



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática de la Identificación de Especies Vegetales con
Potencial de Remediación (Fitorremediación) de Suelos
Contaminados por Metales Pesados, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Pérez Tomaylla, Rober Marcial (ORCID: 0000-0003-4582-9990)

Sulca Quispe, Iván Junior (ORCID: 0000-0003-1451-8014)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales.

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Con mucho amor y cariño a mis padres María y Ambrosio, por todo el apoyo que me brindaron durante la etapa de formación profesional. Es evidente que sin ellos este sueño nunca se hubiera podido concretar.

SULCA QUISPE IVAN JUNIOR

Al señor por protegerme en esta vida y fortalecerme mentalmente para alcanzar mi objetivo, a mis padres quienes con su ejemplo me guiaron, me han permitido llegar hasta que logre mis objetivos.

ROBER MARCIAL PEREZ TOMAYLLA

Agradecimiento

Agradecemos a nuestro asesor por darnos el tiempo y motivarnos día a día para poder lograr una de nuestras metas anheladas en la vida, a mi familia por el apoyo incondicional y por habernos apoyado en la titulación

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Resumen.....	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	12
3.3. Participantes.....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.5. Procedimientos.....	14
3.7. Rigor científico.....	16
3.8. Método de análisis de información.....	16
3.9. Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
V. CONCLUSIÓN.....	21
VI. RECOMENDACIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Toxicidad en la salud de las personas por los metales pesados</i>	7
<i>Tabla 2: Procesos de fitorremediación utilizados por las plantas</i>	9
<i>Tabla 2: Especies para fitorremediación</i>	10
<i>Tabla 4: Matriz de categorización apriorística</i>	12
<i>Tabla 5: Características principales de las especies vegetales con potencial de) remediación de suelos contaminados</i>	18
<i>Tabla 6: Tipos de fitorremediación</i>	19

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito presentar los resultados de una revisión sistemática de información registrada en diferentes fuentes científicas elaboradas durante los años 2000 y 2016, correspondientes a la identificación de especies que tengan una mayor eficiencia en la remediación de suelos contaminados por metales pesados, está demostrado que la fitorremediación es una opción viable y económicamente factible, ya que su objetivo es utilizar plantas con capacidad de metabolizar, volatilizar, acumular y absorber metales pesados del suelo.

Durante el proceso de investigación se realizó la selección de artículos científicos media cuyos estudios identificaron que las especies más destacadas son de género *Calamagrostis*, *Nicotiana*, *Paspalum Bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Trifolium repensla*, *Sauce*, *Repens* y *Moms alba L.* Así mismo se identificó 7 técnicas de fitorremediación: rizodegradación fitosalinización, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización o fitoinmovilización, fitovolatilización y fitoextracción, destacando en su mayoría la aplicación de la Fitoextracción puesto que las especies a utilizar tienen gran capacidad de acumular los contaminantes en sus diferentes órganos, mientras que, otros autores denominan la fitoestabilización, como la más adecuada debido a que no acumula los metales en los tejidos aéreos, sino que las pueden acumular en las raíces u otra zona de la rizosfera, y éste viene a ser un aspecto que influye para evitar alteraciones en la cadena trófica.

Sin embargo, la elección de la especie vegetal o el tipo de técnica de fitorremediación a emplear en un determinado lugar, dependerá del tipo de suelo, la procedencia del contaminante, las condiciones climáticas y ambientales del lugar a recuperar y de la adaptabilidad de la especie en diferentes hábitats.

Palabras claves: Especies vegetales, fitorremediación, contaminación de suelos, metales pesados

Abstract

The purpose of this research work is to present the results of a systematic review of information registered in different scientific sources elaborated during the years 2000 and 2016, corresponding to the identification of species that have a better performance in the remediation of soils contaminated by heavy metals. , demonstrated that phytoremediation is a viable and economically feasible option, since its objective is to use plants with the capacity to metabolize, volatilize, accumulate and absorb heavy metals from the soil.

During the research process, the selection of scientific articles was made whose studies identified that the most outstanding species are of the genus *Calamagrostis*, *Nicotiana*, *Paspalum Bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Trifolium repens*, *Sauce*, *Repens* and *Moms alba* L. Likewise, identified 7 phytoremediation techniques: phytosalinization rhizodegradation, phytodegradation, rhizofiltration, phytostabilization or phytoimmobilization, phytovolatilization and phytoextraction, mostly highlighting the application of Phytoextraction since the species to be used have a great capacity to accumulate contaminants in their different organs, while , other authors call phytostabilization, as the most appropriate because it does not accumulate metals in aerial tissues, but they can accumulate in the roots or another area of the rhizosphere, and this becomes an aspect that influences to avoid alterations in the food chain.

However, the choice of the plant species or the type of phytoremediation technique to be used in a certain place will depend on the type of soil, the origin of the pollutant, the climatic and environmental conditions of the place to be recovered and the adaptability of the species. in different habitats.

Keywords: Plant species, Phytoremediation, soil contamination, heavy metal

I. INTRODUCCIÓN

Tener un plan o métodos para conservar nuestro recurso natural hoy en día viene siendo una de las prioridades y retos más importante en los gobiernos, puesto que su conservación garantiza el desarrollo sostenible de los mismos. Ellos son parte de la naturaleza y es por ello que es usado para satisfacer nuestra necesidad (alimentación, salud, economía, etc.) sin embargo, su aprovechamiento implica estar sujeto a tres ejes importantes: ambiental, social y económico, lo que garantizará un comportamiento amigable y sustentable con el ambiente. (Castillo y Vasquez, 2003 pág. 66)

Ahora bien, el suelo es uno de los recursos naturales no renovables más indispensables para la sobrevivencia humana y los ecosistemas, debido a su capacidad para albergar y producir diferentes especies y servicios ambientales y ecosistemáticos. Sin embargo, también es uno de los recursos que, en los últimos tiempos, viene siendo amenazado, es decir, la degradación constante de grandes áreas a causa de las actividades antropogénicas como son la minería, industria, petróleo, etc., provocan grandes cantidades de sustancias contaminantes, en su mayoría químicas, que afecta directamente al recurso provocando su degradación y posterior pérdida. (García y Vásquez, 2020 pág. 5)

