



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
**Estrategias de mitigación de los impactos generados por
toxicidad de cadmio en cultivos agrícolas: Revisión
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Rodriguez Sanchez Nelly Johanna (ORCID: 0000 0002 7891 6831)
Vega Medina Jesica Paola (ORCID: 0000 0002 7413 148X)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ
2021

Dedicatoria

Primero agradecer a Dios por darme salud y por estar hoy presente, la sabiduría y las fuerzas, para lograr mis objetivos. A mis padres y a mi hija Zoe Isabella por apoyarme y motivarme siempre para concluir mi formación académica.

Nelly Rodríguez S.

Dedicatoria

A Dios, por acompañarme, en cada momento y guiarme. Mi familia que siempre confió en mí, en especial mis padres por su apoyo incondicional que con sus valores y principios hicieron que logre este gran paso en mi vida como profesional. Por último, aquellas amistades que siempre están hay conmigo incondicionalmente.

Jesica Paola Vega Medina

Agradecimiento

Agradecer de todo corazón a mis docentes que son como un segundo padre y asesor Dr. Sernaque Fernando Antonio por su paciencia, comprensión y aportes de conocimientos y su experiencia para la realización de ese proyecto.

A la Universidad Cesar Vallejo que es como una segunda casa, por brindarnos el soporte necesario para desarrollarnos profesionalmente y humanamente para ser mejores ciudadanos.

Nelly Rodríguez S.

Agradecimiento

En primera instancia agradecer a Dios por darme fortaleza, paciencia, sabiduría y salud para poder compartir este logro con los nuestros. Mi familia y amistades portodo el amor apoyo y confianza hacia mi persona. Por último, agradecimiento a todos mis docentes por sus enseñanzas, consejos y conocimientos brindados durante mi vida universitaria.

Jesica Paola Vega Medina

ÍNDICE DEL CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. MÉTODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística	20
3.3. Escenario de estudio.....	22
3.4. Participantes	22
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.6. Procedimiento.....	22
3.7 Rigor científico	23
3.8 Método de análisis de información	24
3.9 Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
RREFERENCIAS	35
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N°1. Propiedades físicas y químicas del cadmio.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla N° 2. Matriz de categorización apriorística.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla N° 3. Impactos en cultivos agrícolas generados por la toxicidad de Cd.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 4. Biocarbón como estrategia para mitigar los impactos por Cd.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla N° 5. Abono y/o Compost como estrategia para mitigar los impactos por Cd en las plantas</i>	<i>30</i>
<i>Tabla N° 6. Reguladores como estrategia para mitigar los impactos por Cd en las plantas</i>	<i>31</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1. Interacciones del Cd.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura N° 2. Vegetales contaminados con Cd y Pb.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura N° 3. Efecto de la toxicidad del cadmio en el sistema vegetal.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura N° 4. El efecto de la toxicidad por cadmio en un cuerpo humano</i>	<i>10</i>
<i>Figura N° 5. Aplicación de biocarbón en alfalfa cultivada en suelos contaminados con Cd.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura N° 6. Beneficios del biocarbón aplicado como herramienta para el manejo de la fertilidad del suelo.....</i>	<i>12</i>

RESUMEN

De acuerdo al estudio presentado se tuvo como objetivo determinar los aspectos más relevantes de las estrategias de mitigación y los impactos generados por toxicidad en cultivos agrícolas; mediante el cual se realizó un proceso de selección de 93 literaturas, donde se incluyeron al estudio únicamente 21 que pasaron los procesos de selección; los cuales resolvieron cada objetivo específico, donde:

Los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas se dan en la inhibición y germinación de las plantas; donde la inhibición de las plantas en brotes, raíces, hojas y la disminución significativamente de la tasa de germinación de las plantas y las semillas son los mayores impactos generados. La estrategia más empleada para la mitigación de los impactos son el biocarbón, el abono y los reguladores; teniendo que 10 del total de los investigadores aplican reguladores como estrategias, seguido del biocarbón, quien fue empleado por 6 de los investigadores y por último el abono y/o compost quien fue usado 5 veces. La mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación se da en la aplicación de reguladores como estrategia de mitigación; además el total de las estrategias presentan un promedio de remoción de Cd en las plantas en un rango de 30 a 60%; que aunque los porcentajes no son muy altos en la mayoría los efectos que presentan en las plantas son significativas, como la mejora del crecimiento de las partes de las plantas, mayor contenido de clorofila y actividad fotosintética en plantas.

Palabras clave: cadmio, estrategias, agricultura, metales pesados, biodisponibilidad

ABSTRACT

According to the study presented, the objective was to determine the most relevant aspects of the mitigation strategies and the impacts generated by toxicity in agricultural crops; through which a selection process of 93 literatures was carried out, where only 21 that passed the selection processes were included in the study; which resolved each specific objective, where:

The greatest impacts generated by Cd toxicity in agricultural crops are in the inhibition and germination of plants; where the inhibition of plants in shoots, roots, leaves and the significant decrease in the germination rate of plants and seeds are the greatest impacts generated. The most used strategies for the mitigation of impacts are biochar, compost and regulators; 10 of the total number of researchers applied regulators as strategies, followed by biochar, which was used by 6 of the researchers, and finally compost and/or manure, which was used 5 times. The highest efficiency of Cd removal in agricultural crops by the various mitigation strategies is given in the application of regulators as a mitigation strategy; in addition, the total of the strategies present an average Cd removal in plants in a range of 30 to 60%; although the percentages are not very high in most of them, the effects they present in plants are significant, such as improved growth of plant parts, higher chlorophyll content and photosynthetic activity in plants.

Keywords: cadmium, strategies, agriculture, heavy metals, bioavailability

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la liberación de grandes cantidades de cadmio (Cd) en el medio ambiente, ya sea natural o provocada por el hombre, la contaminación de Cd tanto en el agua como en el entorno agrícola ha sido objeto de preocupación en todo el mundo (Hu Liangbin et al., p.2).

Las actividades antropogénicas como la eliminación de desechos urbanos, la fundición, la minería, la fabricación de metales y la aplicación de fertilizantes fosfatados sintéticos son aquellas que aumentan la concentración de Cd en el medio ambiente (Wang Yan et al., 2021, p.2).

Estos iones metálicos de cadmio pueden ser absorbidos por las plantas rápidamente, provocando efectos adversos en las plantas y riesgos en la cadena alimentaria (Gu Quan et al., 2018, p.2). Por ejemplo; los iones de Cd no solo podrían acumularse en las plantas, provocando así estrés e incluso la muerte celular, sino que también podrían provocar daños a largo plazo a los seres humanos a través de la cadena alimentaria (Gu Quan et al., 2017, p.3).

Se encuentra demostrado, que debido a las actividades industriales cada año se liberan 30.000 toneladas de Cd al medio ambiente (Hernandez et al., 2019, p.1). En América Latina se han encontrado altos niveles de Cd, especialmente en Ecuador, Honduras y Perú (Barraza Fiorella et al., 2021, p.2).

Este metal, es un contaminante peligroso cuando se dispersa en el suelo; debido a que es un oligoelemento no esencial para ellas y al encontrarse presente genera toxicidad, para las plantas (Sullivan, T. et al.2019, p.83). Las diferencias en las concentraciones de Cd en las partes comestibles pueden explicarse por diferencias de cultivo o genotipo en su absorción, translocación de raíz a brote y división por encima del suelo (Romero Estévez D. et al., 2019, p.4).

El cadmio (Cd) es un metal de transición altamente tóxico con una exposición muy baja y tiene efectos agudos y crónicos sobre la salud de las plantas, los animales, los seres humanos y todos los seres vivos en general (Hui Chang et al., 2022, p.1). Ya que puede ser transferido y almacenado en las partes comestibles de las plantas, presenta como resultando pérdida de productividad

del cultivo y una variedad de efectos tóxicos (Chen Bing et al., 2016, p.1).

Las altas concentraciones de Cd en las plantas modifican su morfología, fisiología y bioquímica, como retraso del crecimiento, deshidratación, inhibición de la fotosíntesis y germinación, estrés oxidativo y otras consecuencias que provocan pérdidas económicas. (Pernia, et al. 2016, p 38)

Así mismo, en el ser humano, la toxicidad por Cd afecta a múltiples órganos del cuerpo humano, pero se acumula principalmente en los riñones y causa daños graves, que incluyen enfisema pulmonar, daño tubular renal y cálculos renales (Mahajan P. y Kaushal J., 2018, p.3).

Debido a ello, se estudia de manera incesante la eliminación del Cd, donde, las posibles soluciones respetuosas con el medio ambiente para el Cd son necesarias para abordar su movilidad a través de diversas modificaciones rentables.

Por tal motivo, el presente estudio tiene como problema principal: ¿Determinar cuáles son los aspectos más relevantes de las estrategias de mitigación y los impactos generados por toxicidad en cultivos agrícolas?

Siendo así elaborados los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas?

PE2: ¿Cuál es la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas?

PE3: ¿Cuál es la mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación?

Como objetivo general del estudio se tiene: Determinar los aspectos más relevantes de las estrategias de mitigación y los impactos generados por toxicidad en cultivos agrícolas. Así mismo se planteó los objetivos específicos:

OE1: Analizar los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas

OE2: Clasificar la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas

OE3: Definir la mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación

Actualmente, los tratamientos convencionales para suelos contaminados con metales pesados incluyen excavación y relleno sanitario, lavado de suelos y estabilización por métodos físicos y químicos, sin embargo, estos métodos tienen desventajas tales como altos costos, son laboriosos y conducen a cambios irreversibles en las propiedades del suelo y a cambios en la microflora del suelo nativo (Saran, et al. 2019, p.2).

Debido a ello el presente estudio tiene una justificación teórica; en la cual se busca estudiar diversas literaturas a nivel mundial que apliquen técnicas como estrategias amigables con el medio ambiente, para mitigar los impactos que el Cd puede ocasionar a los cultivos agrícolas, sirviendo así de aporte teórico a futuros estudiantes y tesis.

II. MARCO TEÓRICO

Entre los diversos tipos de contaminantes, los metales pesados son motivo de gran preocupación, dada no solo la amplia gama de compuestos con efectos multifacéticos en los ecosistemas, sino también sus diversas vías de entrada, como la erosión del lecho rocoso, los procesos hidrodinámicos y la deposición atmosférica (Roquia R. et al., 2021, p.3).

Los suelos pueden contaminarse como efecto de una alta concentración de metaloides y trazas de metales a través de las emisiones del sector industrial en rápida expansión (Zhao Fang J. y Wang P., 2020, p.1).

Donde el término metal traza se aplica a cualquier sustancia química metálica que tenga una densidad relativamente alta y sea venenosa y tóxica incluso en concentraciones bajas (Zulfiqar Usmar et al., 2019, p.2).

