



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Enfoques de Remediación para Mitigar la Contaminación por Cd
en Cultivos de Arroz (*Oryza sativa* L.): Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Ccahua Valencias, Maria Elena (ORCID: 0000-0001-6705-0596)

Zarate Quispe, Danny Bryan (ORCID: 0000-0003-0801-9972)

ASESOR:

Mg. Honores Balcázar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Esta Tesis se la dedico a mis padres Felicitas Valencias Cuyuchi y Juan Ccahua Conza que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la Patria. A mis hermanas(os) y a mi pareja Ronald Cusipuma por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

CCAHUA VALENCIAS, MARIA ELENA

Esta Tesis se la dedico a mis padres Juan Carlos Zarate Huamaní y Eliza Quispe Villano que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la Patria. A mi querido hijo Stephano Zarate Hidalgo y a mí pareja Shadia Hidalgo Velásquez por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

ZARATE QUISPE, DANNY BRYAN

AGRADECIMIENTOS

María Ccahua y Danny Zarate agradecen al Asesor de Tesis el Ing. Samuel Reyna Mandujano por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también habernos tenido toda la paciencia del mundo para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

Los autores

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	15
3.3. Escenario de estudio	17
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimiento	17
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla Nº 1.	Factores que influyen en la toxicidad de Cd en los cultivos	6
Tabla Nº 2.	Antecedentes	11
Tabla Nº 3.	Matriz de categorización apriorística	16
Tabla Nº 4.	Causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd	21
Tabla Nº 5.	Técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz	25
Tabla Nº 6.	Métodos de acción de las enmiendas	29

Índice de figuras

Figura Nº 1. Fuentes de contaminación de Cd en los cultivos de arroz	4
Figura Nº 2. Translocación del Cd en los granos de arroz	7
Figura Nº 3. Reducción, absorción y acumulación de Cd en cultivos	10

Índice de gráficos

Gráfico Nº 1. Gráfico de selección de artículos al estudio	18
Gráfico Nº 2. Métodos de análisis de información	20

Índice de abreviaturas

MPs	: Metales pesados
HAP	: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
ROS	: Especies reactivas de oxígeno
AO	: Aditivos orgánicos
Cd	: Cadmio
AVAD	: Años de vida ajustados por discapacidad

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo analizar los aspectos más relevantes de la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd y Determinar las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con Cd, Clasificar la técnica de remediación, así como describir los métodos de acción de las enmiendas empleadas. Para lo cual se recolectaron 111 artículos a nivel internacional, de las cuales se seleccionaron al estudio 28, los cuales cumplieron con los criterios establecidos. Obteniendo que las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd varia en base a los estándares sobre el contenido máximo permitido de Cd en el arroz. Así también, los daños en la salud son en su mayoría son por problemas respiratorios, función renal, deterioro de la función inmunológica, trastornos metabólicos, pérdida ósea, síntomas de trastornos endocrinos. La técnica de remediación con mayor eliminación es la técnica de tratamiento químico mediante adición de enmiendas al suelo por adsorción; siendo la introducción de enmiendas tanto orgánicas como inorgánicas de desechos animales procesados, materiales de encalado y biocarbón, son los que más se utilizan, presentando porcentajes de eliminación de Cd en los cultivos de arroz en promedios de 60 a 80%. El método de acción de las enmiendas consiste en la inmovilización del ion metálico Cd; posterior a ello técnicas como el uso de biocarbón, compost, adición de residuos animales procesados, residuos animales procesados, entre otros utilizan la adsorción, quimisorción y sorción, para eliminar la toxicidad de Cd en los suelos.

Palabras clave: remediación, mitigación, iones Cd, cultivos de arroz, arrozales.

Abstract

The objective of this research was to analyze the most relevant aspects of the remediation of rice crops contaminated with Cd and to determine the causes of permanent exposure to rice crops contaminated with Cd, to classify the remediation technique, as well as to describe the methods of action of the amendments used. For this purpose, 111 international articles were collected, of which 28 were selected for the study, which met the established criteria. The causes of permanent exposure to rice crops contaminated with Cd vary according to the standards on the maximum permitted content of Cd in rice. Also, health damages are mostly due to respiratory problems, renal function, impaired immune function, metabolic disorders, bone loss, symptoms of endocrine disorders. The remediation technique with the greatest elimination is the chemical treatment technique through the addition of amendments to the soil by adsorption; being the introduction of both organic and inorganic amendments of processed animal wastes, liming materials and biochar, are the most used, presenting Cd elimination percentages in rice crops in averages of 60 to 80%. The method of action of the amendments consists of the immobilization of the metal ion Cd; after that, techniques such as the use of biochar, compost, addition of processed animal wastes, processed animal wastes, among others, use adsorption, chemisorption and sorption to eliminate Cd toxicity in soils.

Keywords: remediation, mitigation, Cd ions, rice crops, rice fields, adsorption, physicochemical treatments, bioremediation, biological treatments

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es un reto global en el proceso de modernización (Shen Zhengtao et al., 2019, p.2). En 2014, China dio a conocer los resultados de su estudio nacional sobre el suelo, que indicaba que el 16,1 % de los 6,3 millones de km² de tierra estudiados y el 19,4 % de las tierras cultivadas estudiadas superaban los estándares de calidad del suelo (Hou D. y Li F., 2017, p.3).

En los cultivos agrícolas de Perú, Ecuador y Colombia también se ha reportado presencia de metales pesados como cadmio (Cd) (Kongor John E. et al., 2016, p.2). Es así que la presencia de Cd en cultivos agrícolas se informó en la sexta reunión del Comité de Contaminantes de los Alimentos en 2012 y se agregó a la lista de contaminantes y tóxicos naturales presentes en los alimentos (Aguirre Forero S. et al., 2020, p.2).

Los metales pesados son especialmente preocupantes porque no son degradables y tienden a acumularse en el suelo superficial (Elbana Tamer A. et al, 2018, p.2).

Pero entre la amplia variedad de metales pesados, el contaminante de metales pesados más ampliamente distribuido es el cadmio (Cd), un potente nefrotoxina crónica y un carcinógeno de clase uno (Rizwan Muhammad et al., 2016, p.1). Es muy móvil en los suelos y puede acumularse fácilmente en los productos del arroz (Liu Huakang et al., 2020, p.2).

El grano de arroz, con un nivel elevado de Cd, supone grandes amenazas para la salud de los seres humanos a través de la cadena alimentaria (Yin Zerun et al., 2021, p.2). Presentando un problema de salud grave debido a su alta toxicidad y contaminación generalizada (Hu Yuanan et al., 2016, p.2). Además, los estudios han encontrado variaciones evidentes en la riqueza microbiana y disminuciones significativas de la densidad de lombrices del suelo contaminado con Cd (Mariet Anne Lise et al., 2020, p.1).

También se ha informado de que la ingesta de trazas de Cd puede influir en la fisiología y la salud de los organismos individuales, junto con la demografía y la distribución de las especies silvestres (Shahriar S. y Rahman M., 2020, p.3). La exposición al cadmio en humanos puede causar cáncer y, por lo tanto, el Cd ha sido identificado como un metal cancerígeno (Sanders Alison P. et al., 2019, p.2).

