							0.23	0.05						0.17
	Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf	M1				0.28	0.34							0.3	0.2						0.89
		M2				0.05	0.18							0	0.02						0.67
	Festuca glyceriantha Pilg.	M1				0.37	0.12							0.39	0.03						1.05
		M2				0.04	0.11							0.13	0.04						0.21
Chang et al. (2018)	Achyrocline alata	M1				1.14	0.87						0.87	1.94						0.77	
	Calamagrostis recta	M1				0.11	0.06						0.43	0.06						0.19	
	Cortaderia jubata	M1				0.1	0.16						0.41	0.09						0.37	
	Festuca glyceriantha	M1				0.06	0.15						0.29	0.11						0.24	
	Juncus bufonius	M1				0.59	0.91						2.72	0.54						1.63	
	Stipa ichu	M1				0.27	0.31						0.86	0.15						0.79	
Martinez (2018)	Werneria nubigena	M1				2.36	1.7						2.42	1.17						1.43	
	Baccharis salicifolia	M1								0.345											
Leon (2017)	Schoenoplectus pung.	M1								1.441											
	Achyrocline alata (Kunth) DC.	M1				1.44	0.49						1.12	0.16						1.51	
		M2				0.69	0.71						0.6	1.32						0.5	
	Werneria nubigena Kunth	M1				4.75	10.43						2.84	0						4.72	
		M2				5.4	3.94						3.58	3.35						0	
	Juncus arcticus Willd.	M1				1.45	0.89						0.86	2.46						0.2	
M2					0.05	0.01						0.06	0.01						0.88		
Dávila et al. (2018)	Calamagrostis tarmensis	M1	0.183	0.364		0.333	0.727	0.8	0.324	0.000	1.268	1.322	0.636	0.539	0	0.5	0.573	1		0.588	
		M2	0.077	0.129		0.118	0.086	1.231	0.054	0.000	3.245	6.93	0.054	0.107	0.052	0.429	0.609	0.395		0.92	
	Paspalum bonplandianum	M1	0.357	0.738		0.662	0.59	1.01	0.631	0.000	1.580	1.016	0.67	0.45	0	1	2.191	0.5		0.63	
		M2	0.12	0.086		0.196	0.185	0.162	0.085	0.000	1.768	1.377	1.653	0.113	0.057	0.273	0.867	0.5		0.913	
	Carex pichinchensis	M1	0.074	0.643		0.259	0.447	0.5	0.156	0.000	1.726	2.862	1.477	0.305	0	1	1.231	0		0.964	
		M2	0.017	0.015		0.094	0.114	0.054	0.018	0.000	1.220	1.21	2.356	0.023	0	0.2	0.552	0.5		0.525	
	Lachemilla orbiculata	M1	0.229	0.5		0.443	0.768	0.438	0.415	0.000	1.994	0.901	1.598	0.208	0	1.5	1.533	0.778		1.038	
		M2	0.323	0.484		0.339	0.44	0.46	0.487	0.000	1.023	1.193	1.697	0.342	0.1	0.6	1.424	0.7		0.914	
	Juncus conglomeratus	M1	0.03	0.03		0.384	0.256	0.048	0.045	0.000	1.703	1.193	0.26	0.041	0	1	1.25	0.667		0.613	
		M2	0.028	0.015		0.217	0.098	0	0.022	0.000	1.608	1.329	1.162	0.027	0	0.5	0.813	0		0.351	
Torres (2018)	Stipa ichu (Ruiz y Pav.)	M1				0.1	0.1						0.19	0.16						0.1	
	Kunth	M2				0.23	0.18						0.72	0.04						1.15	

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación de la tabla 02.

Fow (2021), analizo el potencial de fitorremediación de tres especies vegetales, mediante un análisis por metales para generar el FBA y el FBR como también el FT para Al, Cu, Fe, Mn y Zn.

En esta tabla, podemos observar que las especies tienen la capacidad de translocación de los metales pesados desde la raíces hasta las partes aéreas, ya que los valores que se muestran son mayores a 1, encontrando estos valores de Al, Cu, Fe y Zn en la *Werneria nubigena*, así como Cu, Fe y Zn en la *Calamagrostis spp.*, y Zn en el *Paranephelius ovatus*, lo cual indica que estas plantas movilizan eficazmente estos metales.

Chuptaya y Molina (2022), quienes trabajaron con las especies *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, tomaron tres muestras por cada especie para los siguientes metales As, Ba, Cd, Cu, Cr, Sr, Fe, Mn, Ni, Pb, Tl, V, Zn y Hg.

Donde el FT de las muestras M1, M2 y M3 realizada con la *Schinus molle* solo el Hg de dichas muestras demostró una capacidad de translocación desde la raíces hasta las partes aéreas mostrando valores mayores a 1.

El FT de la *Acacia macracantha* obtuvieron valores mayores a 1 en las muestras M1 los metales Ba y Sr; en la M2 los metales Sr y Hg, y en la M3 el Sr y Zn, demostrando así la translocación adecuada de estos metales hasta las partes altas de las plantas.

Corpus (2018), trabajó con tres especies nativas, *Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud.*, *Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf*, *Festuca glyceriantha Pilg.*, realizando dos muestras por cada especie, la M1 lo realizo en suelo con metales pesados y el M2 lo realizó en suelo de mina, para los siguientes metales Cd, Cu, Ni, Pb, Zn.

Los resultados para determinar el FT en estas tres especies mostraron que solo el Zn en la M1 perteneciente a la *Festuca glyceriantha Pilg*, obtuvo un valor mayor 1 indicando que dicha planta tiene la capacidad de translocación.

Chang et al. (2018), por su parte realizó una investigación con nueve especies *Achyrocline alata* (Kunth) DC., *Calamagrostis recta* (Kunth) Trin. Ex Steud., *Cortaderia jubata* (Lemione) Stapf, *Festuca glyceriantha* Pilg., *Juncus bufonius* L., *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth, *Werneria nubigena* Kunth., *Medicago lupulina* L. y *Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov. de las cuales las dos últimas mencionadas son especies introducidas que no tomaremos en cuenta en esta investigación debido a que no son considerados como especies nativas.

Podemos observar en la tabla 02, que solo algunas especies tienen la capacidad de translocación de metales pesados, mostrando valores mayores a 1, como son el Zn en la *A. alata*, el Ni y Zn en la *J. bufonius*, y el Cd, Cu, Ni y Zn en la *W. nubigena*.

Martinez (2018), realizó una selección de especies, donde se tomó en consideración a la *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers., y a la *Schoenoplectus pungens* (Vahl) Palla, se realizó una muestra para determinar si tienen la capacidad de translocación y acumulación de Hg. Los resultados para el FT demostraron que solo la *Schoenoplectus pung.*, tiene la capacidad de translocación.

Leon (2017), realizó su investigación con tres especies la *Achyrocline alata* (Kunth) DC., la *Werneria nubigena* Kunth y la *Juncus arcticus* Willd., realizando dos muestras por cada especie. La M1 lo realizó en suelo con metales pesados y el M2 lo realizó en suelo de una compañía minera para los siguientes metales, Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. Los resultados para determinar el FT en la *Achyrocline alata* mostraron valores mayores a 1 en la M1 el Cd, Ni y Zn y en la M2 sólo el Pb, sin embargo el FT de la *Werneria nubigena* tuvo resultados más sobresalientes, mostrando una capacidad de translocación en la M1 el Cd, Cu, Ni y Zn, y en su M2 el Cd, Cu, Ni y Pb, mientras tanto la *Juncus arcticus* solo demostró capacidad de translocación en su M1 de los siguientes metales Cd y Pb.

Dávila y Walter (2018), realizó su investigación con cinco especies; *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus*, realizando dos muestras para cada una. La M1 lo realizó en la zona no impactadas Las Gradadas y la M2 en la

zona impactada El Sinchao, para los siguientes metales Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, Zn y Hg.

El FT para el *Calamagrostis tarmensis* obtuvo valores mayores a 1 en Mg, Mn y Tl en la M1, en la M2 el Cr, Mg y Mn; El *Paspalum bonplandianum* para la M1 el Cr, Mg, Mn, Sn, Sr, para la M2 el Mg, Mn y Ni; El *Carex pichinchensis* para la M1 el Mg, Mn, Ni, Sn y Sr, para la M2 el Mg, Mn y el Ni; *Lachemilla orbiculata* en su M1 el Mg, Ni, Sn, Sr y Zn y en su M2 el Mg, Mn, Ni y Sr. Y por último el *Juncus conglomeratus* demostró capacidad de translocación en su M1 el Mg, Mn, Sn, Sr y en su M2 el Mg, Mn y Ni.