La eliminación de desechos con alto contenido de metales, pesticidas, residuos de combustión de carbón, relaves de minas, gasolina con plomo, pinturas, fertilizantes sintéticos, abonos, aguas residuales riego, derrames petroquímicos, deposición atmosférica y lodos de depuradora son muchos de las causas por las que ingresan los iones metálicos a la cobertura vegetal (Shiyu Q. et al., 2020, p.2).

Los metales traza incluyen elementos como aluminio (Al), arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), talio (Tl) y zinc (Zn); pero entre estos el cadmio (Cd) es uno de los elementos más tóxicos y móviles en el medio ambiente (Karimpour M. et al., 2018, p.1).

El cadmio (Cd) es un oligoelemento no esencial que se distribuye ampliamente en el medio ambiente (Latif Junaid et al., 2020, p.29). Tanto las fuentes geogénicas como las antropogénicas pueden elevar las concentraciones de Cd en los suelos y las aguas subterráneas, que son importantes para mantener un suministro saludable de alimentos y agua potable (Unsal V. et al., 2020, p.1).

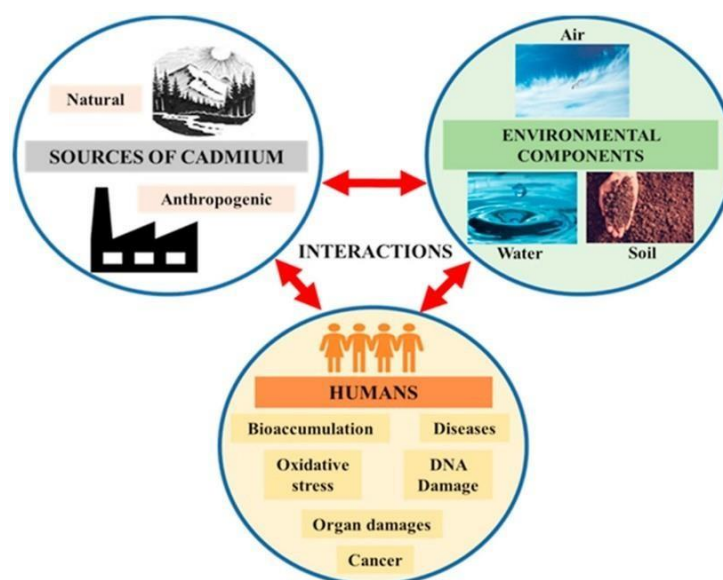
Las dosis elevadas de Cd son cancerígenas para los seres humanos y las

Directrices de la OMS para la calidad del agua potable recomiendan un valor de referencia para el Cd de 3 µg / L.

El cadmio (Cd) se reconoce comúnmente como uno de los contaminantes ambientales más peligrosos que puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas en todos los niveles de organización biológica, desde el nivel subcelular hasta el nivel del ecosistema (Jaskulak M. et al., 2019, p.7).

Además, se encuentra situado en la séptima posición según la clasificación de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) (Singh Preeti et al., 2021, p.19).

Figura N° 1. Interacciones del Cd



Fuente: Suhani Ibha et al., (2021)

De acuerdo a la figura 1 se demuestra como el origen del Cd se debe a la urbanización y las actividades industriales modernas, generando contaminación e impacto ambiental de los recursos aire, agua y suelo hasta llegar el ser humano.

El cadmio es un tóxico inorgánico que pertenece al grupo IIB de la tabla periódica y es un metal de transición maleable de color blanco azulado e inodoro; el número atómico del cadmio es 48, el peso atómico es 112.41u, el radio iónico es 1.03 Å, el radio atómico es 1.56 Å, el punto de ebullición es 765 ° C (1410 ° F), el punto de fusión es 321 ° C (610 ° F), la presión de vapor es de 1 mm Hg a 394 ° C y la

densidad es de 8,65 g/cm³ a 25 ° C (Saini Su. Y Dhania G., 2020, p.1). (Ver Tabla n°1).

Tabla N°1. Propiedades físicas y químicas del cadmio

Número atómico	48
Peso atómico	112.41 u
Radio atómico	155 pm
Configuración electrónica	[Kr]4d105s2
Punto de fusión	321.07 °C
Punto de ebullición	767.3 °C
Densidad a 20 °C	8.65 g/cm ³
Potencial de reducción Cd²⁺ + 2e⁻ → Cd(s)	-0.40 E°
Calor de fusión	6.21 kJ/mol
Calor de vaporización	99.6 kJ/mol
Electronegatividad (escala Pauling)	1.69
Primera energía de ionización	867.8 kJ/mol
Energía de segunda ionización	1631.4 kJ/mol

Fuente: Modificado de Genchi G., (2020)

Además, el Cd es inflamable e insoluble en agua; sin embargo, puede arder en forma de polvo. Cuando el Cd se quema en el aire, forma un óxido de cadmio amorfo marrón. (CdO). Asimismo, a medida que el Cd se disuelve con los ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico, forma sulfato de cadmio (CdSO₄), cloruro de cadmio (CdCl₂) y nitrato de cadmio (Cd(NO₃)₂), respectivamente; por lo cual, debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, imita varios elementos y causa disrupción y alteración en diferentes niveles del ecosistema (Genchi G. et al., 2020, p.2).

A partir de fuentes naturales y antrópicas el cadmio es liberado a la atmósfera, las cuales este elemento se encuentra normalmente en la naturaleza en sus formas inorgánicas (Sahab S. et al., 2021, p.2). Pero la actividad humana ha

contribuido a incrementar sus niveles de toxicidad en los organismos vivos, el agua e incluso en los suelos agrícolas, estos están continuamente expuestos a cadmio, elemento que puede permanecer por un tiempo relativamente prolongado (Fernández et al.,2019 p.37)

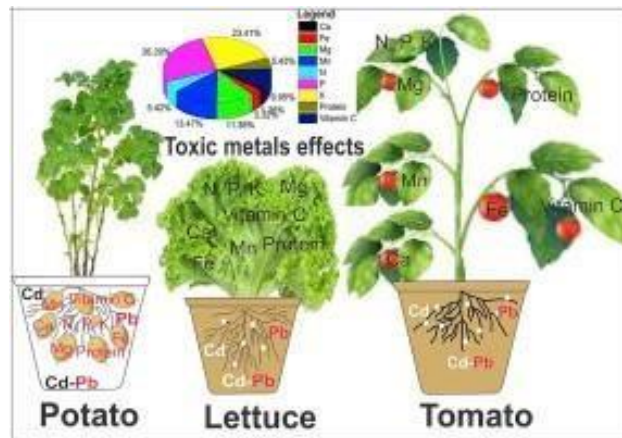
Se calcula que se liberan en la tierra entre 25.000 y 30.000 toneladas al año de Cd. y se liberan en el ecosistema terrestre a través de diversas fuentes (Khan Anwarzeb et al., 2016, p.2).

En los cultivos los metales pesados entran en el medio ambiente a través de fuentes naturales (por ejemplo, las emisiones volcánicas, la erosión de los suelos y la meteorización de las rocas madre) y las prácticas humanas (por ejemplo, actividades agrícolas, fabricación, minería, etc.) (Chen Hongping et al., 2018, p.1).

Los impactos de contaminación del suelo de manera directa (descarga de efluentes al suelo) o indirecta (riego de cultivos con agua contaminada) contaminan el suelo y agua subterránea, dañando los cultivos de producción para los seres humanos y animales por consecuente la contaminación de alimentos (Saha ef al, 2017, p.47)

Al ingerir el consumo de cultivos alimentarios contaminados con metales pesados se convierte en una ruta importante de la cadena alimentaria para la exposición humana (Shaheen Nazma et al., 2016, p.1). Esta exposición humana a metales pesados tóxicos a través de la ingesta dietética es cada vez más preocupante; por ejemplo, la contaminación por metales pesados de un sistema de producción de arroz puede representar una amenaza para la salud humana (Long Zhijie et al., 2021, p.1).

Figura N° 2. Vegetales contaminados con Cd y Pb

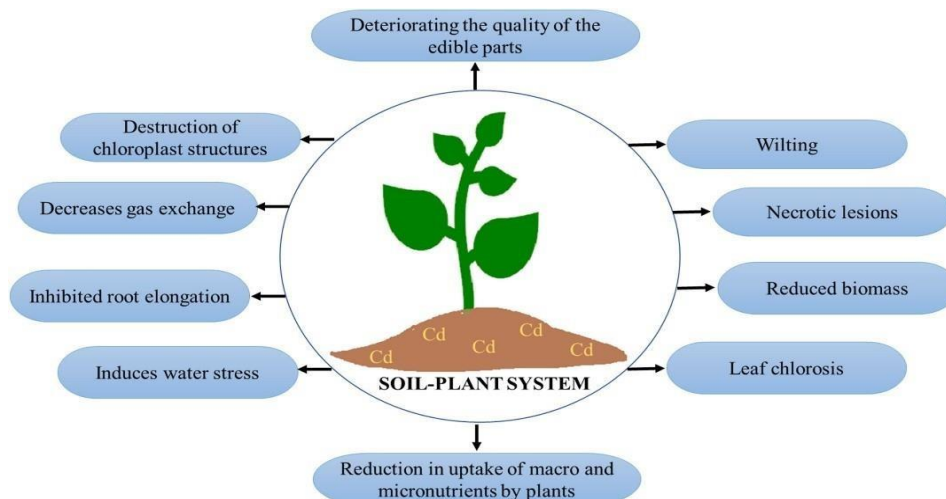


Fuente: Khan A. et al., (2016)

Como se muestra en la figura 2, las plantas agrícolas presentan un alto nivel de iones metálicos, donde el uso prolongado y continuo de vegetales contaminados puede resultar en desnutrición.

A menudo se observa una mayor absorción de metales por parte de los cultivos alimentarios que crecen en esos suelos contaminados; en general, las aguas residuales contienen cantidades sustanciales de nutrientes beneficiosos y a la vez de metales pesados tóxicos, lo que crea un retraso para el desarrollo de la agricultura (Rehman Zahir et al., 2017, p.1). (Ver Figura 3).

Figura N° 3. Efecto de la toxicidad del cadmio en el sistema vegetal



Fuente: Suhani I. et al., (2021)

La acumulación de metales pesados en las plantas depende de las especies vegetales, y la eficiencia de las diferentes plantas en la absorción de metales, donde se evalúa mediante los factores de absorción de las plantas o de transferencia de los metales del suelo a la planta (Cao Suzhen et al., 2016, p.3).