Teniendo en cuenta la amplia gama de efectos de la exposición al Cd por los cultivos de arroz, es esencial aplicar estrategias para reducir las emisiones de Cd en el medio ambiente; siendo los tratamientos físicos la eliminación física de la capa superficial superior en el suelo de arroz contaminado y el reemplazo sin contaminación es un método de remediación in situ rápido y eficaz (Palansooriya K. et al., 2020, p.5).

Pero también, debido a la alta eficacia de los reactivos inmovilizadores, la viabilidad económica y la aplicabilidad, las enmiendas del suelo que incluyen biocarbón, desechos animales, fosfatos y compost se emplean ampliamente para remediar suelos contaminados con metales pesados (Khan Shamshad et al., 2021, p.2).

Así como la fitoextracción, es considerado como un método eficaz para disminuir la contaminación por Cd en los arrozales, debido a que, aporta ventajas reconocidas a los ecosistemas (Antoniadis Vasileios et al., 2017, p.2).

Es así que, de acuerdo a lo detallado y la realidad problemática expuesta, se propone el siguiente problema general:

¿Cuáles son los aspectos más relevantes de la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd?, y como problemas específicos se elaboró:

PE1: ¿Cuáles son las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con Cd?

PE2: ¿Cuál es la técnica de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz?

PE3: ¿Cuáles los métodos de acción de las enmiendas empleadas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd?

De igual forma, se plantearon 3 objetivos específicos para este estudio, siendo detallado en primer lugar el objetivo general:

Analizar los aspectos más relevantes de la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd; y los objetivos específicos son:

OE1: Determinar las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con Cd

OE2: Clasificar la técnica de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz

OE3: Describir los métodos de acción de las enmiendas empleadas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd

Debido a la búsqueda y recolección de estudios literarios que abordan los enfoques de remediación para mitigar la contaminación ambiental en cultivos de arroz, se presenta una justificación teórica, teniendo como objetivo ampliar los enfoques más relevantes de la remediación en cultivos de arroz contaminados con Cd desarrollando análisis de diversos estudios actualizados.

II. MARCO TEÓRICO

Durante décadas, las actividades de producción excesivas y poco razonables han causado graves problemas de contaminación por metales pesados, lo que ha supuesto una importante amenaza para la biodiversidad y el funcionamiento de los microorganismos del suelo, la seguridad alimentaria y la salud pública (Bhakta et al., 2018).

Las actividades antropogénicas asociadas principalmente a las actividades agrícolas y mineras, los procesos industriales, la fabricación y la eliminación de materiales de desecho domésticos e industriales son las principales fuentes de enriquecimiento de metales en los suelos (Zhang Xiuying et al., 2016, p.3). A diferencia del aporte pedogénico, los metales añadidos a través de las actividades antropogénicas suelen tener una alta biodisponibilidad (Duan Guilan et al., 2017, p.2). (Ver figura 1).

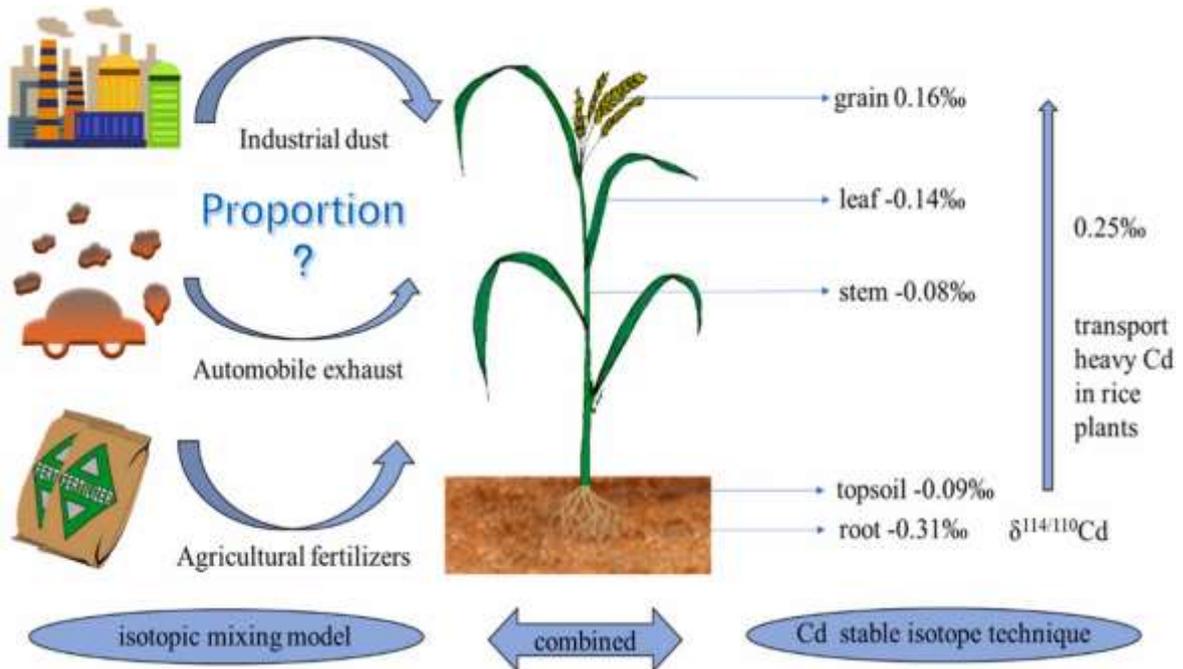


Figura N°1: Fuentes de contaminación de Cd en los cultivos de arroz. Fuente: Yan Ying et al., (2021)

De acuerdo a la figura 1, se muestra las concentraciones de metales pesados (MPs) como Cd y las composiciones isotópicas de Cd de las plantas de arroz (raíz, tallo, hoja y grano) y la capa superior del suelo, y las posibles fuentes de contaminación (fertilizantes agrícolas, polvo industrial y gases de escape de automóviles).

Los microorganismos del suelo tienen un papel crucial en los ecosistemas del suelo naturales y gestionados (Fierer N., 2017, p.2). En los suelos agrícolas, como fuerza central de la fertilidad del suelo, los microorganismos pueden promover notablemente el ciclo de los elementos nutritivos, mantener la fertilidad del suelo y mejorar la salud de los cultivos (Bhakta J. et al., 2018, p.1).

Pero se sabe que las bacterias del suelo son sensibles a la contaminación, en concreto a los metales pesados y a los contaminantes orgánicos (por ejemplo, HAP y EAP) (Honma Toshimitu et al., 2016, p.1). Ante ello, es debido señalar que la contaminación de los suelos agrícolas con Cd se ha convertido en uno de los problemas ambientales más tóxicos y extendidos (Wei Rongfei et al., 2016, p.2).

El cadmio (Cd) es un metal pesado extremadamente tóxico que afecta negativamente los ecosistemas y es identificado como uno de los principales metales pesados que llegan a la cadena alimentaria a través de diversas actividades (Wei Rongfei et al., 2019, p.4). Por ejemplo, en Nueva Zelanda y Australia, se ha identificado que el Cd es el metal pesado más común que llega a la cadena alimentaria principalmente a través de la transferencia de animales en la agricultura de pastoreo (Wiggenhauser M. et al., 2016, p.2).