Torres (2018), realizó una investigación con tres especies, la *Stipa ichu* (Ruíz y Pav.) Kunth, *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov y el *Medicago lupulina* L., de las cuales las dos últimas mencionadas son especies introducidas que no tomaremos en cuenta en esta investigación. Donde en las dos muestras realizadas por cada especie la M1 con un sustrato con metales pesados y la M2 en suelo de mina, para los siguientes metales Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. El FT que mostro la *Stipa ichu* en ambas muestras indican que solo el Zn en la M2 obtuvo un valor mayor a 1, demostrando la capacidad de translocación de este metal desde las raíces hasta las partes aéreas.

Así mismo es importante señalar que en las investigaciones algunos investigadores coincidieron en sus resultados.

En los trabajos de investigación de Fow (2021), Chang et al. (2018) y Leon (2017), los cuales fueron realizados en el departamento de Ancash tuvieron resultados similares al obtener un valor mayor a 1, demostrando su capacidad de translocación del Cu, Ni y Zn en la *Werneria nubigena*.

Werneria nubigena

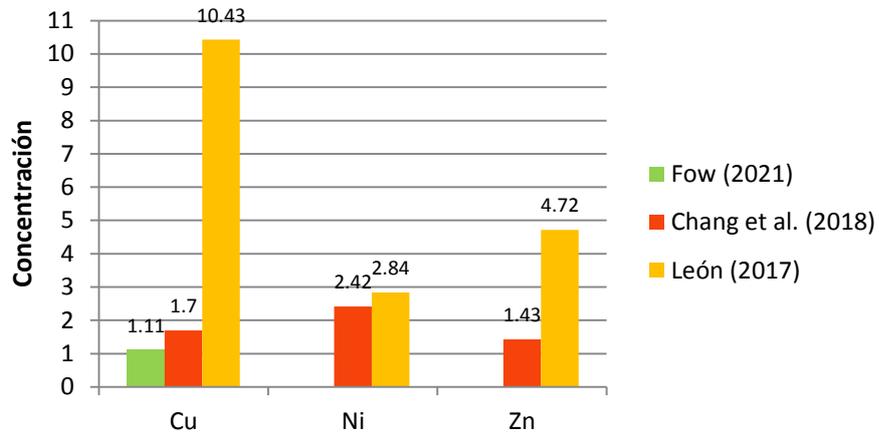


Figura 4. Factor de Translocación de la *Werneria nubigena*.

Fuente: Elaboración Propia.

A su vez la *Achyrocline alata* (Kunth) DC., de los trabajos de investigación de Chang et al. (2018) y León (2017) presentaron resultados similares para el Cd y Pb.

Achyrocline alata

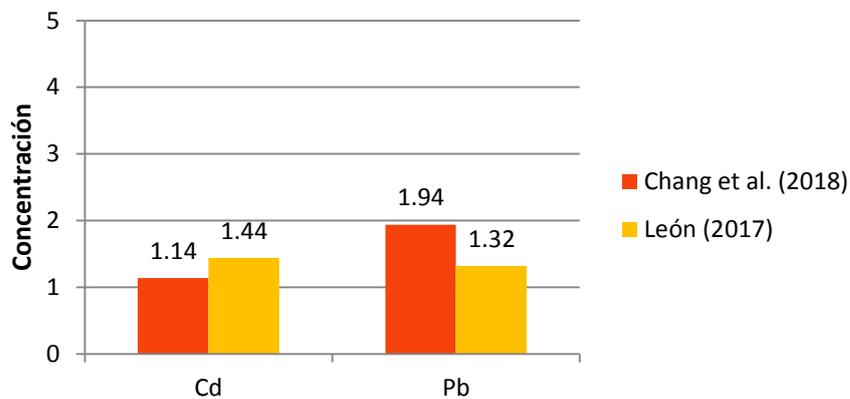


Figura 5. Factor de Translocación de la *Achyrocline alata*.

Fuente: Elaboración Propia.

Y el *Juncus* spp., en los trabajos de investigación de Chang et al. (2018) y Dávila et al. (2018), presentaron resultados similares para el Ni.

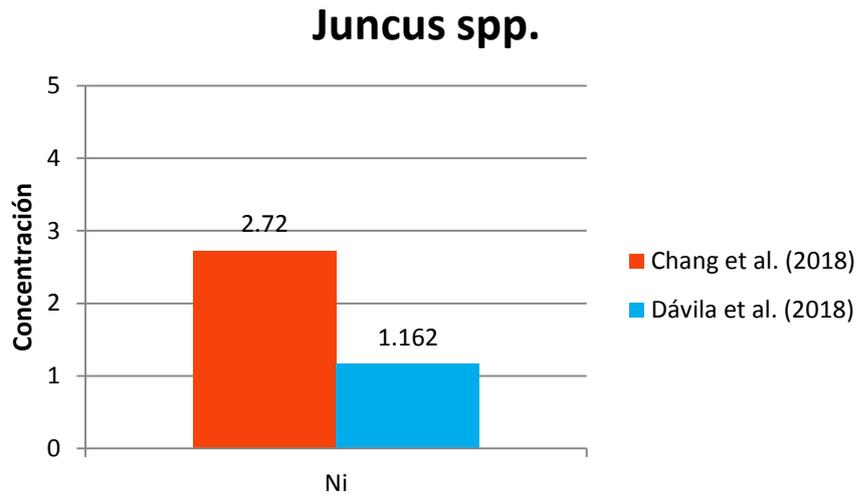


Figura 6. Factor de Translocación de la *Juncus spp.*

Fuente: Elaboración Propia.

Para identificar la capacidad de acumulación de estas especies podemos observar en las tablas 03 y 04.

Tabla 03. Factor de Bioconcentración Aérea (FBA)

Factor de Bioconcentración Aérea - FBA																				
Autor	Especie Nativa	Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Tl	V	Zn
Fow (2021)	Werneria nubigena	M1	1.47				1.88		2.40			0.37								2.35
	Calamagrostis spp.	M1	1.42				2.40		2.52			0.17								2.22
	Paranephelium ovatus	M1	1.47				2.70		1.89			1.68								2.78
Chuptaya & Molina (2022)	Schinus molle	M1		0.0017	0.0354	0.0281	0.0048	0.1460	0.0019	3237		0.0387	0.4890	0.0015			1.1750	7.5	0.0159	0.0010
		M2		0.0003	0.0472	0.0054	0.0023	0.2770	0.0068	7979.5		0.0105	0.7937	0.0003			2.7192	7.5	0.1160	0.0212
		M3		0.0016	0.0147	0.0114	0.0093	0.3077	0.0031	3135.8		0.0129	1.2048	0.0014			1.3887	7.5	0.1183	0.0653
	Acacia macracantha	M1		0.5769	0.0552	0.1312	0.0212	0.1422	0.0134	3312.5		0.1518	0.1668	0.0598			0.7646	7.5	0.0503	0.0039
		M2		0.0007	0.0009	0.0075	0.0003	1.2500	0.0004	3151.3		0.0006	0.8130	0.0008			0.2939	7.5	0.1021	0.0004
		M3		0.0005	0.0235	0.0065	0.0003	0.1972	0.0028	3366.3		0.0023	0.6993	0.0006			0.8325	7.5	0.0587	0.0349
Corpus (2018)	Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud.	M1				0.34	0.04						0.11	0.03						0.31
		M2				0.05	0.01						0.09	0.01						0.02
	Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf	M1				0.15	0.03						0.09	0.03						0.61
		M2				0.02	0.01						0.00	0.00						0.12
	Festuca glyceriantha Pilg.	M1				0.38	0.08						0.17	0.02						0.76
		M2				0.03	0.02						0.12	0.01						0.05
Chang et al. (2018)	Achyrocline alata	M1				0.48	0.72						0.98	0.22						1.23
	Calamagrostis recta	M1				0.08	0.08						0.38	0.05						0.11
	Cortaderia jubata	M1				0.05	0.03						0.07	0.04						0.14
	Festuca glyceriantha	M1				0.14	0.07						0.23	0.05						0.19
	Juncus bufonius	M1				0.61	0.44						3.02	0.11						1.30
	Stipa ichu	M1				0.18	0.18						1.00	0.05						0.76
	Werneria nubigena	M1				1.92	1.20						6.50	0.12						3.50
Martinez (2018)	Baccharis salicifolia	M1								17.711										
	Schoenoplectus pung.	M1								13.617										
Leon (2017)	Achyrocline alata (Kunth) DC.	M1				1.85	0.52						0.79	0.43						2.10
		M2				0.77	0.14						1.55	0.04						1.61
	Werneria nubigena Kunth	M1				4.70	2.20						1.48	0.00						4.70
		M2				4.63	0.76						8.11	0.06						0.00
	Juncus arcticus Willd.	M1				0.69	0.08						0.12	0.04						0.63
	M2				0.52	0.04						0.80	0.01						0.51	
Dávila et al. (2018)	Calamagrostis tarmensis	M1																		
		M2																		
	Paspalum bonplandianum	M1																		
		M2																		
	Carex pichinchensis	M1																		
		M2																		
	Lachemilla orbiculata	M1																		
	M2																			
Torres (2018)	Juncus conglomeratus	M1																		
		M2																		
Torres (2018)	Stipa ichu (Ruíz y Pav.) Kunth	M1				0.07	0.04						0.1	0.05						0.45
		M2				0.17	0.06							0.01						1.23