Los contaminantes del suelo más comunes vienen a ser los metales pesados, los cuales son elementos químicos, presentes en los suelos de forma natural (en concentraciones moderadas y necesarias) o a consecuencia de actividades humanas, los mismos que presentan alto potencial de toxicidad y peligrosidad, debido a su capacidad de bioacumulación principalmente en cultivos. Por otro lado, los metales pesados son uno de los grupos contaminantes con mayor repercusión en el ambiente puesto que persisten indefinidamente en él, acumulándose en los tejidos vivos y alcanzando altos niveles de concentración en los suelos, produciendo efectos negativos en sus propiedades. (Trejo, 2015)

Ante ello (Reyes, 2016), refiere que dichos metales pesados, dentro del cuerpo humano producen afecciones y daños en la salud, específicamente en los órganos vitales y los cuales pueden desarrollar células cancerígenas. (Reyes, 2016)

Bajo este contexto, la contaminación de suelos ha generado grandes problemas ambientales, por ello que continuamente se han venido realizando estudios para contribuir a la recuperación de aquellas áreas afectadas, siendo una de ellas la fitorremediación que es una técnica que implica la adaptación de especies vegetales que pueden tolerar niveles altos de concentración de metales pesados en el suelo, y que da lugar a su rehabilitación con menos impactos en el ambiente. (Prieto et al, 2009)

No obstante, la fitorremediación o también denominado “tratamiento con plantas”, a pesar de su potencial como solución en la remediación de suelos contaminados, tiene una desventaja sobre el tiempo necesario para visualizarse los resultados, además que se realiza un tratamiento insitu y es poco costosa. (Chávez, 2014)

Ante lo expuesto, el presente proyecto de investigación tiene como finalidad dar a conocer las diferentes especies de vegetales que actúan como remediación de la superficie terrestre dañada con metales pesados, por ello se presenta como problema principal de la investigación: **¿Cuáles son las especies vegetales más eficientes en la remediación de suelos contaminados por metales pesados?**, mientras que los problemas específicos son:

- **PE1: ¿Cuáles son las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación de suelos contaminados por metales pesados?**
- **PE2: ¿Cuál es el tipo de fitorremediación más adaptable ante la remediación de suelos contaminados por metales pesados?**
- **PE3: ¿Qué tipo de especies vegetales son las más importantes en la reducción de la concentración de metales pesados presentes en suelos?**

Del mismo modo, se determina como objetivo principal de la investigación: **Identificar las especies vegetales con mayor eficiencia en la remediación de suelos contaminados.** Así mismo los objetivos específicos propuestos fueron:

- **OE1: Describir las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación en suelos contaminados por metales pesados.**
- **OE2: Determinar el tipo de fitorremediación que más se adapte a la remediación de suelos contaminados por metales pesados.**
- **OE3: Identificar qué tipo de especies vegetales son las más importantes en la reducción de la concentración de metales pesados presentes en suelos.**

II. MARCO TEÓRICO

Identificación de especies vegetales que tienen potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros que contienen metales pesados, plantea como objetivo identificar estas especies que tienen potencial para la remediación en metales pesados, a través del análisis y revisión de documentos y estudios que finalmente se determinó que las especies de *Paspalum bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Lupinus ballanus* *Cortaderia rudiuscula* *Stapf*, *Juncus articus* *Willd* y *Polylepis racemosa*, independientemente tiene capacidad de remover y captar diferentes tipos de metales pesados presentes en suelos. (García y Vásquez, 2020 p. 8)

La técnica de fitorremediación para solucionar de la contaminación de suelos por actividad minera, plantea como objetivo determinar el método de fitorremediación más apropiada para descontaminar suelos mineros, mediante la búsqueda de documentación, estudios y artículos de investigación en base de datos electrónicos, determinó que la fitoextracción es la más apropiada puesto que se utiliza plantas con capacidad de hiperacumulacion, absorber y acumular metales pesados. (Cortez, 2019, p.7)

También se usa esta técnica de Fitorremediación pero con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados, plantea como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de stevia sobre el suelo contaminado por estos metales pesados, con la aplicación de la fitorremediación, utilizando el maízala de maíz como principal tipo de planta para la remediación de suelos agrícolas contaminados con metales de cadmio y plomo, en el cual obtuvo que dicha planta absorbe efectivamente los metales presentes, acumulándose en la raíz, así mismo confirmo que la aplicación de material orgánico contribuyen a la solubilización de plomo y cadmio. (Munive et al 2018, p.551)

A su vez en su investigación sobre la fitorremediación de Cromo (Cr) diseño e implementó (VI) una metodología para el desarrollo de competencias científicas investigativas, en la cual se plantea como objetivo experimentar, diseñar, levantar

observaciones, recolectar y analizar la información teniendo en cuenta las preguntas que se identificaron, dicha investigación pudo demostrar que una biotecnología a bajo costo como la fitorremediación puede obtener porcentajes de retención de cromo (VI) que ha adsorbido al cabo de 72 horas cada una de las especies vegetales trabajadas; la especie *Eichhornia crassipes* remueve el 72,55% del contaminante, mientras que la especie *Cyperus papyrus* retiene el 49,9%. Las especies *Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii* no remueven concentraciones altas de cromo. (Sánchez y Gomez, 2016, p.75)

Por otro lado la Fitorremediación para descontaminación de suelos contaminados por plomo, su principal objetivo es encontrar la capacidad fitorremediadora de estas especies nativas en zonas contaminadas por este metal pesado, en la cual selecciona dos tipos de especies *Calamagrostis* y *Nicotiana* se prueba en 3 niveles de concentración de plomo 700 ppm, 1000 y 1200 ppm, la cual, la *Nicotiana* presento un mayor aptitud de fitorremediación por su aumento de biomasa superficial, capacidad de mover el metal hacia las partes de la raíz para inmovilizarlas además de su capacidad para adaptarse en condiciones climáticas distintas. Finalmente, el estudio corrobora y afirma que las especies de vegetación nativas son las más adecuadas para la aplicación del sistema de fitorremediación. (Chávez, 2014, p.9)

Dentro de las investigaciones internacionales, el estudio de Fitorremediación: una solución para eliminar contaminantes, plantea como objetivo revisar las diversas técnicas fitocorrectivas usadas para reestablecer suelos y efluentes que están contaminados, durante la investigación se analizó las diferentes especies vegetales que tienen la aptitud de absorber, bioacumular, metabolizar, volatilizar contaminantes; como metales pesados, radioactivos, compuestos orgánicos, etc., que se encuentren en el medio como suelo, aire, agua, concluyendo que dicha metodología es aplicable y bajo costo en la restauración de suelos. (Delgadillo et al, 2011, p.597).