Del mismo modo, en muchos países de Asia oriental y meridional, como Japón, Bangladesh, Indonesia y Corea, la acumulación de Cd en los ecosistemas de arroz y su posterior transferencia a la cadena alimentaria humana es un problema medioambiental importante (Imseng Martin et al., 2019, p.2).

En Australia y Nueva Zelanda la mayor parte del Cd que se ha acumulado en la capa superior del suelo procede de las impurezas de los fertilizantes fosfatados (P) añadidos durante la práctica agrícola habitual.

Ante ello, los suelos de los arrozales de muchos países se han visto afectados por el Cd derivado no sólo de la aplicación de fertilizantes, sino también de los residuos de minas y plantas de refinado. Generando, el estrés por cadmio efectos negativos drásticamente en la producción de los cultivos al causar algunos trastornos morfofisiológicos y bioquímicos en las plantas en crecimiento (Asimincesei D. et al., 2020, p.1).

Pero tres factores principales son los responsables de la toxicidad del Cd, y se muestra en la tabla N° 1.

Tabla N°1: Factores que influyen en la toxicidad de Cd en los cultivos

	Descripción
1er factor	La alta afinidad a los grupos tioilo, histidilo y carboxilo provoca la interacción directa con las proteínas, para luego ocupar los sitios estructurales, catalíticos y de transporte de la célula.
2do factor	La estimulación generada por las especies reactivas de oxígeno modifica la defensa antioxidante e induce el estrés oxidativo.
3er factor	El desplazamiento de cationes esenciales en sitios de unión específicos da lugar a la pérdida de la función

Fuente: Lajayer Behnam et al., (2017)

Es así que se ha visto señalado al Cd como uno de los principales contaminantes de los arrozales y su acumulación en el arroz (*Oryza sativa*L.) y su posterior transferencia a la cadena alimentaria es un problema ambiental mundial (Hussain B. et al., 2021, p.2). (Ver figura 2)

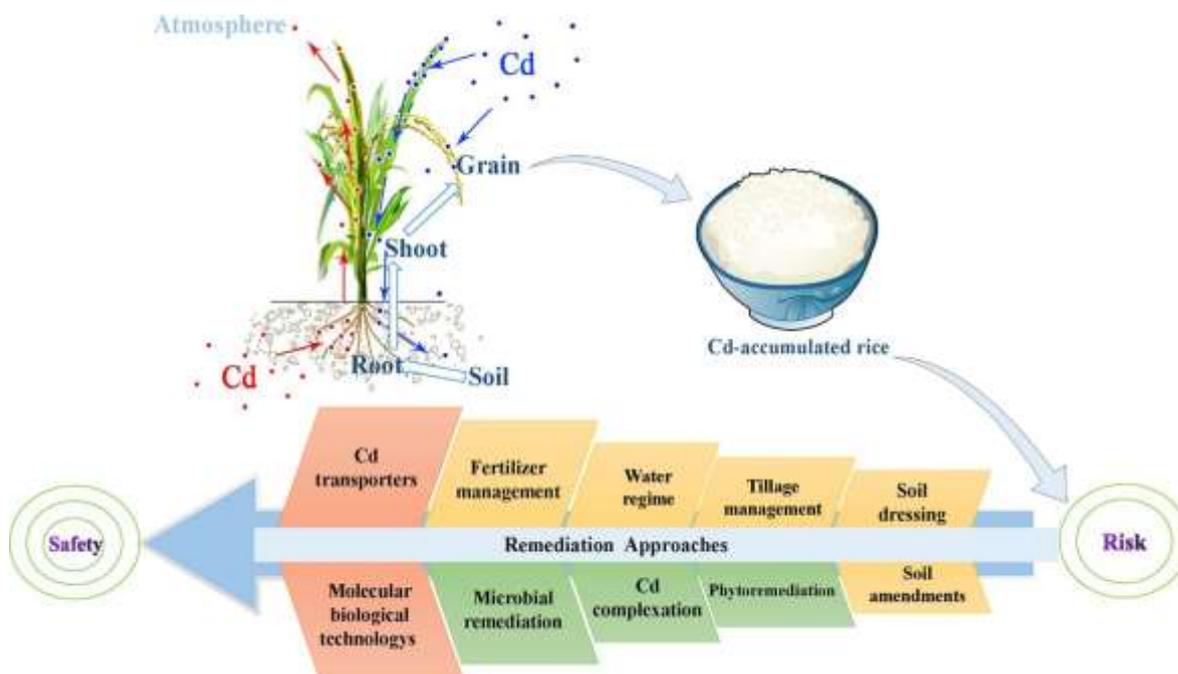


Figura N°2: Translocación del Cd en los granos de arroz. Fuente: Abbas Qumber et al., (2019)

Y este problema del "arroz con Cd" existe ampliamente a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo como Bangladesh India y China (Rizwan Muhammad et al., 2016, p.2).

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial y se ha informado de que el arroz puede absorber fácilmente el Cd y translocarlo a los brotes y luego a los granos (Li Yuxin et al., 2018, p.3). Por lo tanto, el Cd puede entrar en la cadena alimentaria a través del consumo de arroz, incluso a bajas concentraciones de Cd en los suelos, y causar toxicidades a los seres humanos (Chen Hongping et al., 2018, p.2).

La ingestión de cadmio puede causar daño renal; también puede causar síntomas gastrointestinales que van desde náuseas y vómitos hasta erosión del epitelio intestinal (Jaskulak M. y Grobelak A., 2019, p.1). Se cree que el efecto posterior y más grave es el resultado de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en reacción al cadmio (Zeece M., 2020, p.252).

Los efectos biológicos adversos del cadmio, la producción de ROS y la inhibición de los mecanismos de reparación del ADN son suficientes para clasificar al cadmio como carcinógeno (Sidhu G. et al., 2019, p.255). Además, el nivel máximo de exposición al cadmio para adultos es 2.5 g / kg de peso corporal, esta cantidad es equivalente a aproximadamente 205g para una persona de 175 libras y el límite máximo de cadmio en el agua embotellada es de 5 ppb (Mclaughlin M. et al., 2021, p.3).

Así mismo, este exceso de cadmio introducido en los ecosistemas agrícolas podría tener efectos evidentes en la calidad de los cultivos y en la diversidad de la comunidad bacteriana, ya que, podrían afectar significativamente al crecimiento bacteriano, el metabolismo, la morfología y las funciones celulares (Yang Yang et al., 2017, p.1).

Los residentes que consumen alimentos producidos localmente con elevadas concentraciones de Cd son los más vulnerables a la exposición crónica al Cd. La ingesta de Cd en la dieta depende tanto de las concentraciones de Cd en los artículos dietéticos como de las cantidades de consumo (Song Yan et al., 2017, p.2). También es importante tener en cuenta los diferentes grupos de edad debido a la variación en la cantidad de alimentos consumidos en relación con el peso corporal (Gao Min et al., 2018, p.1).

Así mismo, la información sobre la ingesta de Cd en la dieta es necesaria para identificar los subgrupos de alta exposición y para evaluar el riesgo para la salud asociado a la exposición al Cd a la salud (Khaliq Muhammad A. et al., 2019, p.2).