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 04. Factores de Bioconcentración Radicular (FBR)

Factor de Bioconcentración Radicular - FBR																					
Autor	Especie Nativa	Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Tl	V	Zn	
Fow (2021)	<i>Werneria nubigena</i>	M1	1.28				1.71		1.78			1.55								2.32	
	<i>Calamagrostis spp.</i>	M1	1.64				2.29		2.19			2.97								1.77	
	<i>Paranephelius ovatus</i>	M1	1.68				3.44		2.68			1.89								2.65	
Chuptaya & Molina (2022)	<i>Schinus molle</i>	M1		0.0017	0.0258	0.0281	0.0048	0.0048	0.0017	3226.5		0.0110	0.4890	0.0015			1.1750	7.500	0.016	0.001	
		M2		0.0003	0.2402	0.0054	0.0663	0.2770	0.0609	3191.3		0.0682	0.7937	0.0003			1.6685	227	0.116	0.138	
		M3		0.0005	0.0612	0.0114	0.0459	0.3077	0.0353	3214		0.0401	1.2048	0.0014			2.3111	642.75	0.118	0.073	
	<i>Acacia macracantha</i>	M1		0.5769	0.0028	0.1312	0.0212	0.1422	0.0402	3194.5		0.0739	0.1668	0.0598			0.1863	53.5	0.050	0.004	
		M2		0.0007	0.0340	0.0075	0.0040	1.25	0.0071	3104.5		0.0082	0.8130	0.0008			0.9313	380.5	0.102	0.012	
		M3		0.0005	0.1555	0.0065	0.0135	0.1972	0.0199	3585.3		0.0234	0.6993	0.0006			0.1650	366	0.059	0.017	
Corpus (2018)	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunth) Trin. Ex Steud.	M1				2.18	0.51					0.42	0.23							0.78	
		M2				0.69	0.12						0.41	0.14							0.12
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine) Stapf	M1				0.53	0.10						0.28	0.16							0.68
		M2				0.31	0.07						0.27	0.10							0.18
	<i>Festuca glyceriantha</i> Pilg.	M1				1.03	0.63						0.44	0.61							0.73
		M2				0.61	0.16						0.91	0.14							0.22
Chang et al. (2018)	<i>Achyrocline alata</i>	M1				0.53	0.81													1.85	
	<i>Calamagrostis recta</i>	M1				1.09	1.80					1.09	0.81							0.60	
	<i>Cortaderia jubata</i>	M1				0.43	0.24					0.36	0.39							0.49	
	<i>Festuca glyceriantha</i>	M1				2.15	0.47					0.69	0.34							0.72	
	<i>Juncus bufonius</i>	M1				3.91	1.79					18.36	0.40							0.71	
	<i>Stipa ichu</i>	M1				0.66	0.52					1.00	0.27							0.88	
Martinez (2018)	<i>Werneria nubigena</i>	M1				0.76	1.69					2.77	1.08							4.16	
	<i>Baccharis salicifolia</i>	M1								12.29											
Leon (2017)	<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) DC.	M1				1.28	1.06					0.71	2.69							1.40	
		M2				1.13	0.20					2.57	0.03							3.23	
	<i>Werneria nubigena</i> Kunth	M1				0.99	0.21						0.52	0.77							1.00
		M2				0.86	0.19						2.26	0.02							1.80
	<i>Juncus arcticus</i> Willd.	M1				0.48	0.09						0.14	0.02							3.14
		M2				10.11	4.42						14.47	0.75							0.57
Dávila et al. (2018)	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	M1	0.016	0.076		0.099	0.078	0.588	0.022	0.000	1.485	2.605	0.000	0.024	1.000	0.800	0.475	0.000		0.930	
		M2	0.006	0.008		0.036	0.105	0.021	0.000	0.000	1.363	4.297	0.000	0.010	0.008	0.042	0.088	2.136		0.218	
	<i>bonplandianum</i>	M1	0.142	0.224		0.846	0.543	2.259	0.137	0.000	4.530	5.795	0.000	0.751	1.333	0.600	0.313	0.000		16.109	
		M2	0.054	0.017		0.049	0.058	0.014	0.000	0.000	3.498	2.367	0.000	0.006	0.018	0.042	0.406	0.182		0.973	
	<i>Carex pichinchensis</i>	M1	0.030	0.048		0.148	0.665	0.259	0.042	0.000	2.352	1.906	0.000	0.050	0.000	0.400	0.419	0.000		1.388	
		M2	0.008	0.003		0.200	0.020	0.011	0.000	0.000	1.795	3.541	0.000	0.002	0.000	0.028	0.231	0.227		0.214	
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	M1	0.064	0.097		2.418	0.290	0.565	0.064	0.000	3.659	7.033	0.000	0.536	0.000	0.400	2.023	0.000		9.473	
		M2	0.020	0.031		0.266	0.076	0.025	0.000	0.000	3.166	2.048	0.000	0.022	0.051	0.042	1.531	0.455		0.721	
	<i>Juncus conglomeratus</i>	M1	0.105	0.348		1.418	0.719	1.706	0.349	0.000	3.302	3.475	0.000	0.721	0.667	0.400	0.424	0.000		5.915	
		M2	0.003	0.003		0.261	0.000	0.007	0.000	0.000	2.022	0.357	0.000	0.001	0.158	0.028	0.163	0.682		0.206	
Torres (2018)	<i>Stipa ichu</i> (Ruíz y Pav.) Kunth	M1				0.72	0.33							0.13						1.07	
		M2				0.72	0.33							0.13							1.07

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación de la tabla 03 y 04.

Los datos obtenidos por **Fow (2021)**, se observa que los valores que muestran el FBA y FBR son mayores a 1, excepto para el Mn que posee un valor menor a 1 en FBA en *Werneria nubigena* y *Calamagrostis spp.*, esto demuestra la capacidad de acumulación que poseen las tres especies estudiadas.

Los resultados que se obtuvieron para **Chuptaya y Molina (2022)**, muestran en el FBA y FBR para el *Schinus molle* en todas sus muestras demostraron hiperacumulación de Hg en toda su estructura, en la muestra M1 presentó una capacidad de acumulación de Sr en sus hojas y sus raíces, de Tl en toda su estructura (raíces y hojas), Para la muestra M2 también demostró una capacidad

de acumulación de Sr para toda su estructura, al igual que en el TI tiene una capacidad de acumulación en sus partes aéreas y hiperacumulación en su raíz. Para la muestra M3 demostró su capacidad de acumulación en toda la estructura para el Sr, Ni y TI, este último también demostró una capacidad hiperacumuladora en su raíces.

La *Acacia macracantha* en la M1 demostró su capacidad acumuladora (FBC) en el TI en su raíz, y demostró una capacidad hiperacumuladora en la raíz del TI y en toda su estructura para el Hg. En la M2 acumulo el Cr en toda su estructura, el Sr en su tallo y en el TI en sus hojas y una capacidad hiperacumuladora en la raíz y una capacidad hiperacumuladora para el Hg. En la muestra M3 demostró una capacidad acumuladora para el Sr en el tallo y en sus partes altas para el TI y una capacidad hiperacumuladora en su raíz, como también en toda la estructura para el Hg.

Corpus (2018), todas las especies demostraron una baja capacidad de acumulación en la parte aérea (FBA), con valores menores a 1.

Para el FBR, solo dos plantas demostraron capacidad de acumulación, la *Calamagrostis recta* (Kunth) Trin. Ex Steud., y la *Festuca glyceriantha* Pilg., ambos acumularon Cd en sus M1 obteniendo un valor mayor a 1.

Chang et al. (2018), en su trabajo de investigación, las especies que mostraron capacidad de acumulación en sus partes aéreas (FBA), fueron la *A. alata* el Zn, *J. bufonius* el Ni y Zn, el *S. ichu* el Ni y la *W. nubigena* el Cd, Cu, Ni y Zn.

El FBR, en la *A. alata* demostró capacidad de acumulación de Zn; en la *C. recta* el Cd, Cu y de Ni; en la *F. glyceriantha* acumuló Cd; la *J. bufonius* acumuló Cd, Cu y Ni; el *S. ichu* acumuló Ni y la *W. nubigena* acumuló Cu, Ni, Pb y Zn.