Durante su estudio, Remedación de suelos contaminado por mercurio usando guarumo (*Cecropia peltata*), donde se plantea como objetivo estimar la aptitud del guarumo (*Cecropia peltata*) como planta fitorremediadora de suelos contaminados por mercurio del municipio de Barranco de Loba, sur de Bolívar, y se diagnosticó que influyo el grado

de deterioro, la utilización de ácido cítrico y tiempo de desarrollo del guarumo, sobre la tasa de eliminación de mercurio de la superficie terrestre, fue ligeramente efectivo, demostrando que el guarumo tiene capacidad de acumulación de metal sin considerar efectos tóxicos, y definiendo que dicha especie es apta para la aplicación de fitorremediación. (Vidal et al, 2010, p.114)

Pero eso dependerá de cada planta y su capacidad de remediar sitios contaminados, indica que la naturaleza de las plantas tiene la capacidad de incorporar elementos básicos (calcio, magnesio, hierro, etc.) en suelos degradados, lo cual al mismo tiempo que contribuye positivamente también lo hace de forma negativa puesto que también se generan elementos como el plomo mercurio, cadmio, entre otros. Durante su estudio, identifico al menos 400 especies de plantas entre las que se resaltan girasol (*Helianthus annuus*), álamos (*Populus*), alfalfa (*Medicago sativa*), mostaza (*Sinapis*), tomate (*Solanum lycopersicum*), calabaza (*Cucurbita*), esparto (*Stipa tenacissima*), sauce (*Salix*), bambú (*Bambusoidea*), entre otros, con capacidad de hiperacumular sustancias e incluso eliminar altos niveles de salinidad del suelo. (Zimicz, 2016, p.08)

Para el estudio de teorías referidas al tema del presente proyecto de investigación se consideró la investigación que menciona que los suelos son aquel recurso natural con capacidad de renovación lenta, en el cual se acumulan nutrientes, minerales, compuestos orgánicos y distintos organismos, que contribuyen para el crecimiento y adaptación de especies vegetales. Cabe agregar que este recurso es el más importantes para el desarrollo de las personas, ya que, es indispensable para la generación de alimentos básicos (Chan et el, 2015, p.125).

Sin embargo, a medida que el desarrollo económico y social ha ido en crecimiento, se ha generado múltiples alteraciones en los suelos, una de ellas es la influencia de metales pesados, los cuales son elementos altamente tóxicos, que se encuentran en la corteza terrestre ya sea de forma natural o asistida, y que en sus altas concentraciones pueden afectar a los organismos vivos, cabe agregar que estos no son degradables y pueden persistir por largos periodos. (Alcaino, 2012,p.14)

En particular, los metales son un grupo de contaminantes sujetos a preocupación, porque manifiestan toxicidad en los seres bióticos, afectando su estilo de vida y salud, como se ve en la siguiente figura.

Tabla 1: Toxicidad en la salud de las personas por los metales pesados.

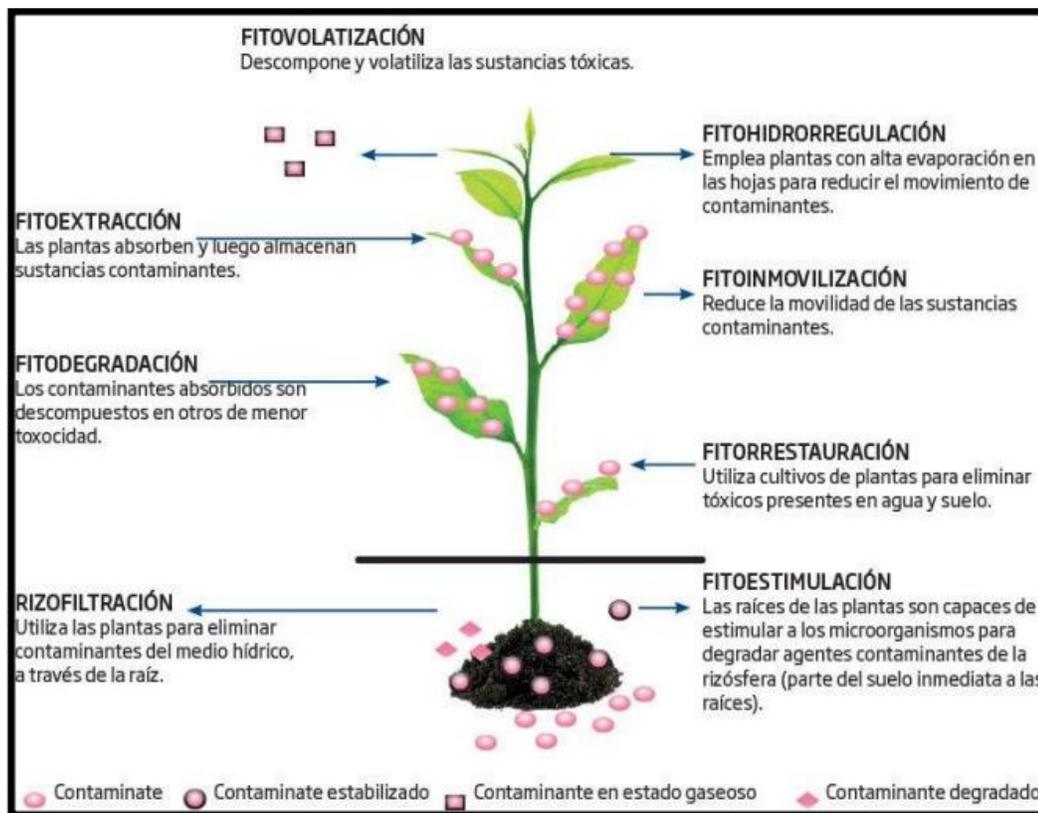
Metal pesado	Efecto en la salud
As	Es análogo del fosfato y causa interferencias en procesos celulares esenciales como es la fosforilación oxidativa y la síntesis de ATP.
Cd	Carcinogénico, mutagénico y teratogénico; disruptor endocrino; interferencias con el calcio en la regulación de sistemas biológicos; causa fallo renal y anemia crónica.
Cr	Causa pérdida del cabello.
Cu	Se ha encontrado que niveles elevados causan daños en el cerebro y el riñón, cirrosis hepática y anemia crónica, irritación intestinal y estomacal.
Hg	Ansiedad, enfermedades autoinmunes, depresión, pérdidas de equilibrio, modorra, fatiga, pérdida del cabello, insomnio, irritabilidad, pérdida de memoria, infecciones recurrentes, inquietud, fallos en la visión, temor, arrebatos de temperamento?, úlceras y daños en el cerebro, riñón y pulmones.
Ni	Dermatitis alérgica; la inhalación puede causar cáncer de pulmón, nariz, mama, garganta y estómago; hematotoxicidad, neurotóxico, genotóxico, toxico reproductiva, toxico pulmonar, nefrotóxico, y hepatotóxico; causa pérdida del cabello.
Pb	Su ingesta causa problemas en los niños como subdesarrollo, reduce la inteligencia, pérdida de memoria a corto plazo, discapacidad del aprendizaje y problemas de coordinación; causa fallo renal; aumenta el riesgo a desarrollar enfermedades cardiovasculares.
Zn	La sobredosis puede causar mareo y fatiga.