Es así que, que la contaminación de los arrozales con Cd pone en riesgo la exposición humana, aunque, a nivel mundial, muchas poblaciones dependen del consumo de cantidades significativas de arroz como alimento básico (Shahriar S. y Rahman M., 2020, p.2).

En tal sentido se buscan enfoques de remediación para mitigar la contaminación generada por los cultivos de arroz (Beiyuan Jingzi et al., 2018, p.1).

Se conocen varias prácticas de manejo para remediar el Cd del suelo contaminado, pero solo algunas de estas tecnologías son prácticamente aplicables en el campo (Khalid Sana et al., 2017, p.3). Así mismo, es indispensable el uso de prácticas de remediación efectivas, ecológicas y basadas en recursos naturales y la comprensión de su mecanismo subyacente (Yoo Jong Chan et al., 2018, p.2).

La eliminación física de la capa superficial en el suelo de arroz contaminado y el reemplazo sin contaminación es un método de remediación in situ rápido y eficaz (Palansooriya Kumuduni N. et al., 2020, p.1).

Se han utilizado muchas técnicas de remediación del suelo in situ y ex situ para minimizar los riesgos asociados a la contaminación por metales pesados y para maximizar la tierra cultivable para la producción agrícola con el fin de garantizar la seguridad alimentaria (Beiyuan Jingzi et al., 2017, p.2). Sin embargo, las tecnologías in situ, como la solidificación/estabilización, la inmovilización, el lavado/lavado del suelo, fitorremediación y tratamientos biológicos/microbianos, y las técnicas ex situ como el lavado de suelos el relleno de tierras por vitrificación y los biorreactores se utilizan con frecuencia para minimizar la biodisponibilidad de los contaminantes tóxicos (Kuppusamy Saranya et al., 2016, p.1).

Todas estas técnicas de remediación de suelos tienen diferentes principios generales de funcionamiento y ventajas y desventajas específicas, además, la eficacia de la técnica y la rentabilidad pueden diferir significativamente entre las pruebas de laboratorio y las prácticas de campo (Shakoor Muhammad B. et al., 2019, p.4). Pero, la renovación o dilución del suelo mediante la mezcla in situ de los suelos superficiales contaminados con los suelos subterráneos no contaminados puede ser un método alternativo rentable (Wang Lei et al., 2019, p.3).

Pero, por otro lado, debido a la alta eficacia de los reactivos inmovilizadores, la viabilidad económica y la aplicabilidad, las enmiendas del suelo que incluyen biocarbón, desechos animales, fosfatos y compost se emplean ampliamente para remediar suelos contaminados con metales pesados (PalansooriyaK. Et al., 2020, p.5). La inmovilización de Cd en suelos usando enmiendas (p. Ej., Mejoradores que

contienen S- / Si- / Fe) también es un enfoque muy prometedor para reducir la biodisponibilidad del Cd (Wang Quan et al., 2021, p.2).

Además, la inmovilización es una de las estrategias más adecuadas para remediar los sitios contaminados con cadmio (Cd), ya que, los aditivos orgánicos (AO) han surgido como inmovilizadores altamente eficientes y respetuosos con el medio ambiente para erradicar la contaminación por Cd en una amplia gama de entornos (Hu Wenyong et al., 2017, p.2). Como se observa en la figura 3.

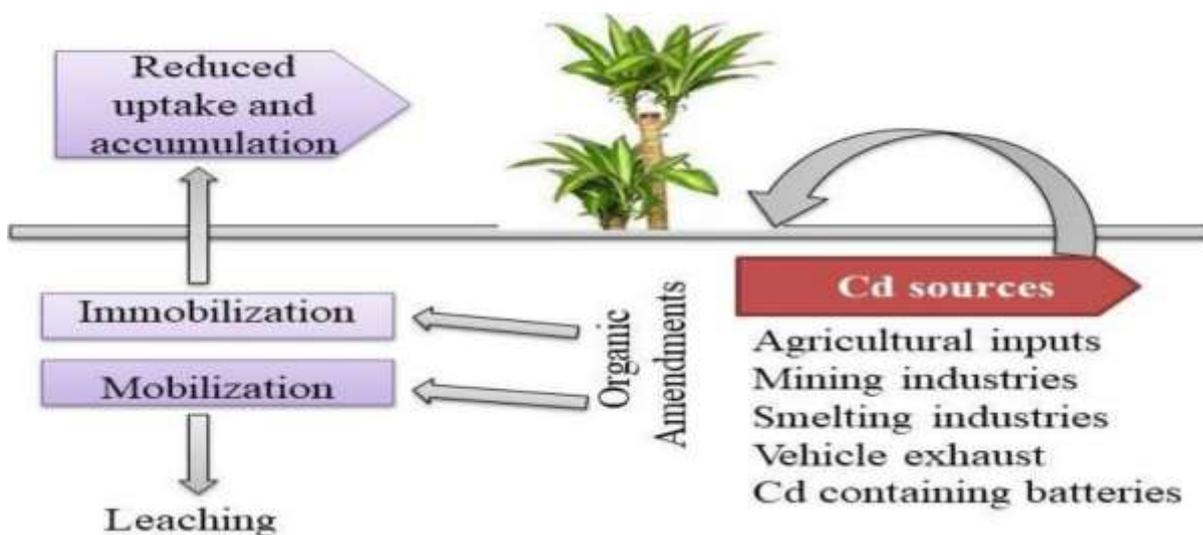


Figura N°3: Reducción, absorción y acumulación de Cd en cultivos. Fuente: Hamid Yasir et al., (2020)

En resumen, los materiales abundantes, económicamente viables y ecológicos, por ejemplo, desechos animales procesados, materiales de encalado y biocarros, se recomiendan principalmente para la inmovilización de Cd en el suelo, incluidos los arrozales (Azeem Muhammad et al., 2021, p.4).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se analizaron una variedad de artículos científicos para añadir al estudio, presentando los más relevantes a continuación:

Tabla N°2: Antecedentes

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados	Referencias
Biocarbón	La paja de arroz biochar	Para las pruebas de eliminación de Cd, el aumento de la temperatura de pirólisis (300–700 ° C) aumentó las concentraciones de Cd total (24,8–55,1 mg / g) y no intercambiable (18,9–52,8 mg / g) inmovilizadas en los CRSB y disminuyó significativamente el Cd intercambiable fracción (23,7% – 4,85%).	Shen et al., 2019
Biocarbón	Arroz (Oryza sativa L.)	Para todos los tratamientos, todos los cultivares de arroz acumularon mayores cantidades de Cd y Zn en las raíces en comparación con las panículas y los brotes. Entre los tres cultivares, RD53 acumuló la menor cantidad de Cd.	Saengwilai et al., 2017
Compost	Compost de residuos verdes	En condiciones óptimas, un triple lavado eliminó el 74,16% de Cd y el 42,91% de Ni del sedimento 1 y 86.88% de Cd y 43,84% de Ni del sedimento 2, respectivamente, mientras que un AF comercial solo alcanzó la mitad de la eficiencia.	Zhang Siyu et al., 2019
Biosólidos	Lodos de desechos verdes	Los biosólidos actuaron como un sumidero efectivo para disminuir la biodisponibilidad del Cd en suelos contaminados y la efectividad se asoció principalmente con las propiedades del suelo y las concentraciones de Cd.	Chagas et al., 2021