Martínez (2018), trabajo con *J. bufonius*, *Schoenoplectus pung.*, las dos especies utilizadas demostraron capacidad de hiperacumulación para el mercurio, tanto en su partes aéreas y en sus raíces, obteniendo valores mayores a 10.

Leon (2017), en el presente trabajo, se puede observar que el FBA, la *Achyrocline alata* en la M1 obtuvo valores mayores a 1 el Cd y Zn, en la M2 el Ni y

Zn; la *Werneria nubigena Kunth* en la M1 el Cd, Cu, Ni y Zn demostraron capacidad de acumulación en sus partes aéreas, en la M2 el Cd y el Ni.

Para el FBR, la *Achyrocline alata* en la M1 obtuvo valores mayores a 1 para el Cd, Cu, Pb y Zn, en la M2 el Cd, Ni y Zn. El *Werneria nubigena Kunth* en la M1 solo el Zn, en la M2 el Ni y Zn. El *Juncus arcticus Willd.*, en la M1 solo el Zn, en la M2 el Cu demostró tener la capacidad de en sus raíces y el Cd y el Ni demostraron tener la capacidad de hiperacumulación al obtener un valor mayor a 10.

Dávila et al. (2018), no realizó muestras para el FBA. El FBR para el *Calamagrostis tarmensis* obtuvo valores mayores a 1 en Mg, Mn y Sb en la M1, en la M2 en el Mg, Mn y Ti. El *Paspalum bonplandianum* para la M1 el Cr, Mg, Mn, Sb y Zn, este último demostrando una capacidad de hiperacumulación, para la M2 el Mg y Mn. El *Carex pichinchensis* para la M1 el Mg, Mn y Zn, para la M2 el Mg y el Mn. *Lachemilla orbiculata* en su M1 el Cd, Mg, Mn, Sr y Zn, y en su M2 el Mg, Mn y Sr. Y por último el *Juncus conglomeratus* demostró capacidad de translocación en su M1 el Cd, Cr, Mg, Mn y el Zn, para el M2 solo el Mg.

Torres (2018), el FBA que mostró la *Stipa ichu* en la M2 donde el Zn obtuvo un valor mayor a 1, demostrando la capacidad de concentración en su parte aérea. El FBR de la *Stipa ichu*, en ambas muestras indican que el Zn obtuvo un valor mayor a 1, demostrando la capacidad de concentración en su parte radicular para este metal.

Se determinó diversos patrones en diferentes especies, que indican que tienen una respectiva capacidad de acumulación a un determinado metal, ya que su tolerancia y capacidad de translocación mostraron valores mayores a 1, como se puede observar en el siguiente análisis.

Se identificó que la *Werneria nubigena* en los trabajos de investigación de Fow (2021), Chang et al. (2018) y León (2017), obtuvieron resultados similares al obtener un valor mayor a 1, demostrando su capacidad de acumulación aérea del Cd, Cu, Ni y Zn, mientras que su capacidad de acumulación radicular obtuvo valores similares en Cu, Ni y Zn.

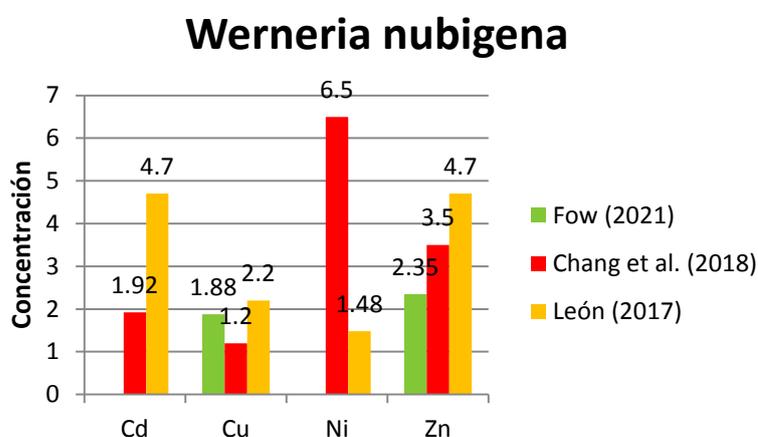


Figura 7. Factor de Bioconcentración Aérea de la *Werneria nubigena*.

Fuente: Elaboración Propia.

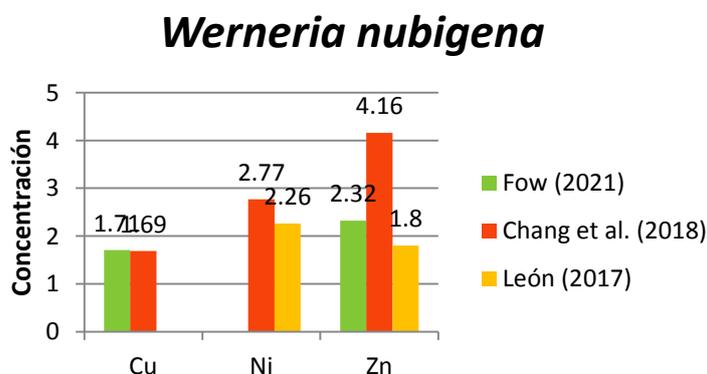


Figura 8. Factor de Bioconcentración Radicular de la *Werneria nubigena*.

Fuente: Elaboración Propia.

A su vez la *Achyrocline alata* (Kunth) DC., de los trabajos de investigación de Chang et al. (2018) y León (2017) presentaron resultados similares, en toda su estructura (raíces y partes aéreas) para el Zn.

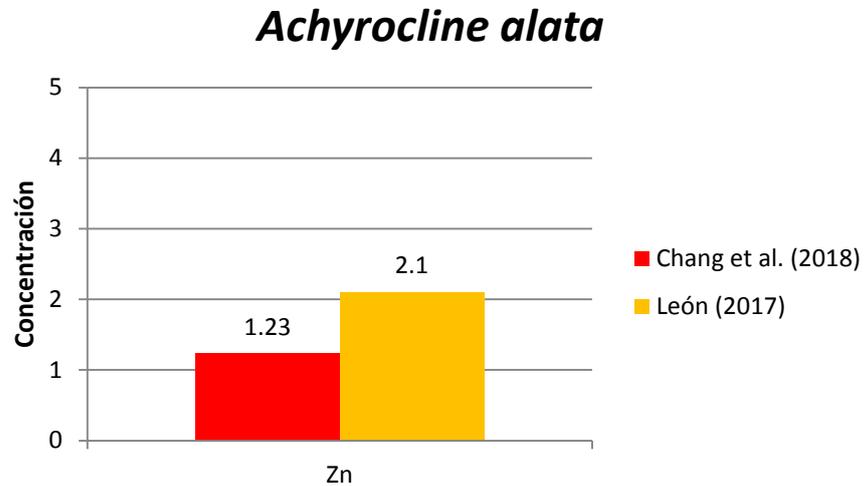


Figura 9. Factor de Bioconcentración Aérea de la *Achyrocline alata*.

Fuente: Elaboración Propia.

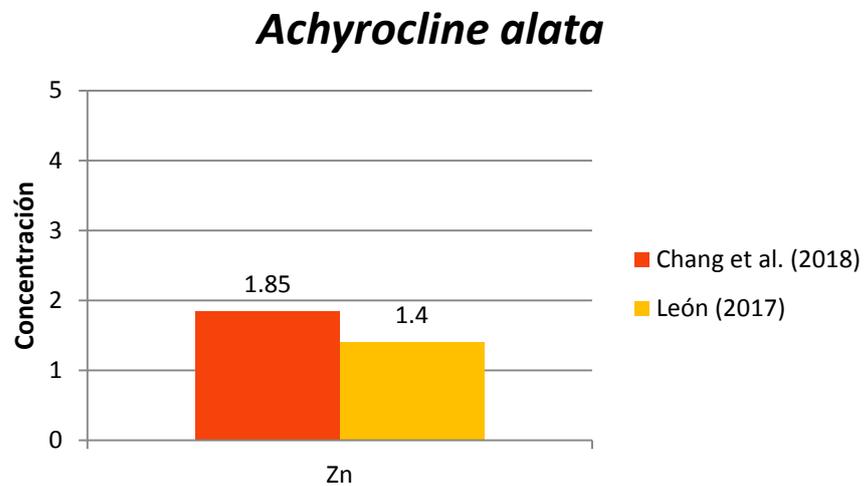


Figura 10. Factor de Bioconcentración Radicular de la *Achyrocline alata*.

Fuente: Elaboración Propia.