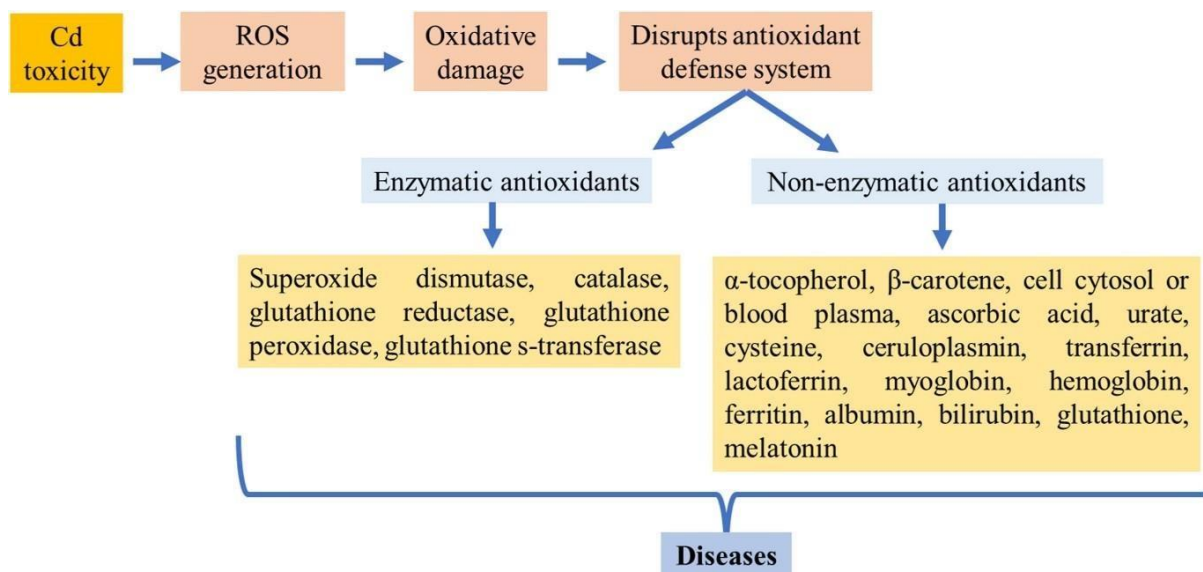
Dicho ello, la materia orgánica del suelo originada por la descomposición de material microbiano, vegetal y animal, desempeña un papel importante en la regulación del Cd y la biodisponibilidad de los metales varía en función de su forma en el suelo, así como de la concentración, la fuente y la calidad fisicoquímica (Shahid M. et al., 2016).

Asimismo, la materia orgánica del suelo (MOS) es importante en la biodisponibilidad de metales pesados como el ion Cd ya que si el suelo tiene mayor contenido de materia orgánica puede incrementar la capacidad de intercambio catiónico (Tripathi,

S. et al., 2020). Si la materia orgánica contiene ácidos húmicos o fulvicos se presentan grupos funcionales (OH, COOH, NH₂, CONH₂, CO, quinonas, etc.), que forman complejos de intercambio (adsorción), de esta forma el metal puede quedar fuertemente retenido, inmovilizado o no disponible para las plantas (Bravo et al., 2014, p.2).

La exposición al Cd puede causar graves efectos en la salud, como cáncer de pulmón, impactos en el sistema reproductivo, gastrointestinales, osteoporosis, próstata, trastornos endocrinos, impactos cardiovasculares. anemia, lesión del sistema nervioso central y enfermedad hepática (Rehman Zahir Ur. Et al., 2016, p.2). como se observa en la figura 4.

Figura N° 4. El efecto de la toxicidad por cadmio en un cuerpo humano



Fuente: Saini S. y Dhanial G., (2020)

La ingesta de Cd debida a la ingestión de cultivos alimentarios contaminados por el medio ambiente se relacionó también con un riesgo potencial de cáncer de mama posmenopáusico (Kubier Andreas et al., 2019, p.1).

Además, existen asociaciones entre la contaminación del suelo por Cd y los riesgos para la salud humana, por ejemplo, la contaminación de los suelos por el río Jinzu de Japón y su relación con la enfermedad "itai-itai" (Liu Yizhang et al., 2017, p.2).

Debido a los impactos generados por toxicidad de cadmio en cultivos agrícolas se plantean diversas estrategias de mitigación; los mecanismos que conducen a la toxicidad del Cd en las plantas se pueden distinguir en dos estrategias, es decir, tolerancia y evitación (Liu Hui et al., 2016, p.2). La estrategia de evitación incluye limitar la absorción de Cd en la planta; el mecanismo de tolerancia en las plantas incluye el almacenamiento y acumulación de Cd al unirlo a péptidos, aminoácidos y proteínas (Abbas Tahir et al., 2017, p.4).

La mayoría de las plantas, incluso en altas concentraciones de Cd, prosperan y producen granos y frutas en suelos contaminados con Cd; algunas plantas

dañadas por la toxicidad del Cd poseen una capacidad hiper tolerante de sus orgánulos y tejidos) (Lata S. et al., 2019, p.3). Las estrategias para lidiar con la toxicidad del Cd involucran la distribución y absorción de Cd y se conocen como hiperacumulación (Younis Uzman et al., 2016, p.1).

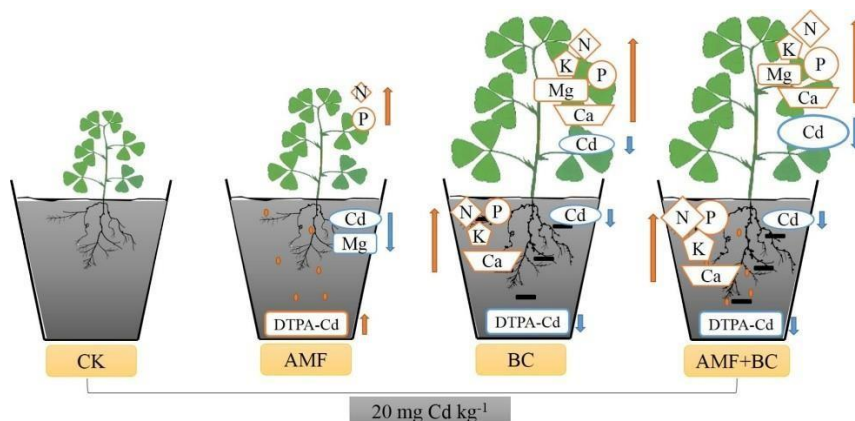
El término hiperacumulador se acuñó para las plantas que absorben activamente cantidades excesivamente grandes de uno o más metales pesados del suelo (Keeran N. et al., 2019, p.2). Estas plantas tienen el potencial de desintoxicar estos metales pesados y pueden sobrevivir en ambientes de estrés por metales extremos y la fitorremediación es quien emplea esta capacidad de las plantas para eliminar los contaminantes de metales pesados del suelo (Usmani Zeba et al., 2019, p.4).

Así mismo, en los últimos años la adición de biocarbón a suelos agrícolas contaminados con Cd ha adquirido mucha importancia; debido que, al ser un material carbonoso poroso natural con una serie de grupos funcionales, formado de manera anaeróbica por un proceso de pirolisis mediante el uso de materiales orgánicos como restos de cultivos (El Naggar A. et al., 2019, p.1).

Siendo así, la aplicación de biocarbón sobre el crecimiento de las plantas y la absorción de metales pesados demostrado que presenta efectos sinérgicos significativos no solo en absorción de nutrientes, sino también en la reducción de la absorción de cadmio de alfalfa cultivada en suelos contaminados con Cd (Ding Yang et al., 2016, p.2). como se muestra en la figura 5.

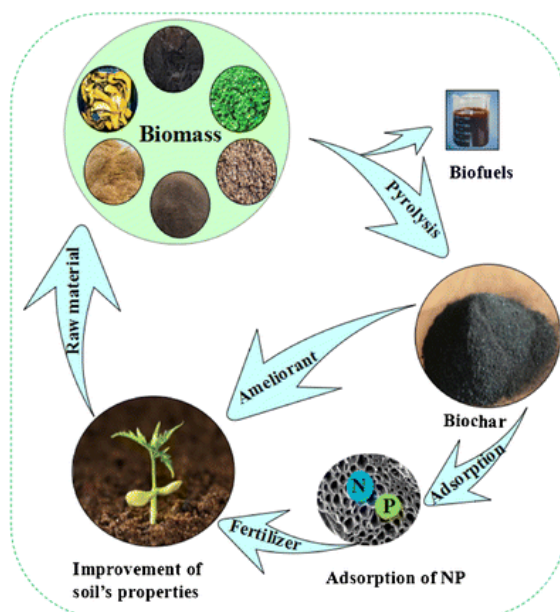
En la cual se llevó a cabo un experimento en macetas para investigar la influencia de la inoculación de HMA, la adición de biocarbón y cadmio (Cd) sobre el crecimiento, la absorción de nutrientes y cadmio de *Medicago sativa.*, así como las características biológicas y químicas del suelo.

Figura N° 5. Aplicación de biocarbón en alfalfa cultivada en suelos contaminados con Cd



La adición de biocarbón es una solución porque se ha demostrado que el biocarbón mejora la fertilidad del suelo, promueve el crecimiento de las plantas, aumenta el rendimiento de los cultivos y reduce la contaminación. Las principales propiedades del biocarbón son las siguientes: gran superficie con muchos grupos funcionales, alto contenido de nutrientes y fertilizante de liberación lenta; siendo el biocarbón un recurso prometedor para el manejo de la fertilidad del suelo. Además, su estructura molecular muestra un alto grado de estabilidad química y microbiana. (Ver figura 6).

Figura N° 6. Beneficios del biocarbón aplicado como herramienta para el manejo de la fertilidad del suelo



Fuente: Shaaban M. et al., (2018).

Las propiedades físicas y químicas del biocarbón dependen en gran medida de la temperatura de pirólisis y los parámetros del proceso, como el tiempo de residencia y la temperatura del horno, así como del tipo de materia prima (Farooq M. et al., 2020, p.39).

Por otro lado, se presentan a continuación los antecedentes:

De con Zhang F. et al., (2019), en su estudio “Efectos de los hongos micorrízicos arbusculares, el biocarbón y el cadmio sobre el rendimiento y la absorción de elementos de *Medicago sativa*”, se llevó a cabo un experimento en macetas para investigar la influencia de la inoculación de HMA, la adición de biocarbón y cadmio (Cd) sobre el crecimiento, la absorción de nutrientes y cadmio de *Medicago sativa*., así como las características biológicas y químicas del suelo. Donde se obtuvo la adición de biocarbón redujo significativamente el Cd extraído con DTPA del suelo y los tratamientos con inoculación de HMA y enmienda de biocarbón mostraron las concentraciones y contenidos más bajos de Cd en los brotes, mayor contenido de N y P en tejido vegetal en el grupo de adición de Cd.

Farooq Muhammad et al., (2020), En su estudio “La aplicación de zinc y biocarbón ayuda a mitigar el estrés por cadmio en el trigo harinero obtenido de semillas con alto contenido intrínseco de zinc”, presentá como metodología experimental: Semillas de trigo, con diferentes concentraciones de zinc intrínseco (Zn): Zn bajo (35 mg kg⁻¹), medio (42 mg kg⁻¹) y Zn alto (49 mg kg⁻¹), se sembraron en suelo contaminado artificialmente (10 mg Cd kg⁻¹ suelo). Zinc (5 g kg⁻¹) y biocarbón (20 g kg⁻¹suelo) se aplicaron solos o en combinación durante la siembra. Obteniendo como resultado que la aplicación combinada de Zn y biocarbón tuvo los mayores incrementos en el rendimiento de grano (9.51%) y la concentración de Zn en grano (12.2%), en relación con el control (sin Cd, sin Zn y sin biocarbón). Este tratamiento también disminuyó las concentraciones de Cd en paja (7,1%) y grano (95,6%). La sola aplicación de Zn o biocarbón mejoró la productividad del trigo y la concentración de Zn del grano y disminuyó la concentración de Cd del grano bajo estrés por Cd, pero más mejoras resultaron de la aplicación combinada de Zn y biocarbón.