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados	Referencias
Minerales de arcilla	Sepiolita	Los resultados mostraron que la SEP redujo efectivamente las concentraciones de Cd en los granos de arroz entre un 47% y un 49% durante el primer año y entre un 44% y un 50% en el segundo año debido al efecto de los residuos.	Chen et al., 2020
Biocarbón	Cultivares de arroz	Los resultados mostraron que las enmiendas del suelo aumentaron significativamente el pH del suelo y redujeron la biodisponibilidad del Cd en comparación con el control. El análisis de regresión lineal mostró que la disminución en la biodisponibilidad de Cd se correlacionó significativa y positivamente con el aumento del pH del suelo ($P < 0,001$). Las enmiendas del suelo fueron eficaces para reducir la absorción de Cd por la raíz del arroz, así como la translocación de la raíz a las partes de la planta por encima del suelo.	Meng et al., 2019
Óxidos metálicos	Barro rojo	La adición de RM obviamente transfirió Cd de la fracción intercambiable a la fracción residual. Mientras tanto, en comparación con el control (sin RM añadido), redujo 24,38, 49,20, 19,42 y 8,89% de Cd, Pb, Cu y Zn en los granos de trigo a la dosis de adición de RM del 5%, respectivamente.	Wang et al., 2018

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados	Referencias
Óxidos metálicos	Minerales	Los resultados mostraron que los tres minerales disminuyeron la biodisponibilidad de As y Cd y restringieron su absorción por Brassica chinensis L. con el orden seguido bentonita> zeolita> dolomita. Particularmente, la bentonita disminuyó el As y Cd intercambiables en 4.05% y 32.5% y las concentraciones de As y Cd en brotes de Brassica chinensis L. en 36.2% y 64.6%, en comparación con los controles.	He Yin Hai et al., 2020
Cenizas volátiles de carbón	Cenizas volátiles de carbón	Los resultados establecieron que la aplicación combinada de BC y PFA aumentó sinérgicamente la inmovilización de HM y los rendimientos de biomasa de maíz. La tasa de transferencia más baja (TR), factor de bioconcentración (BCF) y factor de translocación (TF) para Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb se detectaron en BC + HT-FA, seguido de BC + H ₂ SO ₄ -FA y BC + HCl-FA tratamientos después de 60 días de cosecha de maíz.	Munir et al., 2020
Cenizas volátiles de carbón	Cenizas volátiles de carbón	Las cenizas volantes redujeron significativamente la concentración de Cd en el arroz integral de 0.07 a 0.05, 0.15 a 0.09 y 1.00 a 0.55 mg kg ⁻¹ en los niveles de tratamiento T1, T2 y T3, respectivamente, y la biodisponibilidad	Yin Aiguo et al., 2020

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados	Referencias
		de Cd en el suelo (en al menos 33.3%), mientras que aumentó el contenido de Si en raíces y brotes de arroz en al menos un 34%	

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

Los problemas o fenómenos a investigar surgidos en nuestra sociedad siempre serán una interrogante que generara nuevos conocimientos a través de las investigaciones. La investigación aplicada nos dirige a la aplicación directa de conocimientos que se generaran a través de la investigación sobre los problemas a resolver (Lozada, 2014). Este trabajo tiene un tipo de investigación aplicada ya que a través de la investigación de enfoques de remediación para mitigar la contaminación por Cd en cultivos de arroz (*Oryza sativa*L.) hemos generado nuevos conocimientos aplicando esto directamente en los problemas.

El diseño narrativo ha sido aplicado en esta investigación, según Hernández (2014) el diseño narrativo se enfoca en proyectar a través de los investigadores los hechos o fenómenos surgidos y vividos por terceros de manera en que todo lo narrado no se tergiverse y plasmar tal cual se está narrando donde el investigador tenga un profundo entendimiento sobre ello.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En la presente investigación se presenta la matriz de categorización apriorística el cual está realizado bajo los problemas y objetivos específicos; los cuales fueron divididos en categorías y sub categorías.

Tabla N°3: Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuáles son las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd?	Definir las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd.	Exposición a los cultivos de arroz contaminados (Song Yan et al., 2017, p.2)	Daños en la salud de adultos Daños en la salud de niños (Jaskulak M. y Grobelak A., 2019, p.1).	Por la concentración de Cd	Por el tiempo de exposición
¿Cuáles son las técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz?	Analizar las técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz.	Remediación que presenta mayor eliminación de Cd (Zhang Xiuying et al., 2016, p.3)	Tratamientos físicos Tratamientos químicos Tratamientos biológicos (Liu Huakang et al., 2020, p.2).	De acuerdo a la técnica usada	De acuerdo a los mejores resultados
¿Cuáles son los métodos de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd?	Evaluar los métodos de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd.	Métodos de acción empleadas en la remediación (Beiyuan Jingzi et al., 2018, p.1)	Biosorción Bioacumulación Biomineralización Biotransformación (Liu Yuling et al., 2018, p.1).	De acuerdo al tipo de remediación	De acuerdo al método de adsorción del Cd

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio vendría a ser donde se dieron los hechos de la investigación, al ser esta una revisión sistemática el escenario a emplear se encuentra en cada lugar, laboratorio entre otros; hallados en las lecturas utilizadas para el desarrollo de esta investigación.

3.4. Participantes

Para la recolección de información se usaron plataformas virtuales como bibliotecas virtuales donde se pudo extraer artículos científicos usados para el desarrollo de esta investigación (revisión sistemática), y de esta forma respaldarla; por ello estas son consideradas como las participantes, entre ellas tenemos: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