Y el *Juncus spp.*, en los trabajos de investigación de Chang et al. (2018), Leon (2017) y Dávila et al. (2018), presentaron resultados similares para el Cd, Cu y Ni en su parte radicular.

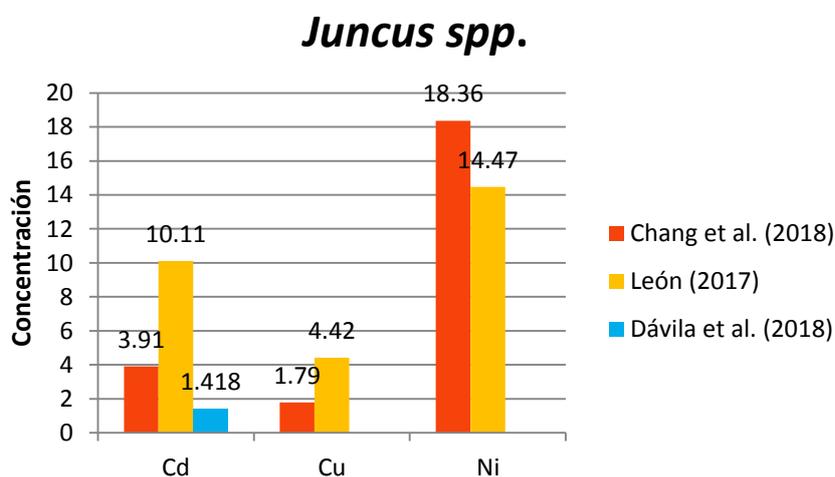


Figura 11. Factor de Bioconcentración Radicular de la *Juncus spp.*

Fuente: Elaboración Propia.

La *Calamagrostis spp.*, en los trabajos de investigación de Fow (2021), Corpus (2018), Chang et al. (2018) y Dávila et al. (2018), demostraron similitudes en la parte radicular para el Cu y Mn.

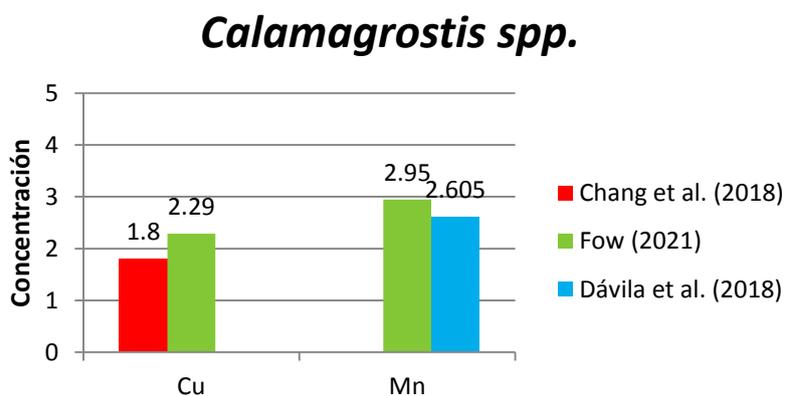


Figura 12. Factor de Bioconcentración Radicular de la *Calamagrostis spp.*

Fuente: Elaboración Propia.

La *Festuca glyceriantha* Pilg., en la investigación de Corpus (2018) y Chang et al. (2018), obtuvieron valores mayores a 1 para el Cd para el FBR.

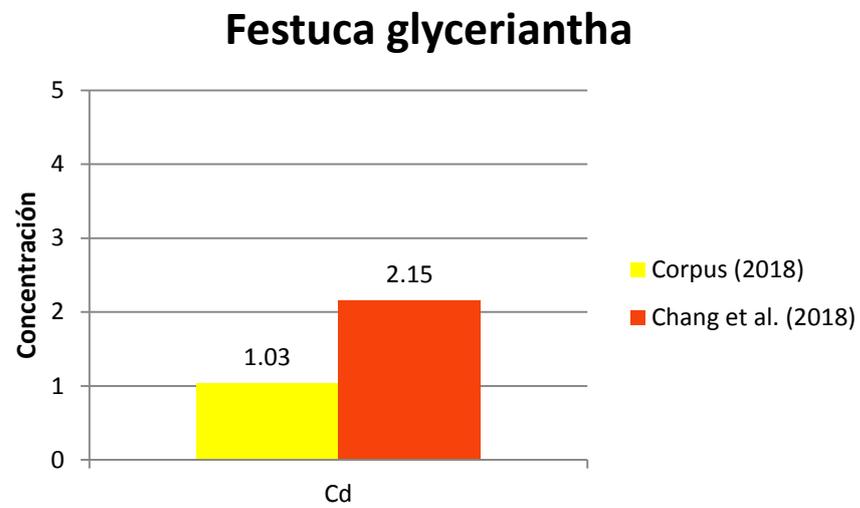


Figura 13. Factor de Bioconcentración Radicular de la *Festuca glyceriantha*.

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 05, se detalló el objetivo de acuerdo a la categoría II, mediante los factores de concentración se analizaron los mecanismos (indicador, excluyente, acumulador), que presentaron las especies nativas en la remediación de suelos, tanto en su parte aérea y en su parte radicular. Podemos observar que todas las especies cumplen una función determinada, demostrando su capacidad de concentración de metales pesados en su parte aérea (hojas) y en su parte radicular, a su vez se puede observar que las especies indicadoras son las que han obtenido un valor menor a 1 en el FBR (Factor de Bioconcentración Radicular), esto de acuerdo a lo que menciona (Chuptaya y Molina, 2022).

Tabla 05. Mecanismos de fitorremediación.

Autor	Especie	Clasificación	Mecanismo		
			Indicador	Excluyente	Acumulador
Fow (2021)	Werneria nubigena	Parte aérea		Mn	Al, Cu, Fe y Zn.
		Parte radicular			Al, Cu, Fe, Mg y Zn.
	Calamagrostis spp.	Parte aérea		Mn	Al, Cu, Fe y Zn.
		Parte radicular			Al, Cu, Fe, Mg y Zn.
	Paranephelius ovatus	Parte aérea			Al, Cu, Fe, Mn y Zn.
		Parte radicular			Al, Cu, Fe, Mg y Zn.
Chuptaya & Molina (2022)	Schinus molle	Parte aérea		As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, V y Zn.	Ni, Sr y Tl.
		Parte radicular	As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, V y Zn.	As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, V y Zn.	Ni y Sr
	Acacia macracantha	Parte aérea		As, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V y Zn.	Cr y Tl.
		Parte radicular	As, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V y Zn.	As, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V y Zn.	Cr.
Corpus (2018)	Calamagrostis recta	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Cu, Ni, Pb y Zn	Cu, Ni, Pb y Zn	Cd.
	Cortaderia jubata	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
	Festuca glyceriantha	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Cu, Ni, Pb y Zn	Cu, Ni, Pb y Zn	Cd.

Chang et al. (2018)	Achyrocline alata	Parte aérea		Cd, Cu, Ni y Pb	Zn
		Parte radicular	Cd y Cu	Cd y Cu	Zn
	Calamagrostis recta	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Pb y Zn	Pb y Zn	Cd, Cu y Ni
	Cortaderia jubata	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
	Festuca glyceriantha	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Cu, Ni, Pb y Zn	Cu, Ni, Pb y Zn	Cd
	Juncus bufonius	Parte aérea		Cd, Cu y Pb	Ni y Zn
		Parte radicular	Pb y Zn	Pb y Zn	Cd y Cu
Stipa ichu	Parte aérea		Cd, Cu, Pb y Zn	Ni	
	Parte radicular	Cd, Cu, Pb y Zn	Cd, Cu, Pb y Zn	Ni	
Werneria nubigena	Parte aérea		Pb	Cd, Cu, Ni y Zn	
	Parte radicular	Cd	Cd	Cu, Ni, Pb y Zn	
Martinez (2018)	Baccharis salicifolia	Parte aérea			
		Parte radicular			
	Schoenoplectus pung.	Parte aérea			
		Parte radicular			
Leon (2017)	Achyrocline alata	Parte aérea		Cu y Pb	Cd, Ni y Zn
		Parte radicular			Cd, Cu, Ni, Pb y Zn.
	Werneria nubigena	Parte aérea		Pb	Cd, Cu, Ni y Zn
		Parte radicular	Cd, Cu y Pb.	Cd, Cu y Pb.	Ni y Zn.
	Juncus arcticus	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	
		Parte radicular	Pb, Zn	Pb, Zn	Cu.
Dávila et al. (2018)	Calamagrostis tarmensis	Parte radicular	Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Sn, Sr y Zn	Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Sn, Sr y Zn	Mg, Mn, Sb y Tl.
	Paspalum bonplandianum	Parte radicular	Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb, Sn, Sr y Tl	Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb, Sn, Sr y Tl	Cr, Mg, Mn y Sb.
	Carex pichinchensis	Parte radicular	Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Sn, Sr, Tl, Zn	Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Sn, Sr, Tl, Zn	Mg, Mn y Zn
	Lachemilla orbiculata	Parte radicular	Al, As, Cu, Cr, Fe, Pb, Sb, Sn y Tl	Al, As, Cu, Cr, Fe, Pb, Sb, Sn y Tl	Cd, Mg, Mn, Sr y Zn
	Juncus conglomeratus	Parte radicular	Al, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn, Sr y Tl	Al, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn, Sr y Tl	Cd, Cr, Mg, Mn y Zn
Torres (2018)	Stipa ichu	Parte aérea		Cd, Cu, Ni, Pb	Zn
		Parte radicular	Cd, Cu, Ni, Pb	Cd, Cu, Ni, Pb	Zn

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 06, se detalla el objetivo de acuerdo a la categoría III.