Según (Castro, Numa, et al., 2018) en su investigación como objetivo determinar la presencia de Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn y As en la cadena alimentaria de la leche de vaca, producida en zonas donde la alfalfa es cultivada en suelos irrigados con aguas residuales de procedencia industrial, doméstica y agrícola. Mediante la metodología experimenta se tomaron muestras de suelo y alfalfa de 16 lugares en cuatro zonas; La leche fue recolectada de 160 Vacas Mexicanas, el equivalente a 40 vacas de cuatro rebaños diferentes por zona, todo en dos épocas del año y por triplicado. Se calcularon el factor de bioacumulación (BCF), el factor de translocación (TF) y el valor de transferencia de los metales de la planta a la leche. Presentando que las plantas tuvieron un BCF <1 , indicando que la alfalfa es resistente a los metales pesados. Sin embargo, el FT >1 en orden decreciente quedó de la siguiente manera: Zn; Cu; Ni; Pb y Cr, lo que muestra la existencia de gran movilidad de los metales dentro de la planta.

Raven Willwater, (2018). En su investigación evalúa los efectos del contenido de Cd en un medio arenoso sobre el crecimiento de alfalfa y su contenido de Cd, calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), manganeso (Mn), Nitrógeno (N), sodio (Na), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn). Donde la metodología señaló que los tratamientos consistieran en 3 dosis de Cd: 0, 5 y 25 mg kg⁻¹ arena. Las semillas de alfalfa se sembraron en este medio con base en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las plantas se cultivaron durante 60 días con riego y fertilización periódico, donde ninguna de las plantas, expuesta o no a este elemento, mostró deficiencia o exceso de alguno de los minerales examinados. Obteniendo que, la adición de Cd tendió a conducir al enriquecimiento de nutrientes en la materia seca reducida y su enriquecimiento preferencial en la parte aérea a expensas de las raíces; no se observó ningún efecto específico apreciable de este elemento sobre los nutrientes minerales evaluados.

Sepehri, M., Khatabi, B., (2021), este estudio evaluó la efectividad de los microorganismos productores de sideróforos (SPM), pertenecientes a los géneros bacterianos Rhizobium y Pseudomonas y un hongo endofítico de la raíz (Piriformospora indica) para mejorar la aptitud de la alfalfa bajo estrés por cadmio (Cd). Como metodología, se realizó un experimento de invernadero con diseño

aleatorio con arreglo factorial de tratamientos. Los tratamientos incluyeron inoculaciones microbianas (*Sinorhizobium meliloti*, *Pseudomonas fluorescense* y *P. indica*) y diferentes concentraciones de Cd (0, 2, 5, 10 mg / kg) con tres repeticiones en medios para macetas que contienen arena y perlita estéril. Obteniendo como resultado que la alfalfa inoculada con SPM mostró una absorción de biomasa y nutrientes significativamente mayores tanto en condiciones normales como de estrés por Cd que los controles. Bajo la concentración más alta de Cd (10 mg / kg), las plantas de alfalfa inoculadas con *P. fluorescens* y *P. indica*, ya sea solas o en combinación, mostraron los pesos secos de brotes más altos. Demostramos que *P. indica*, ya sea sola o en combinación con las bacterias productoras de sideróforos (SPB), minimizó la toxicidad del Cd mediante una mayor tasa de crecimiento y la menor concentración de Cd en los brotes.

Gutsch et al., (2019), en su estudio de investigación realizó la composición de la pared celular y la estructura de los tallos de *Medicago sativa* después de una exposición prolongada al Cd. El suelo se preparó como un lote compuesto de 2/3 de tierra para macetas mezclada con 1/3 de arena. La mitad del suelo preparado estaba contaminado con Cd aplicado como CdSO₄ una concentración final de 10 mg de Cd por kg de peso seco del suelo. Las plantas se sembraron en mayo de 2015 en 12 veces 12 macetas para cada condición. Las plantas se mantuvieron en el invernadero hasta que se alcanzó la etapa de floración y posteriormente se cortaron de manera similar a la práctica agrícola. Para el período de rebrote, las plantas se mantuvieron al aire libre hasta que se alcanzó la etapa de prefloración, seguida de una semana más en el invernadero antes del muestreo final (10 de septiembre de 2015). Obteniendo que, la exposición prolongada al Cd condujo a una mayor abundancia de proteínas relacionadas con las defensas, sin embargo, se refleja la respuesta general al estrés de la planta y parece ser bastante inespecífico.

Liu Ling et al., (2018), En su artículo de investigación "Efectos de la inoculación de micorrizas arbusculares y la enmienda de biocarbón sobre el crecimiento del maíz, la absorción de cadmio y la especiación de cadmio del suelo en suelos contaminados con Cd", presentó como objetivo comprender cómo la inoculación

de micorrizas arbusculares (AM) o la aplicación de biocarbón afectan el crecimiento de las plantas y la absorción de metales pesados. Donde el método experimental consistió en realizar un experimento de mesocosmos para investigar el efecto de la inoculación de AM (*Glomus intraradices*) y / o la enmienda de biocarbón de paja de trigo en el maíz (*Zea mays*L.), actividades enzimáticas antioxidantes y absorción de Cd, así como la especiación de Cd en el suelo bajo aplicaciones de 0, 3, 6 mg de Cd por kg de suelo. Obteniendo como resultado que, la modificación del suelo con inoculante AM y biocarbón en conjunto produjo el mayor aumento en el crecimiento del maíz y la disminución de las concentraciones de Cd en los tejidos. Este efecto fue aditivo, con 79.1% mayor biomasa, 51.42%, 82.91%, 43.96% más actividades de superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD), catalasa (CAT), y 50.06%, 67.19%, 58.04% y 76.19% concentraciones más bajas de Cd en raíces, tallos, hojas y mazorcas, respectivamente, a 6 mg kg⁻¹Tasa de contaminación por Cd.

Liu, M., et al, (2017), en su estudio explora si la disponibilidad de nitrógeno podría influir en la función de las micorrizas y sus asociaciones con plantas hospedantes en suelos ácidos contaminados con Cd o no. Llevando a cabo un estudio experimental en el cual se realizó un experimento en macetas de invernadero para evaluar los efectos de la inoculación micorrízica (inoculación no micorrízica (NM), *Glomus aggregatum* (Ga), *G. tortuosum* (Gt) y *G. versiforme* (Gv)) y la enmienda de N inorgánico en el crecimiento, absorción de nutrientes y Cd de *Medicago sativa* cultivada en suelos ácidos contaminados con Cd (10 mg Cd kg⁻¹tierra). Obteniendo como resultados que el fertilizante N solo elevó el rendimiento de la planta de alfalfa con inoculación de Gt cultivada en suelo ácido, al diluir la concentración de Cd y aliviar la deficiencia de nutrientes, especialmente P.

Elouear, Z., et al., (2016), en su artículo evalúa los efectos del uso de KCl y estiércol de ovino, sobre el crecimiento y acumulación de metales pesados de alfalfa en un suelo de mina de Cd, Pb y Zn. Como metodología se examinó el efecto de la aplicación de fertilizantes, es decir, fertilizante orgánico como estiércol de oveja local y fertilizante inorgánico como cloruro de potasio (KCl), sobre el crecimiento, absorción y translocación de Cd, Pb y Zn de alfalfa

(*Medicago sativa* L.) cultivado en un suelo contaminado. Concluyendo que la alfalfa cultivada en suelo tratado con estiércol de oveja redujo la movilidad del Cd en un 57% en comparación con un control.

Rezaeian Mohammad, et al., (2019), Es comparar el valor nutricional de la alfalfa y la acumulación de metales pesados en las explotaciones cercanas y lejos de las regiones industrial y determinar el contenido de nutrientes de alfalfa. Las concentraciones de plomo y cadmio fueron superiores a la concentración máxima permitida en el suelo agrícola en las zonas cercanas a la región industrial; sin embargo, la acumulación de estos metales en la alfalfa fue inferior a los niveles de riesgo para el ganado y las plantas. Los resultados de este estudio pueden aplicarse como un importante programa de control en diferentes áreas.

Agnello al et., (2016) En su estudio se evaluó el potencial fitorremediador de la alfalfa en suelos contaminados con niveles moderados de HM y PH. Presentó objetivo principal evaluar los efectos y aplicaciones individuales y combinadas de cítricos y tween 80 para el posible uso de fitorremediación químicamente en fitorremediación. Presentando como metodología experimenta; tratamiento duró 90 días, la biomasa de brotes y raíces aumentó y las plantas murieron. Donde los resultados mostraron que las poblaciones microbianas (degradantes de alcanos) y activas (enzima lipasa) aumentaron el soporte de la alfalfa con efectos sobre los rizomas en 9.1 y 1.5 veces, respectivamente, después de 90 días, por lo tanto, el ácido cítrico y tween 80 mejoraron los microorganismos degradantes de alcanos (2,4 veces) y actividad lipasa (5,3 veces) en la rizósfera después de 30 días de prueba. Concluyendo así que una respuesta favorable de la alfalfa en términos de tolerancia al suelo co-contaminado y mejor número y actividad microbiana en la biosfera, mejorada aún más por la aplicación conjunta de la planta. Ácido cítrico y tween 80, que pueden ser prometedores para futuras plantas aplicaciones de tratamiento.

Abbas T. et al., (2018), En su investigación “Efecto del biocarbón en el alivio de la toxicidad por cadmio en trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en suelo salino contaminado con Cd”, presenta como objetivo realizar un estudio de cultivo del suelo para evaluar el efecto de BC sobre el trigo (*Triticum aestivum*L.)

crecimiento, biomasa y reducción de la absorción de Cd y sodio (Na) cultivados en suelo salino contaminado con Cd en condiciones ambientales. En el cual obtuvo como resultado que la aplicación de biocarbón mejoró el crecimiento de la planta y redujo la absorción de Cd y Na excepto en plantas tratadas con mayor BC y estrés salino (5.0% BC + 50 mM NaCl); además la aplicación de biocarbón redujo el estrés oxidativo en las plantas y modificó las actividades de las enzimas antioxidantes y redujo el Cd biodisponible bajo estrés salino.