Fuente: Bayón, 2015, p. 7

No obstante, las luchas por aplicar diferentes medios de remediación han conllevado a incluir a las mismas plantas, es por ello que se ha ido realizando varios estudios sobre fitorremediación, que es proceso en el cual se usan diferentes tipos de plantas con el fin de remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar ciertos contaminantes presentes en un espacio. (Delgadillo, 2011, p.598). por otro lado, la tecnología in situ, sin capacidad de destrucción, y su aplicación es bajo costo, este método incita la “actividad microbiana en la rizosfera para degradar los contaminantes presentes, dando lugar a la remoción, transferencia, estabilización y neutralización de compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos “(Chan et al 2015, p.130).

En otro aspecto, es preciso señalar que las plantas tienen capacidades distintas de actuar ante un contaminante, es por ello que se aplican en diferentes procesos, siendo los tipos de fitorremediación más comunes los siguientes:

Figura 1. Técnicas de fitorremediación



Fuente: Cortez Gonzales D, 2019, p.13

Tabla 2: Procesos de fitorremediación utilizados por las plantas

<i>Tipo</i>	<i>Proceso Involucrado</i>	<i>Contaminación Tratada</i>
<i>Fitoextracción</i>	<i>Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas raíces)</i>	<i>Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc.</i>
<i>Rizofiltración</i>	<i>Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.</i>	<i>Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc, isótopos, radioactivos, compuestos fenólicos</i>
<i>Fitoestabilización</i>	<i>Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.</i>	<i>Lagunas de desecho de yacimiento mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.</i>
<i>Fitoestimulación</i>	<i>Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)</i>	<i>Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.</i>
<i>Fitovolatilización</i>	<i>Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmosfera con la transpiración.</i>	<i>Mercurio, selenio y solventes clorados</i>
<i>Fitodegradación</i>	<i>Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.</i>	<i>Pesticidas, DDT, fosfatos, fenoles y nitrilos.</i>

Fuente: Elaboración propia adaptada de Mónica Lumelli, 2019, p.18

Hay que tener en cuenta que una de las principales características para la aplicación de especies vegetales en la recuperación de suelos es: Ser tolerantes y acumuladoras de altos niveles de metales, tener capacidad de crecimiento rápido y alta productividad, ser una especie nativa del lugar donde se quiere tratar y ser de fácil manipulación en su cosecha o cultivo (Jaramillo y Flores, E, 2012, p.34).

En la siguiente tabla se observa algunos tipos de especies que han demostrado ser aptas para su crecimiento en áreas contaminadas.

Tabla 3: especies para fitorremediación

Núm.	Especie	Familia	Núm.	Especie	Familia
1	<i>Acacia cornigera</i>	Fabaceae	24	<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	Fabaceae
2	<i>Acoelorrhapha wrightii</i>	Arecaceae	25	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
3	<i>Andira galeottiana</i>	Fabaceae	26	<i>Miconia albicans</i>	Fabaceae
4	<i>Andira inermis</i>	Fabaceae	27	<i>Miconia argentea</i>	Melastomataceae
5	<i>Annona reticulata</i>	Annonaceae	28	<i>Miconia mexicana</i>	Melastomataceae
6	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	29	<i>Mimosa albida</i>	Fabaceae
7	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	30	<i>Mimosa pigra</i>	Fabaceae
8	<i>Casearia sylvestris</i>	Salicaceae	31	<i>Myrica cerifera</i>	Myricaceae
9	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	32	<i>Pachira aquatica</i>	Malvaceae
10	<i>Citharexylum hexangulare</i>	Verbenaceae	33	<i>Parmentiera aculeata</i>	Bignoniaceae
11	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	34	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Fabaceae
12	<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	35	<i>Posoqueria latifolia</i>	Rubiaceae
13	<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	36	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae
14	<i>Coccoloba barbadensis</i>	Polygonaceae	37	<i>Randia aculeata</i>	Rubiaceae
15	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	38	<i>Sabal mexicana</i>	Arecaceae
16	<i>Combretum fruticosum</i>	Combretaceae	39	<i>Scheelea liebmannii</i>	Arecaceae
17	<i>Crataeva tapia</i>	Capparaceae	40	<i>Solanum ertanthum</i>	Solanaceae
18	<i>Cupania dentata</i>	Sapindaceae	41	<i>Solanum hirtum</i>	Solanaceae
19	<i>Davilla kunthii</i>	Dilleniaceae	42	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae
20	<i>Eugenia capuli</i>	Myrtaceae	43	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae
21	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	44	<i>Tabernaemontana alba</i>	Apocynaceae
22	<i>Inga jinicuil</i>	Fabaceae	45	<i>Thevetia ahouai</i>	Apocynaceae
23	<i>Inga laurina</i>	Fabaceae			

Fuente: Ochoa, et al., 2014, p.144.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El este trabajo de análisis, tiene un tipo de investigación aplicada, o también denominada practica o empírica, debido a que se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de conocimientos ya adquiridos, con el propósito de ser utilizados inmediatamente (Vargas, 2009, p.159).