Tabla 06. Especies hiperacumuladoras.

N°	Especie	Clasificación	Hiperacumulador	Concentración	Unidad
1	Schinus molle	Parte aérea	Hg.	4184.1	mg/kg
		Parte radicular	Tl Hg.	292.08 3210.6	mg/kg
2	Acacia macracantha	Parte aérea	Hg.	3276.7	mg/kg
		Parte radicular	Tl Hg.	266.6 3294.7	mg/kg
3	Juncus bufonius	Parte radicular	Ni	18.36	mg/kg
4	Baccharis salicifolia	Parte aérea	Hg	17.711	mg/kg
		Parte radicular	Hg	12.29	mg/kg
5	Schoenoplectus pung.	Parte aérea	Hg	13.617	mg/kg
		Parte radicular	Hg	39.6	mg/kg
6	Juncus arcticus	Parte radicular	Cd	10.11	mg/kg
			Ni.	14.47	
7	Paspalum bonplandianum	Parte radicular	Zn	16.109	mg/kg

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que la especie *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, *Juncus bufonius*, *Baccharis salicifolia*, *Schoenoplectus pung.*, *Juncus arcticus*, *Paspalum bonplandianum*, son las únicas especies nativas con potencial hiperacumulador para determinados metales, esto ya que el valor obtenido en el FBA y FBR, son mayores a 10. Siendo los más resaltantes la *Schinus molle* y la *Acacia macracantha*.

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la investigación realizada, podemos señalar que las especies nativas cuentan con capacidad de translocación y de acumulación de metales pesados para la remediación de suelos contaminados.
- Se logró identificar los mecanismos de fitorremediación que poseen las especies nativas de esta investigación en función a los metales, como también a la capacidad de concentración y movilidad que poseen estas especies, todas las especies estudiadas cuentan con determinado mecanismo que lo hace eficiente frente a un determinado metal.
- Podemos señalar que siete especies nativas cuentan con capacidad hiperacumuladora, como lo son la *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, *Juncus bufonius*, *Baccharis salicifolia*, *Schoenoplectus pung.*, *Juncus arcticus* y la *Paspalum bonplandianum*, estas especies mostraron concentraciones mayores a 10 mg/kg, en función al tipo de metal.

VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere seguir identificando especies nativas de nuestro país, que cuenten con la capacidad de remediación de suelos contaminados, para así evitar el uso de especies introducidas.

Se recomienda caracterizar las especies nativas para remediar suelos contaminados con metales pesados, ya que son ecológicamente más seguras, más económicas, más fáciles de cultivar ya que se adaptan y se desarrollan mejor a las condiciones locales.

Se aconseja crear una base de datos, para una adecuada transferencia de información a los usuarios y aporte a futuras investigaciones.

REFERENCIAS

ALDERETE-SUAREZ, Brisa María [et al]. Bioconcentración de Pb, Cd y As en biomasa de *Eleocharis macrostachya* (Cyperaceae). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Diciembre del 2019, vol. 35, p. 93-101. [Fecha de consulta: 20 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.11>

ÁLVAREZ-RISCO, Aldo. Clasificación de las Investigaciones. *Universidad de Lima* [en línea]. 2020, p. 1-5. [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>
(<https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10818>)

AMEH, Enejo Godwin; AINA, Daniel Oluwagbemiga. Search for autochthonous plants as accumulators and translocators in a toxic metal-polluted coal mine soil in Okaba, Nigeria. *Scientific African* [en línea]. Noviembre del 2020, vol. 10, p.e00630. [Fecha de consulta: 16 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00630>
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620303677?via%3Dihub>)

ANGULO, Hipólito. (2017). Manual para la elaboración de plan de tesis y tesis universitaria. *Escuela Nacional de Folklore José María Arguedas* [en línea]. Diciembre del 2017, p. 1-75. [Fecha de consulta: 22 de julio del 2022]. Disponible en: https://www.escuelafolklore.edu.pe/wp-content/uploads/2018/02/MANUAL_ELABORACION_PLAN_TESIS_UNIVERSITARIA_2017.pdf

APONTE, Héctor. El junco: clasificación, biología y gestión. *Científica* [en línea]. Febrero del 2009, vol. 22(1), p. 38-45. [Fecha de consulta: 21 de agosto del 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/288653602_El_junco_clasificacion_biologia_y_gestion

ARCE, Siles Nilo; CALDERÓN, Julia Marilú; JARECCA, Yesith. Optimización del proceso de Fito remediación con *Festuca Dolichophylla* y tiosulfato de amonio para mejorar la eficacia de la absorción del mercurio de suelos contaminados con mercurio por la minería del distrito de Ananea Puno-Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* [en línea]. Diciembre del 2021, vol. 24, no 48, p. 69-76. [Fecha de consulta: 26 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21765> (<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/21765>) ISSN: 1561-0888

ASHRAF, Sana [et al]. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. Marzo del 2019, vol. 174, p. 714-727. [Fecha de consulta: 28 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319302271?via%3Dihub>) ISSN: 0147-6513

BELTRÁN, Hamilton. Las Asteráceas (Compositae) del distrito de Laraos (Yauyos, Lima, Perú). *Revista peruana de biología* [en línea]. Agosto del 2016, vol. 23, no 2, p. 195-220. [Fecha de consulta: 18 de agosto del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v23i2.12439> (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332016000200011) ISSN: 1727-9933

BELTRÁN, Hamilton. Sinopsis del genero *Werneria* (Asteraceae: Senecioneae) del peru. *Arnaldoa*. Junio del 2017, vol. 24, no 1, p. 45-62. [Fecha de consulta: 13 de agosto del 2022]. Disponible en: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24104> (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992017000100004&script=sci_abstract&tlng=en) ISSN: 2413-3299

BRAVO, Xiomara Rojas; OSORIO, Belkis. Criterios de Calidad y Rigor en la metodología Cualitativa. *Gac Pedagog* [en línea]. 2017, vol. 36, p. 62-74. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Belkys-Osorio/publication/337428163_Criterios_de_Calidad_y_Rigor_en_la_Metodologia_Cualitativa/links/5dd6e56f299bf10c5a26bb14/Criterios-de-Calidad-y-Rigor-en-la-Metodologia-Cualitativa.pdf
ISSN: 0435-026X

CABI. (23 de Agosto de 2022). Obtenido de <https://www.cabi.org/isc/datasheet/39765#todistribution>

CASTILLO, Marcelo Remigio. Técnicas e instrumentos para recoger datos del hecho social educativo. *Revista Científica Retos de la Ciencia* [en línea]. Enero del 2021, vol. 5, no 10, p. 50-61. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://retosdelacienciaec.com/Revistas/index.php/retos/article/view/349>
ISSN: 2602-8247

CEPEDA, Ingrid Katherine. Determinación de la capacidad biorremediadora de las especies *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers y *Verbesina crassiramea* SF Blake sobre suelos contaminados con arsénico. 2018. *Tesis (Maestría en Manejo Uso y Conservación del Bosque)*. Universidad Francisco José De Caldas, Colombia. 2018, p. 1-23. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/15324> (<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15324>)

CHAMBA-ERAS, Irene, et al. Native Hyperaccumulator Plants with Differential Phytoremediation Potential in an Artisanal Gold Mine of the Ecuadorian Amazon. *Plants* [en línea]. Abril del 2022, vol. 11, no 9, p. 1186. [Fecha de consulta: 16 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11091186> (<https://www.mdpi.com/2223-7747/11/9/1186>)

CHANG, José [et al]. Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru). *Environ Sci Pollut Res* [en línea]. Octubre del 2018, vol. 25, no. 34, p. 33957-33966. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3325-z>

(<https://www.proquest.com/docview/2115553003/FFEA746A0E92468CPQ/1?accountid=37408&forcedol=true&forcedol=true>)