Raklami A. et al., (2021), En su estudio, el nuevo método se basa en la fitotoxicidad y genotoxicidad de metales pesados como Cu, Pb y Zn en semillas de *M. sativa* y destaca el papel beneficioso de las rizobacterias en la reducción del estrés relacionado con metales pesados. Presentó como método experimental: Una solución de Cu, Pb y Zn, 0.5, 1, 5, 2 y 2.5 mM durante días sin tratamiento de agua destilada. Además, el Cu a una tasa de 2.5 mM inhibió la germinación de la semilla en un 95%, la longitud de elongación de la raíz disminuyó de 2.25 (control) a 0.1, mientras que el índice mitótico disminuyó en un 155%. Obteniendo como resultados que la inoculación de rizobacterias resistentes a los metales mejoró la germinación en un 0% para Cu y un 2 % para Zn. Por tanto, la aplicación de bacterias resistentes a los metales ha reducido la toxicidad de los metales pesados. *Medicago sativa* es una planta eficaz para la fitorremediación.

Peng-peng Xiong et. al., (2018), En su investigación, “*Medicago sativa* L. mejora la fitoextracción de cadmio y zinc por *Ricinus communis* L. en tierras contaminadas in situ”. Presentó como objetivo determinar los efectos fitoextractivos de la plantación conjunta de *Ricinus communis* y / o leguminosas en suelos contaminados con Cd y Zn. Donde realizó como método experimental seleccionar para el experimento un sitio de reubicación de una fábrica contaminada con Cd y Zn en Shanghai, y de acuerdo con los resultados de una evaluación de riesgo ecológico potencial de los metales pesados, el área de estudio se dividió en 3 niveles de contaminación: leve, moderada y alta. Donde los resultados mostraron que la presencia de *Medicago sativa* puede aumentar significativamente la altura y biomasa de *R. communis*, y hubo un mayor impacto en el contenido de clorofila de *R. communis* a niveles más altos de

contaminación. Las diferencias en los niveles de contaminación podrían cambiar significativamente el contenido de aceite de las plantas de *R. communis*, pero *M. sativa* puede aliviar el impacto de los metales pesados. La presencia de *M. sativa* aumentó la cantidad acumulada de cadmio y zinc en *R. communis* en 1,14 y 2,19 veces, respectivamente.

Sohail M. et al., (2019), en su estudio científico "Abonos orgánicos para la tolerancia y remediación del cadmio", presentó como resultados que la formación de complejos insolubles y la adsorción con materia orgánica sólida da como resultado una movilidad reducida del Cd. Concluyendo que; al contenido de carbono altamente humificado en los abonos, estos pueden potencialmente influir en la capacidad de absorción e inmovilización de los componentes del suelo para el Cd.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación tipo aplicado es aquella que tiene como finalidad usar las teorías y los conocimientos para crear modelos que puedan usarse o predecir fenómenos a suceder (Gutiérrez, 2016, p.1). Debido a ello, el presente estudio tiene un tipo de investigación aplicada, ya que, nos sirvió en la solución de investigación que reúne información para confeccionar un diseño de investigación la cual se utiliza en procedimientos prácticos con el fin de saber más sobre los resultados obtenidos.

El diseño es cualitativo lo cual es detallado en la investigación narrativa descrita por Blando M., (2011, p.138), al como el método de investigación que se describe por los hechos que se dan en los trabajos de investigación apoyándonos a entender el problema; la cual es una esencia principal de enfoque a las experiencias y resultados obtenidos por los autores de dichos trabajos. Indicando que el diseño narrativo está siendo aplicado en la presente investigación donde se describe e interpreta el diseño experimental de las diferentes investigaciones que abordadas en nuestra revisión sistemática.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

Para identificar las categorías y subcategorías, se definieron por temas que permitieron distinguirlos entre sí para que fueran lo más detallados posible. Estas categorías y subcategorías eran a priori en el sentido de que se desarrollaron antes de la recopilación de datos y surgieron del estudio mismo a medida que se desarrollaba esta investigación.

Tabla N° 2. Matriz de categorización apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2
Analizar los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas	¿Cuáles son los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas?	Impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas Liu m, et al.,(2017)	Por los efectos presentados en las plantas Por el nivel de cadmio Saha et al.,(2017).	De acuerdo a la especie de planta	De acuerdo a las condiciones experimentales
Clasificar la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas	¿Cuál es la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas?	Estrategia más empleada Cao Suzhen et al., (2016)	Biocarbón Reguladores Abono El Naggar A. et al., (2019).	De acuerdo a la materia prima empleada	De acuerdo al tipo de aplicación
Definir la mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación	¿Cuál es la mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación?	Mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas Saha et al., (2017)	Por el porcentaje de remoción Por el efecto sobre la planta Tripathi, s. et al., (2020)	De acuerdo a la estrategia empleada	Por las especies de plantas

3.3. Escenario de estudio

Por ello la investigación no cuenta con un escenario de estudio específico ya que se trata de una revisión bibliográfica; sin embargo, se consideran los lugares donde se realizaron los estudios experimentales de cada antecedente recopilado de los diversos artículos científicos, donde se han considerado el uso de centros de investigación para los análisis fisicoquímicos y biológicos.

3.4. Participantes

En esta investigación narrativa de escenarios en común se menciona que los participantes están constituidos por fuentes de información de distintos artículos indexados de ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, Spinger, Dialnet, ya que estos buscadores son más confiables garantizando que mantengan la calidad de contenido existente además se utilizaron información libros electrónicos nacionales e internacionales.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio cabe especificar recalcar que la técnica usada para la recopilación de datos de los artículos responde a los objetivos específicos y al objetivo general con el fin de sintetizar la información; es así que se utiliza el análisis documental como técnica del estudio.

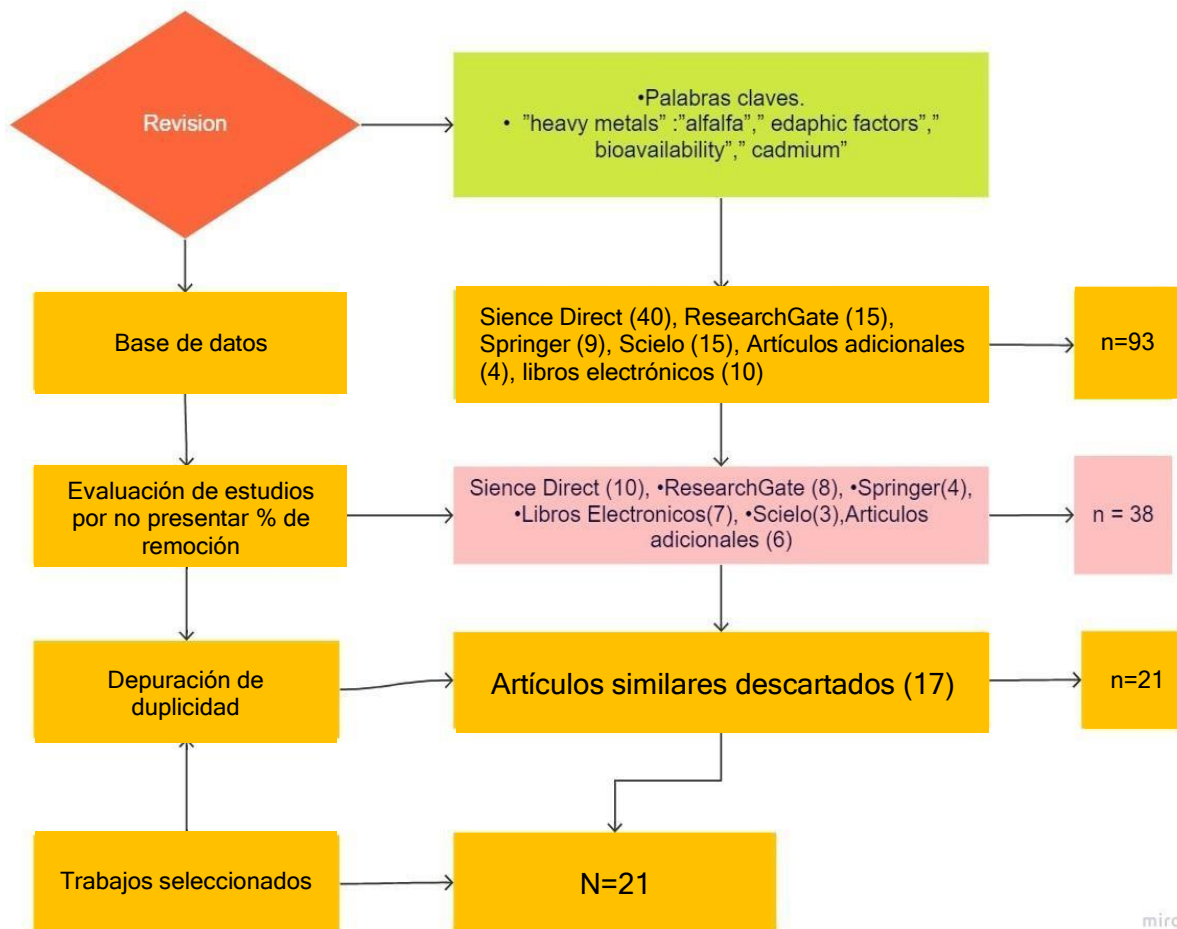
Por lo tanto, en la presente investigación se recopiló diferentes tipos de investigaciones como revistas nacionales e internacionales usando la ficha de contenido, como instrumento de recolección; de igual manera se encuentran en el Anexo 1. Por consiguiente, queda detallada la información sobre estrategias de mitigación de los impactos generados por toxicidad de cadmio en cultivos agrícola, seleccionando datos de cada investigación como: referencias del autor, objetivo, metodología, los resultados y conclusiones.

3.6. Procedimiento

El procedimiento de un trabajo de investigación de los pasos que se siguen para desarrollar el trabajo y las cuales utilizan palabras claves para identificar los artículos. Como: "cadmium", "strategies", "alfalfa", "edaphic factors" "crops",

agriculture”, “heavy metals”, “bioavailability”, se muestran a continuación (Ver figura 7).

Gráfico N° 1. Procedimiento del proyecto de investigación



3.7 Rigor científico

La credibilidad se da a través de observaciones y estudios a largo plazo de los artículos de estudio que recopilan información que hace descubrimientos o síntesis usando factores de confiables y validez de diseño, metodología, herramientas y recolección de datos. (Hernández, 2014, p. 455).

La credibilidad se aplica comparando los resultados, ya que pueden ser iguales o similares, realizados por diferentes autores en su investigación. Por esta razón, la información obtenida ha sido recopilada de revistas indexadas como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, Springer, Dialnet como lo tanto los resultados de los artículos científicos revisados son verdaderos y respaldados.

El criterio de transferencia hace referencia a transferir correctamente los conocimientos que puede poseer el estudio, es decir, la transferencia no lo hace el investigador, sino el lector verificando que la información sea relevante que pueda emplear en su contexto (Arias y Giraldo,2011, p.503)

El criterio de confirmación refiere a la neutralidad en el análisis e interpretación de la información que utilizaremos como apoyo en la investigación, donde la presente investigación tomará los datos obtenidos para servir como base para futuras investigaciones. (Pujals P., Enrique A., 2012, p. 880)

3.8 Método de análisis de información

El método de análisis de datos se realizó organizando la información recopilada para el análisis mediante categorías teniendo en cuenta los objetivos de la presente investigación y el método de triangulación.