Del mismo modo afirma que la investigación de tipo aplicada resalta por su propósito de, buscar conocimientos o soluciones a un problema propuesto, teniendo en cuenta ciertos aspectos como evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar casualidades. Así mismo, refiere que un enfoque cualitativo es aquel que nace de una literatura ya existente. (Hernández, R., Fernández y Baptista 2014, p.7-25).

Por ello este estudio, busca la recolección de bibliografía sobre la aplicación de especies forestales (fitorremediación), en suelos contaminados por metales pesados, para la extracción de información y teorías que conlleven a la solución del problema planteado, además la recolección de datos e información serán las evidencias ante la solución planteada.

Por otro lado, tiene un diseño narrativo de tópico en el cual el investigador realiza una contextualización de épocas, lugar, experiencias donde ocurrieron hechos o eventos esenciales para una investigación planteada. Generalmente las evidencias de dicha investigación se plasman en documentación, estudios, artículos, entre otros. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 487-488). Para ello, en el presente estudio se enfocará en realizar la revisión de artículos y estudios referentes al uso de especies vegetales para la recuperación de suelos contaminados por metales.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Uno de las características más importantes de la revisión sistemática, es la organización y recolección de información, es por ello que se distinguen las denominadas categorías y subcategorías. (Cisterna, 2005, p.64)

Por otro lado, refiere que la clave para la determinación de categorías y subcategorías, es la formulación de los objetivos, puesto que a partir de ellos se desglosan y operacionalizan los términos básicos. (Cisterna, 2005, p.6)

En tal sentido, en el siguiente cuadro se presenta la matriz de categorización para el presente estudio.

Tabla 4: Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Describir las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación en suelos contaminados.	¿Cuáles son las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación de suelos contaminados?	Características de especies vegetales	<ul style="list-style-type: none"> • Especies endémicas • Especies adaptadas 	De acuerdo a su capacidad de adaptación y crecimiento.	De acuerdo a su capacidad tolerante a metales.	De acuerdo a su capacidad para catar, almacenar y degradar el contaminante.

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Determinar el tipo de fitorremediación que más se adapte a la remediación de suelos contaminados.	¿Cuál es el tipo de fitorremediación más adaptable ante la remediación de suelos contaminados?	Tipos de fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Fitodegradación • Fitoestabilización • Fitoextracción • Fitoinmovilización • Fitovolatilización • Rizofiltración 	De acuerdo al tipo de metal presente en el suelo.	De acuerdo a los niveles de concentración del metal.	De acuerdo a la capacidad de los vegetales para absorber los metales.
Identificar qué tipo de especies vegetales tienen mayor eficiencia en la remediación de suelos contaminados.	¿Qué tipo de especies vegetales tienen mayor eficiencia en la eliminación de metales pesados presentes en suelos?	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Cadmio • Cromo • Hierro 	De acuerdo al tipo de actividad realizada en el área.	De acuerdo a la capacidad de biocumulación del metal	De acuerdo a las características de permanencia del metal.

3.3. Participantes

Durante el desarrollo de la investigación se consideró como principal herramienta los documentos, informes, libros, artículos e investigaciones que refieran y contribuyan al desarrollo de los objetivos propuestos, los cuales estuvieron disponibles en fuentes disponibles principalmente en fuentes como Science Direct, Springer Link, Dialnet Web of Science, ProQuest, Research Gate, Redalyc, Scielo, Google Scholar.

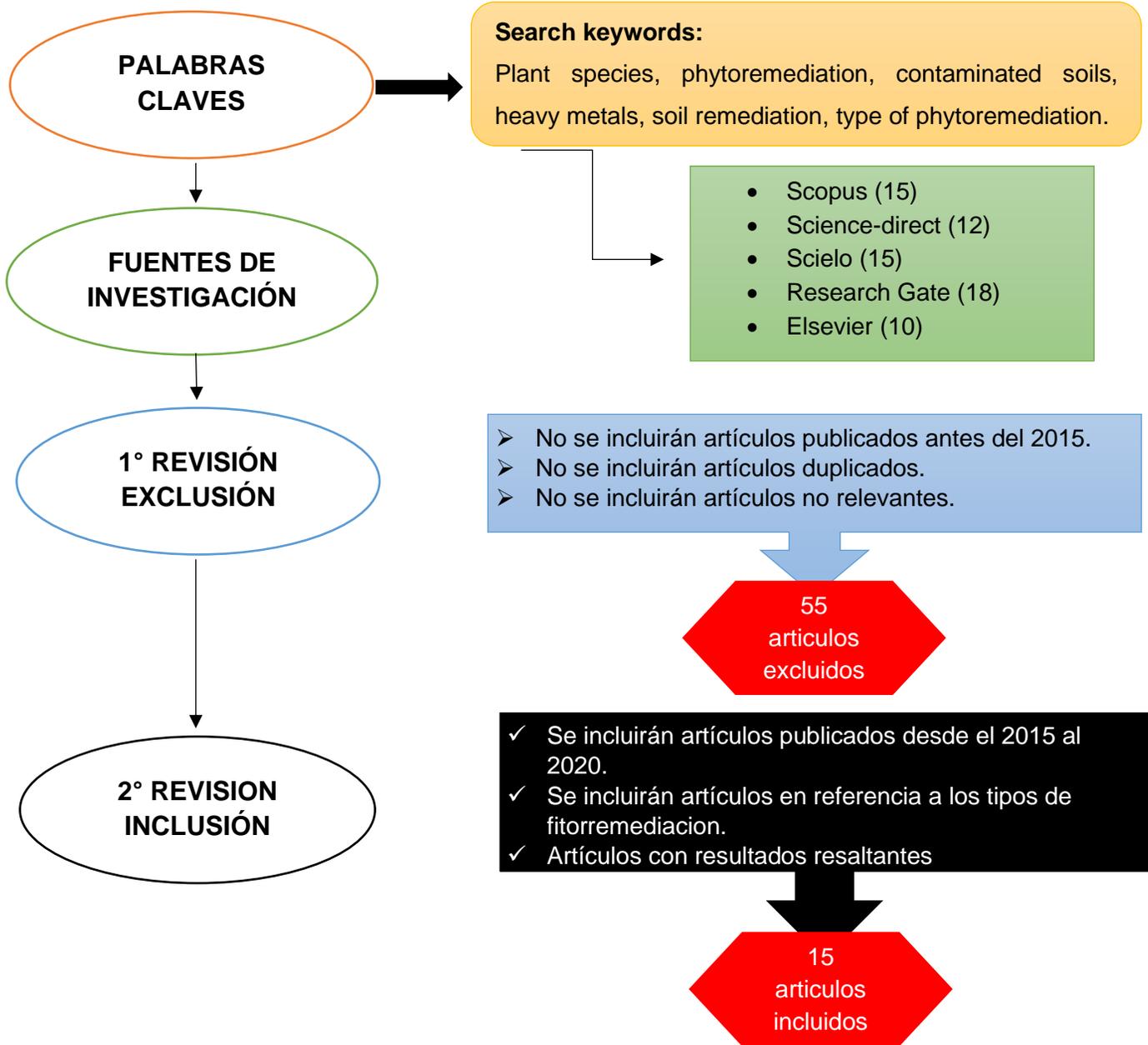
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos, fue determinada mediante criterios de elegibilidad de acuerdo al enfoque de estudio en el cual se aplicó la inclusión de estudios relevantes, por otro lado, la selección se realiza en base a los títulos, resúmenes e información disponible en los artículos elegidos (Moreno, et al., 2018, p.185).

3.5. Procedimientos

En la calidad metodológica se consideraron artículos a nivel nacional e internacional de revistas indizadas, las investigaciones que se incluyeron se encuentran comprendidos entre los años del 2010 al 2020, cuyos idiomas son de español e inglés, de igual forma se ha incorporado artículos evaluados en remediación de suelos contaminados utilizando mediante fitorremediación. Finalmente, se han considerado aquellos que ahondan el tema del presente estudio de investigación.

Por otro lado, se excluye los artículos que no cumplen con el criterio de inclusión, además no se considera aquellos estudios que son duplicados o repetidos, así mismo, estudios que son irrelevantes con la investigación y están direccionadas a otro tema.



3.7 Rigor científico

La presente investigación cuenta con rigor científico ya que esta cumple con criterios básicos que establecen la validez de la presente, como la confiabilidad, la cual se demuestra cuando el observador, a partir de su reconocimiento recolecta información que produce hallazgos (Castillo y Vasquez, 2003, p. 16). Así mismo (Domínguez y Briceño, 2013, p. 120) se refiere que este rigor es verídico cuando los estudios implican a personas e individuos que han experimentado con el fenómeno investigado.

Se efectúa el rigor de credibilidad en nuestro trabajo de investigación por que el planteamiento del problema responde con los artículos y fuentes investigadas, además en los artículos los investigadores discutieron sus propios resultados e interpretaciones con otros.

Así también la transferencia la cual se refiere a plantear información clara que permita comparar estos con otras investigaciones y teniendo en cuenta también la capacidad de confirmación ya los conceptos hallazgos y resultados establecidos sean neutrales y se pueden determinar cómo razonables y justos (Johansson 1994, p. 179).

3.8 Método de análisis de información

El estudio de esta investigación se efectuó organizando la información para el análisis mediante categorías (Tipos de Fitorremediación y Metales pesados), teniendo en cuenta los objetivos y los temas principales de estudio, en cada una de las categorías se plantearon subcategorías (Fitodegradación, Fitoestabilización, Fitoextracción, Fitoinmovilización, Fitovolatilización, Rizofiltración y Plomo, Cadmio, Cromo, Hierro) como indicadores lo cual nos permitió manejar de manera adecuada la información recopilada durante la investigación y plantear los resultados de acuerdo a los objetivos.

3.9 Aspectos éticos

Este trabajo de investigación se ha desarrollado con información verídica y contrastable de fuentes indizadas, toda la información plasmada fue obtenida de fuentes verdaderas y citadas respetando el derecho a la autenticidad a los debidos autores principales de acuerdo al estilo ISO 690-2, además con el Código de Ética de la universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la revisión de artículos científicos y bibliografía actualizada, que fueron codificados para un fácil reconocimiento, lo que facilitó el análisis de la información que se encuentra en cada una de ellas, además, se elaboraron tablas de resumen por cada fuente de información de manera que fuera más accesible. En base a esta información se identificaron y analizaron las características principales de especies vegetales con potencial de remediación de suelos contaminados, se pudo determinar que las especies con mayor capacidad de remoción de metales pesados son las del género *Calamagrostis*, *Nicotiana*, *Paspalum Bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Trifolium repens*, *Sauce*, *Repens* y *Moms alba L.* pertenecientes a familia de Poaceae, Olanaceae, Rosaceae, Asteraceae, Salicaceae, Leguminosae y Moraceae.

Tal como se observa en la tabla N° 5., García, & Vásquez, (2020), la especie de género *Bidens triplinervia*, perteneciente a la familia de *Asteraceae*, tiene mayor capacidad de remoción del metal zinc, magnesio, aluminio y plomo, en comparación con las especies *Calamagrostis* y *Nicotiana* propuesta por Chávez (2014). No obstante, las dos especies seleccionadas por Chávez para la remoción de plomo, fue en base a criterios de hipertolerancia, es decir la capacidad de los vegetales para mantenerse y desarrollarse en los sitios contaminados, aunque estos no hayan cumplido con las expectativas de remoción.

En cuanto al metal magnesio, para García & Vásquez (2020), la especie de género *Lachemilla orbiculata*, tiene capacidad de remoción de hasta 1 912.5 mg/kg de magnesio, en comparación con la especie *Paspalum bomplandianum*, propuesta por Dávila, N y Walter. L., que remueve hasta 590.9 mg/kg de magnesio.

Por otro lado, para la remoción de cadmio, se planteó el uso de las especies *Sauce*, *Trifolium repens*, *Repens* y *Moms alba L.*, demostrando que la especie *Repens*, tiene mayor capacidad de remoción del metal, propuesta por (Zand, et al., 2020).

Tabla 5: Características principales de las especies vegetales con potencial de) remediación de suelos contaminados

Genero de Especies	Familia	Tipo de metal	Concentración	Autor
<i>Paspalum bomplandianum</i>	<i>Poaceae</i>	Aluminio	2539 mg/kg	Dávila y Walter 2017
		Arsénico	174.5 mg/kg	
		Cadmio	3.58 mg/kg	
		Cobre	166.7 mg/kg	
		Magnesio	590.9 mg/kg	
<i>Calamagrostis</i>	<i>Poaceae</i>	Plomo	0.31 mg/kg	Chavez 2014.
<i>Nicotiana</i>	<i>Olanaceae</i>	Plomo	0.39 mg/kg	
<i>Paspalum bomplandianum</i>	<i>Poaceae</i>	Aluminio	2 844.6 mg/kg	García & Vásquez, 2020.
<i>Lachemilla orbiculata</i>	<i>Rosaceae</i>	Magnesio	1 912.5 mg/kg	
<i>Bidens triplinervia</i>	<i>Asteraceae</i>	Plomo Zinc	5 842 mg/kg 11 514 mg/kg	
<i>Sauce</i>	<i>Salicaceae</i>	Cadmio	5.41 mg/kg	Li et al. 2020.
<i>Trifolium repensla</i>	<i>Leguminosae</i>	Cadmio	168,74 mg/kg	Lin et al. 2020.
<i>Repens</i>	<i>Leguminosae</i>	Cadmio	1077,9 mg/kg	Zand et al. 2020.
<i>Moms alba L.</i>	<i>Moraceae</i>	Cadmio	100 mg/kg	Lei et al. 2019.

Fuente: (Elaboración propia adaptado de E Jara-Peña · 2020)

En la siguiente tabla N° 6 se muestra los tipos de fitorremediación y sus características resaltantes para su aplicación de las cuales, para Cortez (2019), la aplicación de fitoextracción como la más conveniente aplicar en suelos contaminados puesto que las especies a utilizar tienen gran capacidad de acumular los contaminantes en sus diferentes órganos, mientras que, para Trejo, et al., (2015), la mejor técnica para recuperación de suelos, es la fitoestabilización, puesto que no acumula los metales en los tejidos aéreos, un aspecto que influye para evitar alteraciones en la cadena trófica.

Tabla 6: Tipos de fitorremediación

Tipos de fitoremediación	Características	Autor
Fitoextracción	La capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante en sus tallos y hojas.	Bayon (2015) Cortez (2019) Trejo, et al. (2015)
Fitoestabilización	Capacidad de las plantas para inmovilizar y reducir la biodisponibilidad del contaminante.	Bayon (2015) Cortez (2019) Trejo, et al. (2015)
Fitodegradación	Degradación de contaminantes orgánicos por las plantas con la ayuda de enzimas como la deshalogenasa y la oxigenasa.	Bayon (2015) Cortez (2019)
Rizodegradación	La descomposición de contaminantes orgánicos en el suelo por microorganismos presentes en la rizosfera.	Bayon (2015)
Rizofiltración	Se basa en que algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, bacterias y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales presentes en las aguas contaminadas a través de las raíces	Bayon (2015) Cortez (2019) Trejo, et al. (2015)
Fitovolatilización	Absorción de contaminantes del suelo por plantas, su conversión a formas volátiles y su posterior liberación a la atmósfera. Se utiliza para contaminantes orgánicos y ciertos metales como Hg y Se.	Bayon (2015) Cortez (2019) Trejo, et al. (2015)
Fitodesalinación	Uso de plantas halófitas para suprimir el cloruro sódico de suelos salinos que hacen imposible el crecimiento normal de otras plantas.	Cortez (2019)

Fitoimmobilización	Capacidad de plantas para fijar e inmovilizar el contaminante.	Cortez (2019)
Fitorrestauración	Uso de especies resistentes y de rápido crecimiento.	Cortez (2019)

Fuente: (Elaboración propia adaptado de AE Delgadillo-López · 2019)

V. CONCLUSIÓN

Al término de la revisión sistemática de diversos estudios se concluye:

- ✓ Las especies vegetales con mayor eficiencia en la reducción de la concentración de metales pesados es del género *Bidens triplinervia*, perteneciente a la familia de *Asteraceae*, tiene mayor capacidad de remoción del metal zinc, magnesio, aluminio y plomo, mientras que las especies genero *Lachemilla orbiculata* influyen más en la remoción de magnesio así mismo en la remoción de cadmio las especies *Sauce*, *Trifolium repensla*, *Repens* y *Moms alba L.*, son consideradas más eficientes. No obstante, cabe agregar que la especie a elección dependerá de la hipertolerancia, es decir la capacidad de los vegetales para mantenerse y desarrollarse en los sitios contaminados, aunque estos no hayan cumplido con las expectativas de remoción.
- ✓ Las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación en suelos contaminados son la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante, inmovilizar y reducir la biodisponibilidad del contaminante, además de degradar los contaminantes orgánicos.
- ✓ El tipo de fitorremediación más adaptable es: fitovolatilización, debido a que es una técnica de absorción de contaminantes del suelo por plantas, factible de realizar, económicamente viable, sobre todo ecoeficiente y respetable con el ambiente; aunque conlleve un proceso lento en comparación con otras técnicas más sofisticadas.
- ✓ Las más importantes especies con potencial de remediación son los de género *Calamagrostis*, *Nicotiana*, *Paspalum Bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Trifolium repensla*, *Sauce*, *Repens* y *Moms alba L.* pertenecientes a familia de *Poaceae*, *Olanaceae*, *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Salicaceae*, *Leguminosae* y *Moraceae*. Cabe mencionar que la efectividad también estará en función del tipo de metal que se requiere remover, del tipo de suelo y condiciones ambientales.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, realizar una revisión sistemática de otras especies empleadas en otros países, con el fin de comparar y determinar la influencia de las condiciones climáticas en la efectividad del tratamiento.
- Se recomienda considerar la revisión de estudios experimentales.
- Se recomienda realizar una revisión sistemática de una determinada especie, con el fin de determinar su capacidad para actuar ante diferentes contaminantes.
- Se recomienda indagar sobre la procedencia de los metales pesados presentes en el área de estudio, con la finalidad de determinar su origen y definir el tipo de fitorremediación más óptima.
- Se recomienda realizar revisión bibliográfica más específica en cuanto a los tipos de remediación, determinar su eficiencia de cada uno.

BIBLIOGRAFÍA

-Alcaino, G. Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, 2012, 63 pp.

-Bayón, S. Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados. Tesis de pregrado, Universidad Computense, Madrid, 2015, 23pp.

-Bernal, A. Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2014, 5 (2); 245-258pp.

Disponible

en:

<https://search.proquest.com/docview/1802725918/14FFF75D6B74461BPQ/1?acountid=36937>

-Burbano, H. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de Ciencias Agrícolas. [en línea], 33 (2), 2016, pp.117-124 [Fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>

ISSN: 2256-2273

-Cisterna, C. Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. Theoria, 2005, 14(1); 61-71 pp. [Fecha de consulta: 29 de octubre del 2020].

Disponible

en:

<http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a6.pdf?PHPSESSID=2658468bdb78a164febc0ee6ce982258>

ISSN: 0717-196X

-Chavez, L. Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014, pp. 114.

-García, M & Vásquez, M. Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, 2020, pp.63.

-Castillo, E. y Vásquez, M. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. Colombia Médica [en línea]. 2003, 34(3), pp.164-167 [fecha de Consulta 23 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28334309>

ISSN: 0120-8322.

-Cortez, D. Técnicas de fitorremediación para solucionar la contaminación de suelos por actividad minera. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, 2019.

-Dávila, N. & Walter, L. Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros. Tesis pregrado. Universidad Privada del Norte. Cajamarca- Perú 2017.

-Delgadillo, A., et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, [en línea] 14 (1), 2011, 597- 612 pp. [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

-Domínguez, M. y Briceño, I. Aspectos éticos en la investigación cualitativa Enf Neurol. Revista de Enfermería Neurológica. (Mex) [en línea] 12(3): 118-121, 2013. p.120. [fecha de consulta: 01 de Noviembre del 2020].

Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/enfneu/ene-2013/ene133b.pdf>

ISSN 1870-6592

-Herrera, J., et al. Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. Gaceta Médica Espirituana, 2015, 17(2); 14pp.

Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/gme/v17n2/GME13215.pdf>

ISSN: 1608-8921

-Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6° ed., McGraw-Hill, México. 634pp. [fecha de consulta: 20 de octubre del 2020].

ISBN: 978-1-4562-2396-0

-Jaramillo, M. y Flores, E. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2012, 128 pp.

-JOHANSSON, E., 1994. Scientific Rigour in Qualitative Research — Examples From a Study of Women' s Health in Family Practice. , no. July. DOI 10.1093/fampra/11.2.176.

Disponible

en:

<https://academic.oup.com/fampra/articleabstract/11/2/176/461621?redirectedFrom=fulltext>.

-Moreno, B., et al. Revisión sistemática: definición y nociones básicas. Rev. Clin. Periodoncia Implantol. Rehabil. Oral, Chile, 2018, 11(3); 184-186 pp. [fecha de consulta: 29 de octubre del 2020].

Doi: 10.4067/S0719-01072018000300184

Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v11n3/0719-0107-piro-11-03-184.pdf>

-Munive, R., et al. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. Scientia Agropecuaria [en línea], 9 (4), 2018, pp.551-560. [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n4/a11v9n4.pdf>

-Ochoa. S., et al. Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Villahermosa: Gobierno del Estado de Tabasco/Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental/El Colegio de la Frontera Sur/Petróleos Mexicanos, 2011.

-Orellana, J & Lalvay, T. Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. Revista

Interamericana de Ambiente y Turismo. [en línea] 14 (1), 2018, pp. 65-79 [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/riat/v14n1/0718-235X-riat-14-01-00065.pdf>

ISSN: 0718-235X

-Prieto, J., et al. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, [en línea] 10 (1), 2009, pp. 29-44 [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>

ISSN: 1870-0462

-Reyes Y., et al. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. [en línea] 16 (2), 2016, pp. 66-77 [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

ISSN: 2422-4324

-Sánchez, J. y Gómez, D. Diseño e implementación de un proyecto de investigación en el aula sobre la fitorremediación de Cr(VI) como una estrategia para el desarrollo de competencias científicas investigativas. Rev. Bio-artículos de investigación, Colombia, 2016, 10(18), 75-88pp. [fecha de consulta: 29 de octubre del 2020].

ISSN: 2027-1034

Disponible: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/biografia/article/view/6887/5623>

-Trejo, R. et al. Especies vegetales de zonas áridas para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Facultad de Ciencias Biológicas UJED, [en línea] 3 (1), 2015, pp. 87-118 [fecha de consulta: 16 de octubre del 2020].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/283031793>

ISBN: 978-607-503-186-6

-Vargas, Z. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Revista Educación, Costa Rica, 2009, 33(1), 155-165 pp. [fecha de consulta: 28 de octubre del 2020]

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

ISSN: 0379-7082, 2009

-Vidal, J., et al. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*), Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 1 (27), 2010, pp.113-129. [fecha de consulta: 20 de octubre del 2020].

Disponible

en:

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/870/514>

-Zimicz, C. Las plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados. Revista Ibigeo Conicet, [En línea], 2016, 6(1): 8-15. [fecha de consulta: 18 de octubre del 2020].

Disponible:<https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/48535/Las%20Plantas%20y%20su%20capacidad%20para%20remediar%20sitios%20contaminados.pdf?sequence=5&isAllowed=y;Untitled>

ANEXO

Anexo 01: Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
<p>Describir las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación en suelos contaminados.</p>	<p>¿Cuáles son las características principales de las especies vegetales con potencial de remediación de suelos contaminados?</p>	<p>Características de especies vegetales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especies endémicas • Especies adaptadas 	<p>De acuerdo a su capacidad de adaptación y crecimiento.</p>	<p>De acuerdo a su capacidad tolerante a metales.</p>	<p>De acuerdo a su capacidad para catar, almacenar y degradar el contaminante.</p>

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Determinar el tipo de fitorremediación que más se adapte a la remediación de suelos contaminados.	¿Cuál es el tipo de fitorremediación más adaptable ante la remediación de suelos contaminados?	Tipos de fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Fitodegradación • Fitoestabilización • Fitoextracción • Fitoinmovilización • Fitovolatilización • Rizofiltración 	De acuerdo al tipo de metal presente en el suelo.	De acuerdo a los niveles de concentración del metal.	De acuerdo a la capacidad de los vegetales para absorber los metales.
Identificar qué tipo de especies vegetales tienen mayor eficiencia en la remediación de suelos contaminados.	¿Qué tipo de especies vegetales tienen mayor eficiencia en la eliminación de metales pesados presentes en suelos?	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Cadmio • Cromo • Hierro 	De acuerdo al tipo de actividad realizada en el área.	De acuerdo a la capacidad de biocumulación del metal	De acuerdo a las características de permanencia del metal.

Anexo 02: Procedimiento de la Investigación