CHEN, Rui [et al]. Predictive model for cadmium uptake by maize and rice grains on the basis of bioconcentration factor and the diffusive gradients in thin-films technique. *Environmental Pollution* [en línea]. Julio del 2021, vol. 289, p. 117841. [Fecha de consulta: 21 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117841>

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121014238?via%3Dihub>)

ISSN: 0269-7491

CHINCHAY, Mileny; CHAMORRO, Kenyi Isaac. Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz “Zea mays. L” en la minería. *Universidad Peruana Unión* [en línea]. Julio del 2020, p.1-15. [Fecha de consulta: 26 de abril del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3195>

CHUPTAYA, Glenny Marilyn; MOLINA, Julio Cesar. Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021. *Tesis de pregrado*. Universidad Peruana Unión, 2022. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5355> (<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5355>)

CISTERNA, Francisco. Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria* [en línea]. Junio del 2005, vol. 14, no 1, p. 61-71. [Fecha de consulta: 22 de Julio del 2022]. Disponible en: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=80bbfa4e-5df2-482e-bf0b-efce69bdabb3%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=22865357&db=fua>

CLEMENTE, Josué Pedro [et al]. Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica* [en línea]. Noviembre del 2021, vol. 70, no 2, p. 163-170. [Fecha de consulta: 19 de

Julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.94208>
(https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/94208)

CORONA, José Luis; MALDONADO, José Fermín. Investigación Cualitativa: Enfoque Emic-Etic. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* [en línea]. Diciembre del 2018, vol. 37, no 4, p. 1-4. [Fecha de consulta: 19 de Julio del 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03002018000400022&script=sci_arttext&lng=en
ISSN: 1561-3011

CORPUS, Melissa Yoselin. Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2018. Disponible en: <http://www.repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339>

COVARRUBIAS, Sergio Abraham; PEÑA, Juan José. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista internacional de contaminación ambiental* [en línea]. Abril del 2017, vol. 33, p. 7-21. [Fecha de consulta: 15 de Mayo del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
(<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp01.01>)

CRUZADO-TAFUR, Edith [et al]. Heavy metal contents in soils and native flora inventory at mining environmental liabilities in the Peruvian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* [en línea]. 2021, vol. 106, p. 1-45. [Fecha de consulta: 26 de Abril del 2022]. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03105331>

DÁVILA, Nancy Karina; WALTER, Lorena Chabeli. Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca-Perú 2017. *Tesis pregrado*. Universidad Privada del Norte, 2018.

Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/13482>
(<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13482>)

DE LA TORRE, María Isabel [et al]. Poaceae endémicas del Perú. *Revista peruana de biología* [en línea]. Diciembre del 2006, vol. 13, no 2, p. 879-891. . [Fecha de consulta: 14 de Agosto del 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2292697>
ISSN: 1727-9933

ESPINOZA, Eudaldo Enrique. La investigación cualitativa, una herramienta ética en el ámbito pedagógico. *Conrado* [en línea]. Agosto del 2020, vol. 16, no 75, p. 103-110. [Fecha de consulta: 22 de Julio del 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442020000400103

FOW, Anthony Jeanpier. Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Callao, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5812>

FUTUGHE, Anthony E.; PURCHASE, Diane; JONES, Huw. Phytoremediation Using Native Plants. *Concepts and Strategies in Plant Sciences* [en línea]. Agosto del 2020, vol. 1, p. 285-327. [Fecha de consulta: 27 de Abril del 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340261439_In_Situ_Phytoremediation_of_Metals

GARCÍA, Marleni Lizbeth; VÁSQUEZ, Mayra Yamilet. Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros. *Tesis de licenciatura*. Universidad Privada del Norte, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/23983>

GASPARRI, Bárbara; RODRÍGUEZ, Gastón; CRISTALDO, Luciana. Plantas nativas : Renaturalizando las ciudades (1a ed. ed.) [en línea]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara. 2021. [Fecha de consulta: 21 de Julio del 2022]. Disponible en:

<https://fundacionazara.org.ar/plantas-nativas-renaturalizando-las-ciudades/>

ISBN: 978-987-3781-83-4

GONZÁLEZ, María Isabel. Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero. *Tesis Doctoral*. Universitat de Barcelona, 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/113002>

GUERRA, Beatriz E.; MUÑOZ, Jaider; SOKOLSKI, Serge. Phytoremediation of heavy metals in tropical soils an overview. *Sustainability* [en línea]. Febrero del 2021, vol. 13, no 5, p. 2574. [Fecha de consulta: 04 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13052574> (<https://www.proquest.com/docview/2497215536/493E75797DC8481BPQ/10?accountid=37408>)

GUERRERO, María Auxiliadora. La investigación cualitativa. *INNOVA Research Journal* [en línea]. Febrero del 2016, vol. 1, no 2, p. 1-9. [Fecha de consulta: 18 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.33890/innova.v1.n2.2016.7> ISSN: 2477-9024

HASNAOUI, Said El [et al]. Screening of native plants growing on a Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phytoremediation. *Plants* [en línea]. Octubre del 2020, vol. 9, no 11, p. 1458. [Fecha de consulta: 15 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants9111458>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto; TORRES, Christian Paulina. Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill Interamericana. 2018. [Fecha de consulta: 18 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

HERRERA, Claudio Díaz. Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. *Orientación intelectual de revista Universum. Revista general de información y documentación* [en línea]. Enero del 2018, vol. 28, no 1, p. 119. [Fecha de consulta: 19 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5209/RGID.60813>

ISSN: 1132-1873

HITCHCOCK, Albert Spear. The grasses of Ecuador, Peru, and Bolivia. *Plant studies, chiefly tropical American* [en línea]. 1927. [Fecha de consulta: 24 de Agosto del 2022]. Disponible en: <https://repository.si.edu/handle/10088/27035>

HUERTA, Katya Vannesa. Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de PB en suelos contaminados por relave minero. *Tesis de pregrado*. Universidad Científica del Sur. 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1015>

JARA, Enoc Efer. Evaluación de *Lupinus condensiflorus* CP Sm., *L. ballianus* CP Sm. y *Astragalus garbancillo* Cav.(Fabaceae) en la restauración de suelos que contienen plomo, cadmio y zinc. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/9406>

JARAMILLO, Gina Marcelly; TRUJILLO, Diana Marcela. Uso de especies vegetales bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de fitorremediación. *Tesis de pregrado*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/13719>

LAMBRINOS, John G. The impact of the invasive alien grass *Cortaderia jubata* (Lemoine) Stapf on an endangered mediterranean-type shrubland in California. *Diversity and Distributions* [en línea]. 2000, vol. 6, no 5, p. 217-231. [Fecha de consulta: 16 de Agosto del 2022]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1472-4642.2000.00086.x>

LEON, Vladimir Alfonso. Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015-2016. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1900>

LOJA, Berta [et al]. Cribado fitoquímico del *Baccharis latifolia* (R&P.) Pers.(chilca). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* [en línea]. Marzo del 2017, vol. 22, no 1, p. 1-7. [Fecha de consulta: 21 de Agosto del 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962017000100015

LU, Nan [et al]. Phytoremediation potential of four native plants in soils contaminated with Lead in a mining area. *Land* [en línea]. Octubre del 2021, vol. 10, no 11, p. 1129. [Fecha de consulta: 16 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land10111129>

MAGUIÑA, Luisa Fernanda. Determinación de la capacidad fitorremediadora de *Lupinus mutabilis* Sweet “chocho o tarwi” en suelos contaminados con cadmio (Cd). *Tesis de pregrado*. Universidad Ricardo Palma, 2017. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1708>

MARTINEZ, Luis Antonio. Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación. *Tesis Doctoral*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7789>

MARTÍNEZ-MANCHEGO, Luis [et al]. Especies vegetales nativas con potencial para la fitorremediación de suelos alto andinos contaminados por residuos de actividad minera. *Bioagro* [en línea]. Agosto del 2021, vol. 33, no 3, p. 161-170. [Fecha de consulta: 16 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/3380>

MUNIVE, Rubén [et al]. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria* [en línea]. Junio del 2020, vol. 11, no 2, p. 177-186. [Fecha de consulta: 20 de Julio del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>

MURTIĆ, Senad [et al]. Phytoaccumulation of heavy metals in native plants growing on soils in the Spreča river valley, Bosnia and Herzegovina. *Plant, Soil and Environment* [en línea]. 2021, vol. 67, no 9, p. 533-540. [Fecha de consulta: 16 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/253/2021-PSE>

NORRBOM, Allen L. [et al]. New host plant and distribution records for Peruvian Tephritinae (Diptera: Tephritidae). *Revista Peruana de Entomología* [en línea]. Diciembre del 2013, vol. 48, no 1 & 2, p. 19-28. [Fecha de consulta: 14 de Agosto del 2022]. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4747400>