Siendo entre las categorías definidas:

- Impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas
- Estrategia más empleada
- Mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas

3.9 Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se considera en la información adquiridos en la revisión sistemática; las cuales fueron artículos científicos, libros de distintos autores, así mismo la recolección de diferentes plataformas virtuales, por lo cual se realiza las referencias bibliográficas en el estilo ISO 690-2. Teniendo en cuenta, que se cumpla en código de ética de la universidad cesar vallejo 2020.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al presente estudio; que tiene como finalidad determinar cuáles son los aspectos más relevantes de las estrategias de mitigación y los impactos generados por toxicidad en cultivos agrícolas; se buscó resolver 3 problemas específicos; para lo cual el primero se detalla a continuación:

4.1. Análisis de los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas

Tabla N° 3. Impactos en cultivos agrícolas generados por la toxicidad de Cd

Especies de plantas	Nivel de	Condición experimental cadmio			Efectos	Fuente
		Tipo de experimento	Medio	Duración		
Guisante	220 ppm de CdSO ₄	Experimento de olla	Medio de cultivo arena	de 1 mes	Minimizó significativamente la clorosis de las hojas e inhibió la germinación de las plantas.	Baruah y col. (2019)
Arroz	400 µM de CdCl ₂	Placas de petri	Hidropónico	1 mes	Aumentó el contenido de prolina en las hojas, disminuyó significativamente la tasa de germinación, el contenido de almidón, el azúcar total y la actividad fotosintética.	Jali y col. (2016)
Trigo	2,86 mg ⁻¹ Cd en suelo	Experimento de maceta bajo invernadero	Suelo contaminado	seis kg meses	Crecimiento de raíces inhibido, longitud y alto contenido de Cd en el grano.	Abbas y col. (2017)

Trigo	220 ppm de CdSO 4	Experimento de olla	Medio cultivo de arena	de	1 mes	Germinación de semillas minimizada e inhibición del crecimiento de plantas.	de Baruah y col. (2019)
Hierba mora negra	100 mg kg ⁻¹ Cd Cl 2	Experimento de maceta bajo invernadero	Suelo contaminado		2,5 meses	Reducción de la biomasa de raíces y brotes.	Liu y col. (2016)
Alfalfa	10 mg kg ⁻¹ Cd Cl 2	Experimento de maceta bajo invernadero	Arena de río	de	5 meses	Reducción significativa de la nodulación, elongación, absorción de nutrientes y biomasa de las raíces.	Liu y col. (2017)
Alfalfa	20 mg kg ⁻¹ Cd 2	Experimento de maceta bajo invernadero	Arena de río	de	3 meses	Alta absorción de Cd, longitud radicular reducida, formación de nódulos y biomasa vegetal.	Zhang y col. (2019)
Maíz	6 mg kg ⁻¹ Cd 2	Experimento de maceta bajo invernadero	Medio suelo	de	3 meses	Altura mínima de la planta, peso fresco, tasa de transpiración y actividad fotosintética.	Liu y col. (2018)
Cebada							
Tomate	1,2 mg kg ⁻¹ Cd de lodos de depuradora	Experimento de campo	Suelo contaminado	de	6 meses	Reducción del rendimiento de los cultivos y aumento del contenido de Cd en el grano.	Moreno Jimenez et al. (2016)
	220 ppm de CdSO 4	Experimento de olla	Medio cultivo de arena	de	1 mes	Reducción de la germinación de las semillas, el alargamiento de	Baruah y CdSO

						las raíces y el crecimiento de las plantas.	col. (20 19)
Espinas	100 mg kg ⁻¹ Cd Cl ₂	Experimento de maceta bajo invernadero	Suelo contaminado	2 meses		Alto contenido de Cd en hojas e inhibición del crecimiento y desarrollo de las plantas.	Younis y col. (20 16)

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 3 para analizar los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas, se detalló los efectos presentados por nivel de Cd, de acuerdo a cada tipo de especie agrícola contaminada; donde se obtuvo que los mayores impactos se dan en la inhibición y germinación de las plantas; donde la inhibición de las plantas en brotes, raíces, hojas y la disminución significativamente de la tasa de germinación de la plantas y las semillas son los mayores impactos generados en 11 de los 34 estudios literarios analizados; detallándolos en la tabla 3.

Ello debido a que la toxicidad del cadmio provoca la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y da como resultado daños en las membranas de las plantas y destrucción de biomoléculas y orgánulos celulares, generando que estos continúen con su crecimiento normal (Abbas et al., 2017, p.5).

Esto es corroborado por Baruah y col. (2019), donde menciona que la especie de plantas de guisantes tubo una concentración de 220 ppm de Cd por un mes y presentó minimización significativamente la clorosis de las hojas e inhibió la germinación de las plantas.

Así mismo, Liu y col. (2017) y Zhang y col. (2019), realizaron estudios en los cuales la alfalfa fue el cultivo agrícola contaminado con Cd, en concentraciones de 10 mg kg⁻¹ CdCl₂ y 20 mg kg⁻¹ CdCl₂; con tiempos de 5 y 3 meses respectivamente; presentando ambos reducción significativa de la nodulación, elongación, absorción de nutrientes, biomasa de las raíces y longitud radicular reducida, formación de nódulos y biomasa vegetal.

Por su parte Jali et al., (2016), afirma que en las plantas la clorosis y el crecimiento desviado son síntomas fácilmente identificables causados por la toxicidad del Cd; como lo demuestra en su estudio científico, en el que el arroz con presencia de 400 μM de CdCl_2 en un estudio de placa petri obtuvo la disminución significativa de la germinación de la planta y la actividad fotosintética, entre otros.

Esto es apoyado por Rizwan et al., (2016, p.1), quien explica que la exposición al Cd en el suelo presenta un impacto negativo en las plantas induciendo al estrés osmótico en las plantas al minimizar el contenido relativo de agua de las hojas, la conductancia estomática y la transpiración, lo que resulta en daños fisiológicos a las plantas.

De igual manera los estudios son respaldados por: Younis y col. (2016), Baruah y col. (2019), Moreno Jimenez et al. (2016), Liu y col. (2018), Zhang y col. (2019), Liu y col. (2017), Liu y col. (2016).

4.2. Clasificación de la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas

Por otro lado, para determinar cuáles son los aspectos más relevantes de las estrategias de mitigación y los impactos generados por toxicidad en cultivos agrícolas se buscó clasificar las estrategias más empleadas, detallando los resultados en las tablas 4, 5 y 6.

Tabla N° 4. Biocarbón como estrategia para mitigar los impactos por Cd

Materia prima	Tasa de aplicación %	Temperatura de pirólisis de biocarbón, °C	Especies de plantas	Eficacia de eliminación de cadmio, %	Partes específicas	Efectos sobre las plantas	Referencia
Bambú	5	600	Amaranto	49	Tallo y hojas	Se redujo la disponibilidad de Cd y se mejoró la biomasa total de la planta.	Shaaban y col. (2018)
Trigo	5	450	Trigo	28	Grano	Mejor contenido de silicio en los tejidos vegetales, minimizó el estrés oxidativo en los brotes y mejoró la actividad fotosintética	Abbas y col. (2017)
Trigo	3	500	Repollo	73	Hoja	Reducción de la toxicidad del Cd y mejora del crecimiento y la productividad de los cultivos.	Bashir y col. (2018)
Bagazo de caña de azúcar)	1,5	500	Frijol mungo	63	Madre	Mejora de la formación de nódulos, actividad microbiana en el suelo y mejora del crecimiento general de las plantas.	Bashir y col. (2017)
Tomate	5	500	Nabo	34	Madre	Mejor disponibilidad de micronutrientes y biomasa vegetal.	Yasminy col. (2017)
Algodón	5	450	Espinacas	31	Hoja	Estrés oxidativo minimizado en brotes y aumento de enzimas antioxidantes y actividad fotosintética.	Younis y col. (2016)
Total de estudios aplicando biocarbón como estrategia							6

Elaboración propia

Tabla N° 5. Abono y/o Compost como estrategia para mitigar los impactos por Cd en las plantas

Tipo de estiércol / compost	Rango de aplicación	Especies de plantas	Eficacia de eliminación de cadmio,%	Efectos sobre las plantas	Referencia
Estiércol de oveja	10% p / p	Alfalfa	55	Conductividad eléctrica mejorada y reducción de la concentración de Cd extraíble con DTPA en el suelo.	Elouear y col. (2016)
Estiércol de cerdo	240 m ³ hm ⁻²	Arroz	34	Reducción de la translocación de Cd de las hojas al grano y mejora del contenido de almidón, rendimiento y calidad de los cultivos.	Huang y col. (2016)
Estiércol de cerdo y paja de trigo	5% p / p	Espinacas	95,7	Mayor concentración de ácido húmico en el suelo que resultó en una mejora de la actividad antioxidante en las plantas.	Shan y col. (2016)
Estiércol de vaca	80 g / bote	Arroz	18,75	Mejóro el rendimiento de grano y paja y minimizó la absorción de Cd en el grano.	Ullah y col. (2017)
Estiércol de aves de corral	80 g / bote	Arroz	29,17	Mejóro el rendimiento de grano y paja y minimizó la absorción de Cd en el grano.	Ullah y col. (2017)
Total de estudios aplicando abono y /o compost como estrategia					5

Elaboración propia

Tabla N° 6. Reguladores como estrategia para mitigar los impactos por Cd en las plantas

Regulador de crecimiento vegetal	Rango de aplicación	Especies de plantas	Eficacia de eliminación de cadmio, %	Efectos sobre las plantas	Referencia
Epibrasinolida	1 µM	Guisante	49	Mejora de la actividad antioxidante, biomasa vegetal y la producción de cultivos.	Jan y col. (2018)
Etileno	1 mM	Mostaza	82	Área foliar mejorada, actividad fotosintética y biomasa vegetal.	Khan y col. (2016)
Melatonina	100 µM	Tomate	33	Mayor contenido de clorofila y actividad fotosintética en plantas.	Hasan y col. (2019)
Ácido salicílico	1 mM	menta	38	Mejora la actividad de Rubisco y reduce el estrés oxidativo en plantas.	Ahmad y col. (2018)
Ácido salicílico	20 µM	Pgymy water lily	20	Mayor contenido de prolina y actividad antioxidante en plantas.	Gu y col. (2018)
Ácido salicílico	50 µM	Lenteja de agua	38	Mejoró la síntesis de proteínas de choque térmico contra el estrés en las plantas.	Lu y col. (2018)
Ácido salicílico	0,01 mM	Mostaza	64	Conductividad estomática mejorada y actividad fotosintética en plantas.	Faraz y col. (2020)
Ácido salicílico	200 µM	Arroz	43	Producción minimizada de óxido nítrico y	Mostofa y col. (2019)

				ROS y mejor contenido de SOD y CAT en plantas.	
Ácido salicílico	600 µM	Papa	42	Redujo la generación de ROS y peroxidación lipídica y mejoró la síntesis de SOD y CAT en plantas.	Li y col. (2019)
Ácido salicílico	0,5 mM	Trigo	50	Mejó la síntesis de proteínas de choque de estrés en plantas.	Tajti y col. (2019)
Total de estudios aplicando reguladores como estrategia					10

Elaboración propia

De acuerdo a la clasificación de los estudios realizados en las tablas 4, 5 y 6 para determinar la estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas se tiene que 10 del total de los investigadores aplican reguladores como estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas, seguido del biocarbón, quien fue empleado por 6 de los investigadores y por último el abono y/o compost quien fue usado 5 veces como estrategia para mitigar los impactos que genera el ion Cd en los cultivos agrícolas.