ISSN: 0080-2425

OKOYE, Esther Amaka [et al]. Heavy metals and arsenic in soil and vegetation of Niger Delta, Nigeria: Ecological risk assessment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [en línea]. Junio del 2022, vol. 6, p. 100222. [Fecha de consulta: 21 de Julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100222>

OYUELA, Mayerly Alexandra; FERNÁNDEZ, Wilmar Darío; GUTIÉRREZ, Martha Cecilia. Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands—A review. *Chemosphere* [en línea]. Febrero del 2017, vol. 168, p. 1230-1247. [Fecha de consulta: 28 de Abril del 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351631459X>

PALACIOS, Claudia Mabel. Valoración económica ambiental de las plantas medicinales de la zona de influencia de tres lagunas en Huancabamba-Piura. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Piura, 2009. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/621>

PAPUICO, Karito Zulma. Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del Distrito de Simón Bolívar de Rancas. Tesis Pregrado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/457>

PEÑA, Flor de María; BELTRÁN, Enrique. Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. *Prospectiva Universitaria* [en línea]. 2017, vol. 9, no 1, p. 31-45. [Fecha de consulta: 12 de Junio del 2022]. Disponible en: <http://200.60.61.131/index.php/prospectiva/article/view/291>

PÉREZ, Miguel Ángel. En torno a la construcción de la categoría de adolescencias en investigación educativa. En *El Congreso Nacional de Investigación Educativa* [en línea]. 2017. p. 1-9. [Fecha de consulta: 22 de Julio

del 2022]. Disponible en: <https://magisterio.com.co/articulo/en-torno-la-construccion-de-la-categoria-de-adolescencias-en-investigacion-educativa/>

PIETRINI, Ilaria [et al]. Enhanced lead phytoextraction by endophytes from indigenous plants. *Soil Systems* [en línea]. Septiembre del 2021, vol. 5, no 3, p. 55. [Fecha de consulta: 16 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/soilsystems5030055>

PLA, Margarida. El rigor en la investigación cualitativa. *Aten primaria* [en línea]. Septiembre de 1999, vol. 24, no 5, p. 295-300. [Fecha de consulta: 19 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7526753>
ISSN: 0212-6567

POGRANYIVÁ, Alica Hanzeliková; MATANZA, Concha Noriega. Introducción a la investigación sociosanitaria: Diseño de estudios cualitativos características generales y conceptos básicos de la investigación cualitativa (1.ª parte). *Enfermería en cardiología: revista científica e informativa de la Asociación Española de Enfermería en Cardiología* [en línea]. 2016, no 67, p. 50-57. [Fecha de consulta: 18 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6282040>
ISSN-e: 1575-4146

RAMÍREZ, Agripina. Evaluación del potencial fitorremediativo para el control de la exposición al plomo y otros metales y restauración ambiental en Haina, República Dominicana. *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia, 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10201/53809>

RODRÍGUEZ, Gregorio; GIL, Javier; GARCIA, Eduardo. Proceso y fases de la investigación cualitativa. *Metodología de la investigación cualitativa* [en línea]. 1996, p. 62-78. [Fecha de consulta: 24 de Julio del 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/44376485_Metodologia_de_la_investigacion_cualitativa_Gregorio_Rodriguez_Gomez_Javier_Gil_Flores_Eduardo_Garcia_Jimenez

ROJAS, Ramiro; SCHULTE, Andreas; ROJAS, Carlos. Reforestación y agroforestería en los Andes: Uso sostenido, conservación y restauración de suelos con árboles y arbustos nativos: Apuntes sobre el molle (*Schinus molle* L.). Agroecología Universidad de Cochabamba. 1992 [fecha de consulta: 23 de agosto del 2022]. Disponible en: <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/43>

ROMERO, Maggy Belén; BRAVO, Sebastian Cossi. Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros. *Tesis de pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19519>

RONDÓN, Romina Leslie. *Schinus molle* L. como fitorremediador en la bioacumulación de plomo. Universidade do Contestado, 2021. Disponible en: <https://repositorio.unc.br:8443/xmlui/handle/123456789/222>

ISBN: 978-65-88712-20-7

SALGADO, Ana Cecilia. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit* [en línea]. Septiembre del 2007, vol. 13, no 13, p. 71-78. [Fecha de consulta: 18 de Mayo del 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci_arttext&tIng=en

ISSN: 1729-4827

SARWAR, Nadeem [et al]. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere* [en línea]. Marzo del 2017, vol. 171, p. 710-721. [Fecha de consulta: 28 de Abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>

SHAH, Vijendra; DAVEREY, Achlesh. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation* [en línea]. Abril del 2020, vol. 18, p. 1-16. [Fecha de consulta: 28 de Abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>

ISSN: 2352-1864

SOTO, Katerine Giomara. Eficiencia de la *CAIOPHORA CIRSIIFOLIA* C. PRESL en la fitorremediación y la acumulación de plomo en suelos contaminados por

actividad minera. Universidad Peruana Unión, 2019. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2460>

TARAZONA, Miguel Angel. Efecto del compost y riego por goteo solar en el crecimiento de *Acacia macracantha* en la Zona Reservada Lomas de Ancón, Lima 2018. *Tesis de Pregrado*. Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40573>

TORRES, Adelia Mercedes. Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de Mesapata, en condiciones de invernadero, 2015-2016. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018. Disponible en: <http://www.repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2110>

TOVAR, Oscar. Las Gramíneas (Poaceae) del Perú. Madrid: *Editorial CSIC-CSIC Press* [en línea]. Julio de 1993. Disponible en: <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/1525858-las-gramineas-poaceae-del-peru?offset=1>

WEBERBAUER, August. El mundo vegetal de los Andes Peruanos: Estudio fitogeográfico. Lima: *Talleres Gráficos de la Editorial Lumen S.A.* 1945. Disponible en: <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/9502-el-mundo-vegetal-de-los-andes-peruanos-nueva-edicion?offset=1>

WONG-ARGÜELLES, Cynthia [et al]. Fitorremediación in situ en México: una Revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea]. Junio del 2021, vol. 44, no 2, p. 133-133. [Fecha de consulta: 15 de Mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.133>
ISSN: 0187-7380

WU, Bohan [et al]. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. Mayo del 2021, vol. 220, p. 112368. [Fecha de consulta: 28 de Abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>

XIAO, Ran [et al]. Screening of native plants from wasteland surrounding a Zn smelter in Feng County China, for phytoremediation. *Ecotoxicology and environmental safety* [en línea]. Julio de 2018, vol. 162, p. 178-183. [Fecha de consulta: 11 de Junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.095>

ZEBALLOS, Horacio; OCHOA, José Antonio; LÓPEZ, Evaristo. Diversidad biológica de la reserva nacional de Salinas y Aguada Blanca. *DESCO, INRENA, PROFONANPE*. Arequipa, Perú. 2010. 314pp. Disponible en: <http://www.descosur.org.pe/diversidad-biologica-de-la-reserva-nacional-de-salinas-y-aguada-blanca/>
ISBN: 978-612-4043-09-3

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de categorización apriorística.

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterios
¿Cuál es la capacidad de translocación y de acumulación que poseen las especies nativas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados?	Determinar la capacidad de translocación y de acumulación que poseen las especies nativas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.	Factores de Concentración.	Factor de Translocación (FT). Factor de Bioconcentración (FBC).	De acuerdo al tipo de metal. De acuerdo a los niveles de concentración.
¿Qué mecanismos de fitorremediación presentan las especies nativas en la remediación de suelos contaminados por metales pesados?	Analizar los mecanismos de fitorremediación que presentan las especies nativas en la remediación de suelos contaminados por metales pesados.	Mecanismos de fitorremediación.	Excluyentes. Indicadoras. Acumuladoras.	De acuerdo a la capacidad de acumulación. De acuerdo al tipo de metal.
¿Cuáles son las especies nativas hiperacumuladoras para la remediación de suelos contaminados por metales pesados?	Identificar las especies nativas hiperacumuladoras para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.	Especies Nativas.	Especies nativas hiperacumuladoras	De acuerdo a su potencial

Fuente: Elaboración Propia.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, ESPINOZA FARFAN EDUARDO RONALD, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Identificación de Especies Nativas para la Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados: Revisión Sistemática", cuyo autor es FERNANDEZ MEDINA YARID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de %, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

SAN JUAN DE LURIGANCHO, 30 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
ESPINOZA FARFAN EDUARDO RONALD : 40231227 ORCID: 0000-0003-4418-7009	Firmado electrónicamente por: ERESPINOZAF el 30- 12-2022 11:10:00

Código documento Trilce: INV - 0999541