Ello es debido a que, los reguladores del crecimiento de las plantas juegan un papel importante en el mantenimiento de la morfología de las plantas, el cierre de las estomas, la floración y el crecimiento con respecto al papel fisiológico de las plantas; ayudando a que los impactos generados en las plantas sean menos (Sytar Oksana et al., 2019, p.2).

Esto es corroborado por Mohamed R. et al., 2018, p.2), quien demuestra que la aplicación exógena de reguladores del crecimiento de las plantas crea resistencia contra muchas tensiones en las plantas.

Además, el ácido salicílico es el regulador más usados por 10 de los autores; siendo corroborado por: Ahmad y col. (2018), Gu y col. (2018), Lu y col. (2018), Faraz y col. (2020), Mostofa y col. (2019), Li y col. (2019), Tajti y col. (2019).

Así mismo, de acuerdo con Khan y col. (2016), ciertas vías formadas por las plantas para hacer frente a la exposición al Cd están vinculadas a algunas moléculas de señalización de estrés, es decir, ácido jasmónico, jasmonato de metilo, ácido húmico, ácido salicílico, etileno y óxido nítrico.

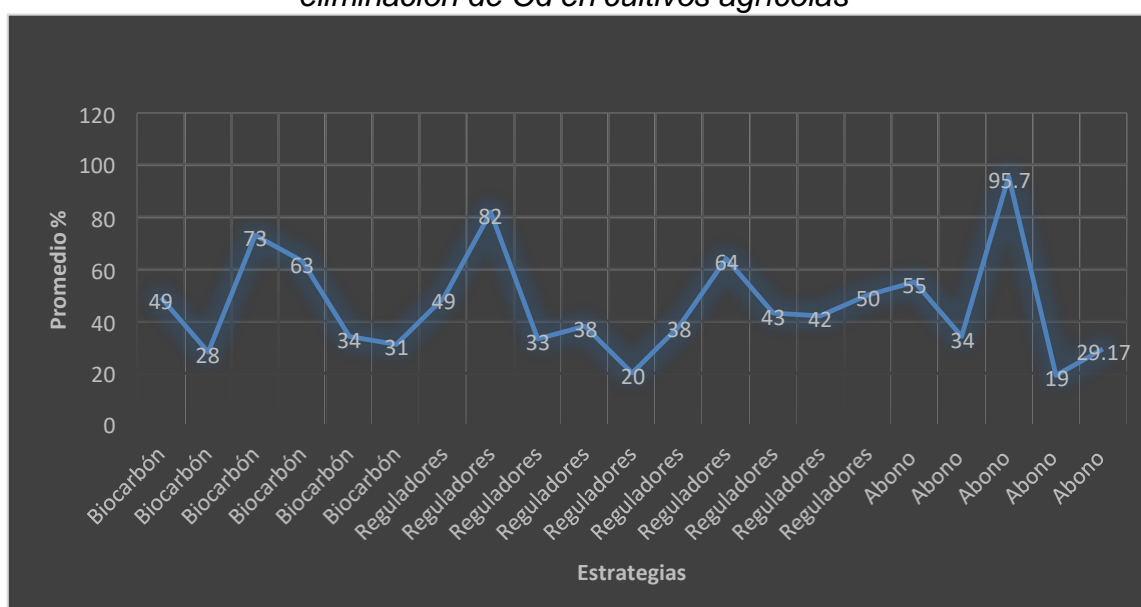
Estas afirmaciones son contrastadas por, Mientras que Jan y col. (2018), quien usó como regulador al epibrasinolida. Así mismo, Khan y col. (2016), con el etileno y Hasan y col. (2019), con la melatonina.

Por otro lado, los resultados presentados en la tabla 6 son confrontadas por Shaaban y col. (2018), quienes afirman que la incorporación de biocarbón minimiza la disponibilidad de Cd y su acumulación y toxicidad en plantas biocarbón derivado de cualquier tipo de materia prima, disminuyendo los impactos generados en los cultivos agrícolas.

Esto es también respaldado por: Shaaban y col. (2018), Abbas y col. (2017), Bashir y col. (2018), Bashir y col. (2017), Yasmin y col. (2017), Younis y col. (2016).

4.3. Eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategiasde mitigación

Gráfico N° 2. Promedio de la eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas



De acuerdo al gráfico 2, para definir la mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación se tiene que presentan un promedio general de 40 a 60%.

En la aplicación del biocarbón de la tabla 4 en su mayoría los porcentajes de remoción de las plantas con Cd son de 49, 28, 73, 63, 34, 31; que, aunque no son muy altos presentan efectos positivos sobre las plantas; esto lo confirma Shaaban y col. (2018); quien presentando un porcentaje de remoción del 49%, redujo la disponibilidad de Cd y se mejoró la biomasa total de la planta. Así mismo, Abbas y col. (2017), obtuvo un 28% de remoción en los granos de plantas de trigo generando como efecto en la planta un mejor contenido de silicio en los tejidos vegetales, minimizó el estrés oxidativo en los brotes y mejoró la actividad fotosintética.

También están los autores Bashir y col. (2018) y Younis y col. (2016) quienes tuvieron un porcentaje de remoción del 63% y 73% en las hojas de trigo y un 31% en las hijas de algodón; donde los efectos de las plantas fueron: reducción de la toxicidad del Cd y mejora del crecimiento y la productividad de los cultivos; y Estrés oxidativo minimizado en brotes, aumento de enzimas antioxidantes y actividad fotosintética, respectivamente.

Así mismo, los resultados son respaldados por Xie M. et al., (2015, p.4), quien, en su estudio práctico de campo de 4 años, indica que la adición de estiércol de cerdo al suelo contaminado con Cd redujo el contenido de Cd en el tallo, la hoja y el grano de arroz en un 44%, 36,4% y 37,5%, respectivamente; lo cual demuestra que, si presentó porcentajes de remoción, aunque no es grandes cantidades.

Así también, se encuentra Elouear y col. (2016), en el gráfico 2 respecto a la tabla 5, muestra que el estiércol de oveja con un rango de aplicación del 10% a la alfalfa contaminada con Cd presentó un porcentaje de eliminación del 55%.

Mientras que estos resultados son rechazados por Shan y col. (2016), quien afirma que usando Estiércol de cerdo más paja de trigo con un 5% de aplicación del estiércol en la espina con Cd, obtuvo un 95,7% de remoción; presentado en el suelo mayor concentración de ácido húmico en el suelo que resultó en una mejora de la actividad antioxidante en las plantas.

V. CONCLUSIONES

- Los mayores impactos generados por la toxicidad de Cd en cultivos agrícolas se detallaron por los efectos presentados por nivel de Cd y de acuerdo a cada tipo de especie agrícola contaminada, donde se obtuvo que los mayores impactos se dan en la inhibición y germinación de las plantas; donde la inhibición de las plantas en brotes, raíces, hojas y la disminución significativamente de la tasa de germinación de la plantas y las semillas son los mayores impactos generados en 11 de los 34 estudios literarios analizados
- La estrategia más empleada para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas son el biocarbón, el abono y los reguladores; teniendo que 10 del total de los investigadores aplican reguladores como estrategia más empleadas para la mitigación de los impactos generados por toxicidad de Cd en cultivos agrícolas, seguido del biocarbón, quien fue empleado por 6 de los investigadores y por último el abono y/o compost quien fue usado 5 veces como estrategia para mitigar los impactos que genera el ion Cd en los cultivos agrícolas; ello es debido a que, los reguladores del crecimiento de las plantas juegan un papel importante en el mantenimiento de la morfología de las plantas, el cierre de las estomas, la floración y el crecimiento con respecto al papel fisiológico de las plantas.
- La mayor eficiencia de eliminación de Cd en cultivos agrícolas por las diversas estrategias de mitigación se da en la aplicación de reguladores como estrategia de mitigación; además el total de las estrategias presentan un promedio de remoción de Cd en las plantas en un rango de 30 a 60%; que aunque los porcentajes no son muy altos en la mayoría los efectos que presentan en las plantas son significativas, como la mejora del crecimiento de las partes de las plantas, mayor contenido de clorofila y actividad fotosintética en plantas.

ςI. **RECOMENDACIONES**

- ςII. La misma investigación también debe realizarse en un campo determinado donde se puedan ver los resultados en condiciones ambientales y biológicas reales; ya que, puede variar los experimentos simulados en un laboratorio que en campo.
- ςIII. Se recomienda realizar estudios comparativos aplicando sustancias químicas para la activación del biocarbón; ya que estudios con carbón activado han demostrado presentar mejores resultados que un biocarbón sin un compuesto que active el biocarbón.
- IE. Se recomienda promover en mayores estudios con reguladores, realizando combinaciones que puedan presentar mejores resultados, y generar rangos de eficiencia con para determinar que regulador es el más apto para aplicarlo como estrategia de mitigación.

REREFERENCIAS

1. ABBAS, Tahir, et al. Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on Cd-contaminated saline soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 26, p. 25668-25680. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8987-4>
2. ADAMO, Paola; AGRELLI, Diana; ZAMPELLA, Mariavittoria. Chemical speciation to assess bioavailability, bioaccessibility and geochemical forms of potentially toxic metals (PTMs) in polluted soils. En *Environmental geochemistry*. Elsevier, 2018. p. 153-194. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63763-5.00010-0>
3. ARIAS, M. & GIRALDO, C. (2011). El rigor científico en la investigación cualitativa. *Invest Educ Enferm.*, vol. 29, n°3:500-514. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3845203>
4. BARRAZA, Fiorella, et al. Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 2021, vol. 192, p. 110241. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110241>
5. BARUAH, Nijara, et al. Influence of heavy metals on seed germination and seedling growth of wheat, pea, and tomato. *Water, Air, & Soil pollution*, 2019, vol. 230, no 12, p. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4329-0>
6. CAO, Suzhen, et al. Health risks of children's cumulative and aggregative exposure to metals and metalloids in a typical urban environment in China. *Chemosphere*, 2016, vol. 147, p. 404-411. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.134>
7. CASTRO-GONZÁLEZ, Numa Pompilio, et al. Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2018, vol. 9, no 3, p. 466-485. Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>

8. CHEN, Bing, et al. Modeling and evaluation of urban pollution events of atmospheric heavy metals from a large Cu-smelter. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 539, p. 17-25. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.117>
9. CHEN, Hongping, et al. Geographical variations of cadmium and arsenic concentrations and arsenic speciation in Chinese rice. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 238, p.482-490. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.048>
10. DING, Yang, et al. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 2016, vol. 36, no 2, p. 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>
11. EL-NAGGAR, Ali, et al. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 2019, vol. 337, p. 536-554. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
12. FAROOQ, Muhammad, et al. Application of zinc and biochar help to mitigate cadmium stress in bread wheat raised from seeds with high intrinsic zinc. *Chemosphere*, 2020, vol. 260, p. 127652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127652>
13. FINCK, Arnold. Fertilizantes y fertilización. Reverté, 2021. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=2VApEAAAQBAJ&lpg=PA153&dq=ESTRUCTURA%20%20DEL%20SUELO&hl=es&pg=PA153#v=onepage&q=ESTRUCTURA%20%20DEL%20SUELO&f=false>
14. GENCHI, Giuseppe, et al. The effects of cadmium toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 2020, vol. 17, no 11, p. 3782. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
15. GUTSCH, Annelie, et al. Does long-term cadmium exposure influence the composition of pectic polysaccharides in the cell wall of *Medicago sativa* stems?. *BMC plant biology*, 2019, vol. 19, no 1, p. 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1859-y>
16. GU, Quan, et al. Melatonin confers plant tolerance against cadmium stress via the decrease of cadmium accumulation and reestablishment of microRNA-

- mediated redox homeostasis. *Plant Science*, 2017, vol. 261, p. 28-37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.05.001>
17. GU, Quan, et al. Methane alleviates alfalfa cadmium toxicity via decreasing cadmium accumulation and reestablishing glutathione homeostasis. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 147, p. 861-871. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.054>
 18. HU, Liangbin, et al. Eugenol confers cadmium tolerance via intensifying endogenous hydrogen sulfide signaling in *Brassica rapa*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018, vol. 66, no 38, p. 9914-9922. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03098>
 19. UI, Chang-ye, et al. Recent advances in bacterial biosensing and bioremediation of cadmium pollution: a mini-review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2022, vol. 38, no 1, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03198-w>
 20. JALI, Pallavi; DAS, Anath Bandhu; PRADHAN, Chimay. A comparative analysis of physiological and biochemical responses to low doses of cadmium in two important varieties of *Oryza sativa* L. of Odisha, India. *Internatl J Sci Res*, 2016, vol. 3, no 12, p. 1920-1927. Disponible en: ISSN (Online): 2319-7064
 21. JASKULAK, Marta; GROBELAK, Anna. Cadmium Phytotoxicity—Biomarkers. En *Cadmium tolerance in plants*. Academic Press, 2019. p. 177-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00006-0>
 22. KARIMPOUR, Mahnaz, et al. Adsorption of cadmium and lead onto live and dead cell mass of *Pseudomonas aeruginosa*: A dataset. *Data in brief*, 2018, vol. 18, p. 1185-1192. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.04.014>
 23. KEERAN, Nisha Surendran, et al. *Prosopis juliflora*: a potential plant for mining of genes for genetic engineering to enhance phytoremediation of metals. En *Transgenic plant technology for remediation of toxic metals and metalloids*. Academic Press, 2019. p. 381-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00018-3>

24. KHAN, Anwarzeb, et al. Toxic metal interactions affect the bioaccumulation and dietary intake of macro-and micro-nutrients. *Chemosphere*, 2016, vol. 146, p. 121-128. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.014>
25. KHAN, Kiran Yasmin, et al. Impact of different feedstocks derived biochar amendment with cadmium low uptake affinity cultivar of pak choi (*Brassica rapassb. chinensis* L.) on phytoavoidation of Cd to reduce potential dietary toxicity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2017, vol. 141, p. 129-138. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.020>
26. KOGBARA, Reginald B., et al. Effect of gas-to-liquid biosludge on soil properties and alfalfa yields in an arid soil. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 250, p. 119524. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119524>.
27. KUBIER, Andreas; WILKIN, Richard T.; PICHLER, Thomas. Cadmium in soils and groundwater: a review. *Applied Geochemistry*, 2019, vol. 108, p. 104388. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
28. LATA, Sneha; KAUR, Hemant Preet; MISHRA, Tulika. Cadmium bioremediation: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2019, vol. 10, no 9, p. 4120-4128. E-ISSN: 0975-8232; P-ISSN: 2320-5148
29. LATIF, Junaid, et al. Unraveling the effects of cadmium on growth, physiology and associated health risks of leafy vegetables. *Brazilian Journal of Botany*, 2020, vol. 43, no 4, p. 799-811. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00653-0>
30. LIU, Hui, et al. Enhancement of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus versiforme*) on the growth and Cd uptake by Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum*. *Applied Soil Ecology*, 2015, vol. 89, p. 44-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.01.006>
31. LIU, Ling, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 2018, vol. 194, p. 495-503. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.025>

32. LIU, Mohan, et al. Nitrogen fertilizer enhances growth and nutrient uptake of *Medicago sativa* inoculated with *Glomus tortuosum* grown in Cd-contaminated acidic soil. *Chemosphere*, 2017, vol. 167, p. 204-211. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.145>
33. LIU, Yizhang, et al. Geogenic cadmium pollution and potential health risks, with emphasis on black shale. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 176, p. 42-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.04.004>
34. LONG, Zhijie, et al. Contamination, sources and health risk of heavy metals in soil and dust from different functional areas in an industrial city of Panzhihua City, Southwest China. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 420, p. 126638. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126638>
35. MAHAJAN, Pooja; KAUSHAL, Jyotsna. Role of phytoremediation in reducing cadmium toxicity in soil and water. *Journal of Toxicology*, 2018, vol. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/4864365>
36. MBARKI, Sonia, et al. Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, vol. 115, p. 8-16. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017303026>
37. MOHAMED, R. A.; ABDELBASET, Al-Kharpotly; ABD-ELKADER, D. Y. Salicylic acid effects on growth, yield, and fruit quality of strawberry cultivars. *Journal of Medicinally Active Plants*, 2018, vol. 6, no 2, p. 1-11. Disponible en: <https://scholarworks.umass.edu/jmap>
38. MORENO-JIMÉNEZ, Eduardo, et al. Availability and transfer to grain of As, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in a barley agri-system: Impact of biochar, organic and mineral fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, vol. 219, p. 171-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.001>
39. REHMAN, Zahir Ur, et al. Lead and cadmium contamination and exposure risk assessment via consumption of vegetables grown in agricultural soils of five- selected regions of Pakistan. *Chemosphere*, 2017, vol. 168, p. 1589-1596. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.152>

40. REHMAN, Zahir Ur, et al. Quantification of inorganic arsenic exposure and cancer risk via consumption of vegetables in southern selected districts of Pakistan. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 550, p. 321-329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.094>
41. ROMERO-ESTÉVEZ, David, et al. Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food control*, 2019, vol. 106, p. 106750. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>
42. Roquia Rizk et al., Comprehensive Environmental Assessment of Heavy Metal Contamination of Surface Water, Sediments and Nile Tilapia in Lake Nasser, Egypt. *Journal of King Saud University — Science*. Available online 6 December 2021, 101748. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101748>
43. SAHAB, Sinha, et al. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 764, p. 144164. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>
44. SAINI, Sushila; DHANIA, Geeta. Cadmium as an environmental pollutant: ecotoxicological effects, health hazards, and bioremediation approaches for its detoxification from contaminated sites. En *Bioremediation of industrial waste for environmental safety*. Springer, Singapore, 2020. p. 357-387. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3426-9_15
45. SHAABAN, Muhammad, et al. A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 228, p. 429-440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.006>
46. SHAHEEN, Nazma, et al. Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere*, 2016, vol. 152, p. 431-438. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.060>
47. HIYU, Q. I. N., et al. Toxicity of cadmium and its competition with mineral nutrients for uptake by plants: A review. *Pedosphere*, 2020, vol. 30, no 2, p.

- 168-180. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60002-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60002-9)
48. SINGH, Preeti, et al. Blood lead and cadmium levels in occupationally exposed workers and their effect on markers of DNA damage and repair. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, vol. 43, no 1, p. 185-193. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00696-y>
49. SOHAIL, Muhammad Irfan, et al. Organic manures for cadmium tolerance and remediation. En *Cadmium Tolerance in Plants*. Academic Press, 2019. p. 19-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00002-3>
50. SUHANI, Ibha, et al. Impact of Cadmium Pollution on Food Safety and Human Health. *Current Opinion in Toxicology*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
51. SYTAR, Oksana, et al. Phytohormone priming: regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2019, vol. 38, no 2, p. 739-752. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9886-8>
52. ULLAH, M. A., et al. Cadmium availability and uptake by rice from lime, cow-dung and poultry manure amended Ca-contaminated paddy soil. *Bangladesh Journal of Botany*, 2017, vol. 46, no 1 Suppl., p. 291-296. Disponible en: ISSN: 0253-5416
53. UNSAL, Velid, et al. The role of natural antioxidants against reactive oxygen species produced by cadmium toxicity: a review. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 2020, vol. 10, no 2, p. 184. Disponible en: <https://doi.org/10.34172/apb.2020.023>
54. USMANI, Zeba, et al. Scope for Applying Transgenic Plant Technology for Remediation and Fortification of Selenium. En *Transgenic Plant Technology for Remediation of Toxic Metals and Metalloids*. Academic Press, 2019. p. 429- 461. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00020-1>
55. WANG, Yan, et al. The impact of *Pseudomonas monteilii* PN1 on enhancing the alfalfa phytoextraction and responses of rhizosphere soil bacterial communities in cadmium-contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 6, p. 106533. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106533>

56. XIE, Minwei, et al. Coupled effects of hydrodynamics and biogeochemistry on Zn mobility and speciation in highly contaminated sediments. *Environmental science & technology*, 2015, vol. 49, no 9, p. 5346-5353. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00416>
57. YOUNIS, Uzma, et al. Biochar enhances the cadmium tolerance in spinach (*Spinacia oleracea*) through modification of Cd uptake and physiological and biochemical attributes. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, no 21, p. 21385-21394. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7344-3>
58. ZHANG, Fengge, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and cadmium on the yield and element uptake of *Medicago sativa*. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 655, p. 1150-1158. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.317>
59. ZHAO, Fang-Jie; WANG, Peng. Arsenic and cadmium accumulation in rice and mitigation strategies. *Plant and Soil*, 2020, vol. 446, no 1, p. 1-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04374-6>
60. ZULFIQAR, Usman, et al. Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 250, p. 109557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109557>

ANEXOS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO

TÍTULO:

Año de Publicación

PALABRAS CLAVES

AUTOR

AÑO

OBJETIVO

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIÓN