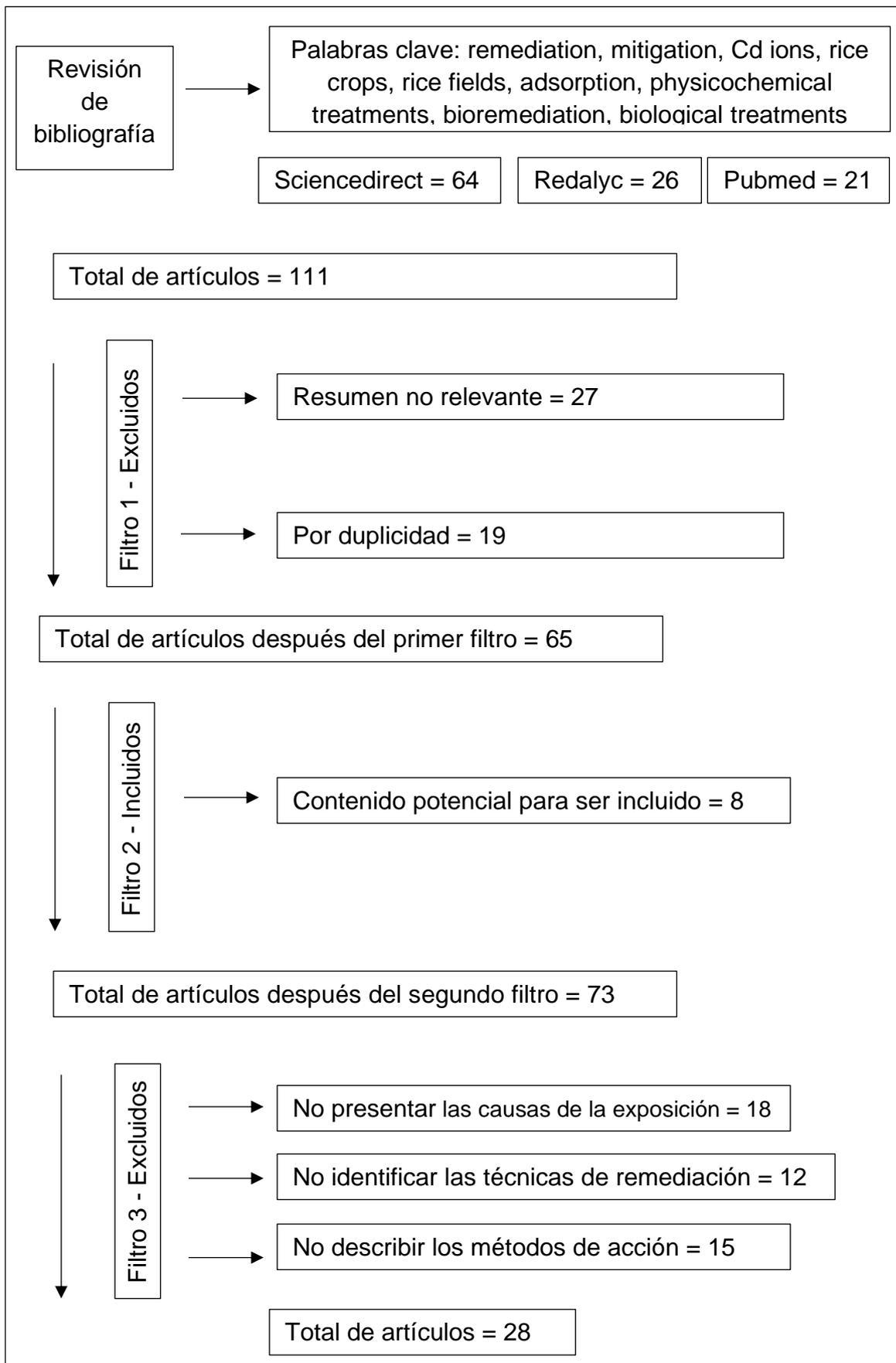
La extracción de información de diferentes fuentes ha generado que se aplique en este trabajo de investigación la técnica de análisis documental que se basa en obtener un documento nuevo con toda la información extraída de diferentes fuentes, esta representa las ideas relevantes relacionada con el fenómeno estudiado. A través de ello se pudo recuperar con más facilidad toda la información.

Para la recolección de datos se usó la ficha de análisis de contenido esta permitió realizar el análisis documental de la presente investigación.

3.6. Procedimientos

Para la selección de datos se consideró palabras claves y criterios de inclusión y exclusión que se detalla a continuación.

Gráfico N°1: Gráfico de selección de artículos al estudio



3.7. Rigor científico

Toda investigación y la información contenida en ella debe ser validada para que esta pueda ser empleada en otros fenómenos a investigar o para el desarrollo de problema surgidos en la sociedad. Según Castillo E. y Vásquez M.L (2003) la calidad de una investigación se rige a través de tres criterios, ellos son:

Credibilidad, donde los resultados obtenidos a través de la investigación son reconocidos por las personas que fueron estudiadas siendo estas consideradas verdaderas ya que los participantes del hecho hallan aproximación de lo narrado. Por ello en esta investigación todas las lecturas recogidas han sido plasmadas de manera íntegra y se podrá observar la tabla de resultados.

Confirmabilidad, este criterio nos permitió seguir la ruta del fenómeno estudiado de enfoques de remediación para mitigar la contaminación por Cd en cultivos de arroz (*Oryza sativa*L.) de este modo el lector podrá encontrar los mismos resultados a través de los datos obtenidos en la presente investigación llevándonos a una conclusión congruente con otras investigaciones.

Transferibilidad, para juzgar el rigor científico este criterio aplica en qué medida se puede transferir los resultados obtenidos en otro contexto, es decir para cumplir con este criterio se necesita que el investigador tenga una detallada descripción de las características del escenario y de los participantes donde se estudió el fenómeno.

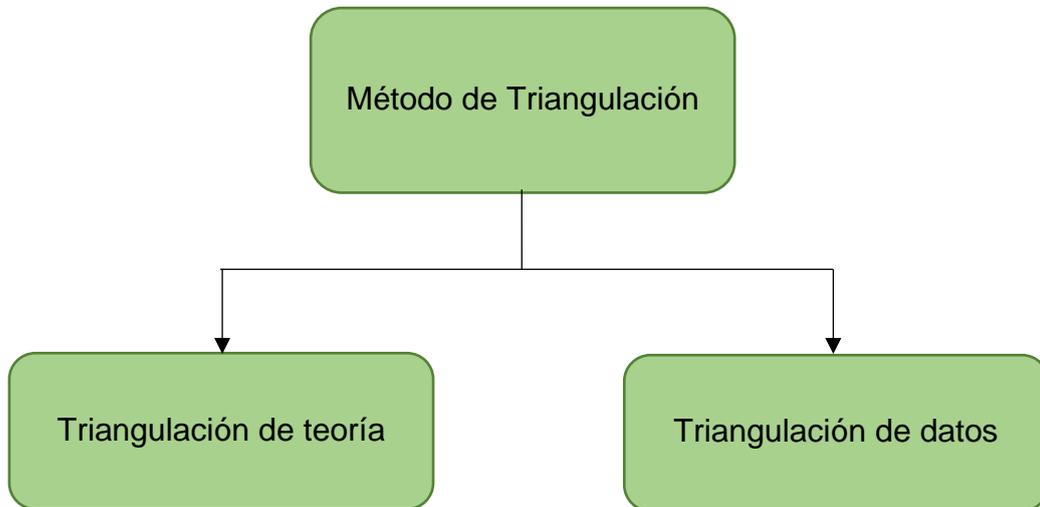
3.8. Método de análisis de información

Para el presente estudio se usó la matriz apriorística; en la cual se plantearon categorías y sub categorías, los cuales serán descritos a continuación:

- Categorías: Remediación que presenta mayor eliminación de Cd, Métodos de acción empleadas en la remediación, Exposición a los cultivos de arroz contaminados.

- Sub categorías: Daños en la salud de adultos, Daños en la salud de niños / Tratamientos físicos, Tratamientos químicos, Tratamientos biológicos / Biosorción Bioacumulación, Biomineralización, Biotransformación

Gráfico N°2: Métodos de análisis de información



3.9. Aspectos éticos

Se han usado los siguientes aspectos éticos de manera conforme respecto a lo requerido para la presentación del trabajo de investigación, detallando así los siguientes:

- Norma ISO 690, respecto a la correcta aplicación de las referencias bibliográficas.
- Programa turnitin para evaluar la autenticidad del contenido de la información
- Guía de productos observables de la universidad Cesar Vallejo, respetando el código de ética.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a la búsqueda de la solución del problema se analizó los aspectos más relevantes de la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd, para descubrir cuáles son las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd; presentando en la tabla N° 4 una revisión donde se considera como criterios a la concentración del ion Cd y el tiempo de exposición.

Tabla N° 4: Causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd

CONCENTRACIÓN DE CD	RESULTADOS	AUTOR (ES)
2,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ PC semana ⁻¹	Grupo de niños que mostró las ingestas semanales estimadas más altas de Cd	Pastorelli A. et al., 2018
De 15,5 a 27,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ PC semana ⁻¹	Potencialmente causar un mayor riesgo no cancerígeno	Chen Hongping et al., 2018
15,8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ PC semana ⁻¹	Desarrollo potencial de impactos en la salud de los residentes locales.	Suwatvitayakorn Parin et al., 2020
Varió de 70 a 2030 $\mu\text{g kg}^{-1}$ BW semana ⁻¹	Efectos significativos en la salud renal	Luo Hui Fang et al., 2017
Osciló entre 0,63 y 4,06 $\mu\text{g kg}^{-1}$ BW día ⁻¹	Los grupos de edad (2 a 5 años) y (6 a 10 años) experimentaron mayores riesgos que otros	Shahriar S. y Rahman M., 2020
Una tendencia de aumento y luego disminución (278, 313 y 255 $\mu\text{g semana}^{-1}$, respectivamente) en tres décadas	Aumento del riesgo de cáncer y la carga de la enfermedad	Qing Ying et al., 2020

CONCENTRACIÓN DE CD	RESULTADOS	AUTOR (ES)
Los niveles promedio de Cd en arroz fueron 2,73 $\mu\text{g kg}^{-1}$ BW semana ⁻¹	El aumento de la concentración de Cd en el arroz disminuyó el pronóstico de vida durante una observación a largo plazo en mujeres	Nogawa Kazuhiro et al., 2018
Los niveles de Rice-Cd fueron más de 2.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ BW semana ⁻¹	La mortalidad está asociada con el arroz contaminado con Cd en el área contaminada de la cuenca del río Jinzu, Japón	Nishijo M. y Nakagawa H., 2019
De 1,05 a 5,18 $\mu\text{g kg}^{-1}$ PC semana ⁻¹	Se estima que el cadmio en la dieta resultaría en 2064 muertes globales y 70,513 años de vida ajustados por discapacidad	Zang Yu et al., 2019

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 4 se puede afirmar que las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con cd varia en base a los estándares sobre el contenido máximo permitido de Cd en el arroz; siendo que el contenido de Cd permisible del arroz en Australia, Nueva Zelanda e Irán es de 0,1 mg kg⁻¹ de materia seca. La Unión Europea, China y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria establecieron 0,2 mg kg⁻¹ como el contenido de Cd máximo permitido (Hu Yuanan et al., 2016, p.2).

Así también, los daños en la salud son en su mayoría son por problemas respiratorios, función renal, deterioro de la función inmunológica, trastornos metabólicos, pérdida ósea, síntomas de trastornos endocrinos; como se observa en la revisión.

Los resultados presentados son apoyados por Xue Weijie et al., (2021, p.1), quien en su investigación demuestra que cuando las plantas de arroz crecieron en arrozales con un contenido de Cd de 0,3 a 1,5 mg kg⁻¹, las cantidades de Cd en las

raíces y la paja fueron de 2 a 7 veces mayores que en la capa superior del suelo; el retorno de estos órganos vegetativos a la capa superior del suelo agravó el riesgo ecológico de la contaminación por Cd y el contenido de Cd en los granos de arroz fue de 0,1 a 1,3 mg kg⁻¹, y los cocientes de riesgo para los consumidores locales por consumo de estos arroces fueron de 0,7 a 8,8.

Lo que es respaldado por Qing Ying et al., 2020 en la tabla 4, donde indica que tras el incremento de Cd en los cultivos de arroz en tres décadas generó en los pobladores que un 26,6 % de los residentes de Shanghai presente un riesgo potencial de lesión renal calculado mediante el modelo toxicocinético (modelo TK), y los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) han ido en aumento (de 41,6 a 58,2).

Por otro lado, Li Tianyuan et al., (2017, p.1), creó un modelo para predecir los niveles de Cd bioaccesible en granos de arroz utilizando cantidades de Cd fitodisponibles en el suelo y durante la digestión in vitro se observó una relación relativamente constante entre el Cd total y el bioaccesible en el arroz; encontrando que aproximadamente el 14,89 % del Cd en los suelos se transfiere a los granos de arroz y hasta el 3,19 % podría transferirse de los granos de arroz al cuerpo humano.

Pero también, Mao Peng et al., (2019, p.1), adiciona que la distribución de las especies de Cd en los arrozales puede verse afectada por el pH del suelo; donde un valor de pH alto o aumentos de ligandos de fosfato en suelos de arroz conducen a Cd²⁺ hidrólisis y facilitar la precipitación de Cd(OH)₂ y Cd₃(PO₄)₂, lo que conlleva a la mortalidad, efectos significativos en la salud renal y Efectos adversos para la salud de los niños (2 a 14 años).

Ello es también apoyado por Shahriar S. y Rahman M., (2020), donde el cadmio ingerido diariamente osciló entre 0,09 y 0,58 µg/kg de peso corporal (bw) con un riesgo incremental de cáncer a lo largo de la vida (ILCR, por sus siglas en inglés) para las personas que varía entre 1.-3 y 8,7×10⁻³ en diferentes distritos; pero los grupos de edad (2 a 5 años) y (6 a 10 años) experimentaron mayores riesgos que

otros y se encontró que tanto hombres como mujeres eran susceptibles a la exposición al Cd del arroz.

Por otro lado, se analizaron las técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz, donde la técnica usada y los mejores resultados fueron los criterios empleados para clasificar a las técnicas de tratamientos físicos, químicos y biológicos; mostrando los resultados en la tabla N° 5.

Tabla N° 5: Técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz

Tipo de técnica usada	Tipo de enmienda	Enmiendas	% eliminación	Referencias
Adsorción / Tratamiento químico	Biocarbón	Biocarbón de paja de arroz	76%	Shen Zhengtao et al., 2019
		Biocarbón de cáscara de nuez	51,7 %	Jing Feng et al., 2020
		Biocarbón de paja de trigo	72,24 %	Qiu Zhen et al., 2018
		Biocarbón de cáscara de arroz acidificado	95,7 %	Ur Rehman M. et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Residuos animales procesados	Estiércol de vaca	90%	Saengwilai P. et al., 2017
		Cáscara de huevo	74%	Huang C. et al., 2020
		Estiércol de pollo	79,3 %	Wan et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Compost/residuos vegetales	Compost de residuos verdes	86. 88%	Zhang Siyu et al., 2019
		Compost de residuos agrícolas poscosecha y paja de arroz/trigo	89%	Bashir et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Biosólidos	Lodos de depuradora	No indica	Chagas Jhon K. et al., 2021
			50 %.	Zuo Wengang et al., 2021
	Minerales de arcilla	Bentonita Na	95 %	Chen De et al., 2020

Tipo de técnica usada	Tipo de enmienda	Enmiendas	% eliminación	Referencias
Adsorción / Tratamiento químico		Bentonita Sepiolita	64,6%	He Yin Hai et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Materiales calcáreos	CaCO ₃	88 %	Meng Long et al., 2019
		CaO YesoCa(OH) ₂	35,2 %	Zhai Weiwei et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Óxidos de metal	Barro rojo Goethita	67,95 %	Wang Yangyang et al., 2018
			75%	Irshad Muhammad K. et al., 2020
Adsorción / Tratamiento químico	Cenizas volátiles de carbón	Cenizas volátiles de carbón	88%	Munir Mehr A. et al., 2020
			56 %	Yin Aiguo et al., 2020

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5 para analizar las técnicas de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz se tiene que la técnica de tratamiento químico mediante adición de enmiendas al suelo por adsorción; siendo la introducción de enmiendas tanto orgánicas como inorgánicas de desechos animales procesados, materiales de encalado y biocarbón, son los que más se utilizan, presentando porcentajes de eliminación de Cd en los cultivos de arroz en promedios de 60 a 80%.

Ello debido a que la aplicación de enmiendas inorgánicas reduce el contenido de Cd en el arroz principalmente por la fijación del Cd en el suelo, siendo el mecanismo de acción en parte similar al de los compuestos orgánicos.

Es así como lo demuestran Chen De et al., (2020) y He Yinhai et al., (2020), quienes utilizaron minerales de arcilla como la bentonita y sepiolita para la pueden disminuir el contenido de Cd en el arroz mediante la formación de complejos con minerales añadidos, así como la precipitación de Cd en forma de hidróxidos y/o carbonatos; obteniendo porcentajes de remoción del 95 % y 64,6% respectivamente.

Para Meng Long et al., (2019), los materiales calcáreos como técnica de adsorción para la remediación de arrozales contaminados con Cd aumentó significativamente el pH del suelo y redujeron la biodisponibilidad de Cd en comparación con el control; así mismo, las concentraciones de Cd en el arroz integral de YY-17 y XS-09 fueron de 0,34 y 0,22 mg kg⁻¹ para los tratamientos de control, respectivamente, mientras que las concentraciones de Cd del grano de arroz se redujeron entre un 45 y un 88 % y entre un 55 y un 88 % como enmiendas del suelo para dos cultivares.

Siendo ello respaldado por, Zhai Weiwei et al., (2020), quien también utilizó materiales calcáreos para la técnica de adsorción y los resultados mostraron que la adición de TG disminuyó significativamente el pH y el carbono orgánico disuelto (DOC) en el suelo a granel, donde, la adición de TG mejoró significativamente el crecimiento de las plantas de arroz y redujo la biodisponibilidad de Cd, Pb y As; en particular, el Cd, Pb y As biodisponibles disminuyeron un 35,2 %, 38,1 % y 38,0 % en el tratamiento con TG-H durante la etapa de macollamiento, respectivamente.

Además, la aplicación de TG redujo significativamente la acumulación de Cd, Pb y As en el arroz integral.

Así mismo, para Yang Yang et al., (2021, p.1), la piedra caliza muestra un gran potencial para reducir la producción de arroz contaminado con cadmio (Cd) en suelos de arroz ácidos, siendo una enmienda potencial y efectiva para inmovilizar metal(loid)s en el suelo y, por lo tanto, reducir el riesgo de exposición de metal(loid)s asociado con el consumo de arroz.

Pero Jing Feng et al., 2020, Qiu Zhen et al., 2018 y Ur Rehman M. et al., 2020 refutan lo mencionado anteriormente, afirmando que con el uso del biocarbón con materiales orgánicos como Biocarbón de cáscara de nuez, Biocarbón de paja de trigo y Biocarbón de cáscara de arroz acidificado presentan remoción con alta eficiencia en porcentajes de 51,7 %, 72,24 % y 95,7 % respectivamente.

Esto es apoyado por Wang Quan et al., (2021, p.1), quien menciona que las enmiendas orgánicas como el biocarbón, os desechos animales, los fosfatos y el compost, se emplean ampliamente para remediar los suelos contaminados con metales pesados, ya que estos ayudan a mejorar el contenido de S, Si y Fe; y debido a ello puede ser considerado como una técnica de remediación eficaz para reducir la biodisponibilidad de Cd en los cultivos de arroz o arrozales.

Presentando un mayor respaldo también se menciona al estudio de Shen Zhengtao et al., (2019), en la tabla 5, donde utilizó biocarbón a partir de paja de arroz contaminada con cadmio (Cd), donde mediante la aplicación de tres tipos de pirólisis pudo descubrir que, el aumento de la temperatura de pirólisis más alta dio como resultado biocarbon con valores de pH más altos, mayor área de superficie y tamaños de poro más pequeños, lo que proporcionó una eliminación más rápida y eficiente de Cd.

Por otro lado, se evaluar los métodos de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd, presentando los resultados en la tabla 6.

Tabla N°6: Métodos de acción de las enmiendas

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados y Métodos de acción	Referencias
Biocarbón	Biocarbón de paja de arroz	Los tipos de cultivo, las propiedades del biocarbón, la profundidad de mezcla del biocarbón, las propiedades del suelo y los factores meteorológicos estuvieron involucrados en la inmovilización del Cd. Las aplicaciones de biocarbón también redujeron el uso de fertilizantes minerales.	Shen Zhengtao et al., 2019
	Biocarbón de cáscara de nuez		Jing Feng et al., 2020
	Biocarbón de paja de trigo		Qiu Zhen et al., 2018
	Biocarbón de cáscara de arroz acidificado		Ur Rehman M. et al., 2020
Residuos animales procesados	Estiércol de vaca	La quimisorción a través de desechos animales procesados en una forma no intercambiable fue un mecanismo potencial para reducir la movilidad del Cd y se debe examinar la dosificación adecuada para evitar el aumento de la solubilidad del Cd en el suelo.	Saengwilai P. et al., 2017
	Cáscara de huevo		Huang C. et al., 2020
	Estiércol de pollo		Wan et al., 2020
Compost / residuos vegetales	Compost de residuos verdes	Los efectos variables sobre la inmovilización de Cd resultaron de los niveles de madurez y composición del material, así como de las propiedades químicas del suelo. Además, en comparación con el uso directo de residuos vegetales, el compost puede maximizar la inmovilización de Cd.	Zhang Siyu et al., 2019
	Compost de residuos agrícolas poscosecha y paja de arroz/trigo		Bashir et al., 2020

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados y Métodos de acción	Referencias
Biosólidos	Lodos de depuradora	Los biosólidos actuaron como un sumidero eficaz para disminuir la biodisponibilidad de Cd en suelos contaminados y la eficacia se asoció principalmente con las propiedades del suelo y las concentraciones de Cd.	Chagas Jhon K. et al., 2021
			Zuo Wengang et al., 2021
Minerales de arcilla	Bentonita Na	El efecto de sorción se ha identificado como un posible mecanismo para la inmovilización de Cd y las cargas netas negativas de los minerales arcillosos son útiles para la inmovilización de iones de Cd.	Chen De et al., 2020
	Bentonita Sepiolita		He Yinhai et al., 2020
Materiales calcáreos	CaCO ₃ CaO YesoCa(OH) ₂	Los materiales de encalado también se han aplicado como enmiendas importantes para minimizar la toxicidad de Cd en los suelos. Se formaron carbonatos de Cd, fosfatos de Cd y numerosos complejos estables de Cd y redujeron la biodisponibilidad de Cd en los suelos.	Meng Long et al., 2019
			Zhai Weiwei et al., 2020
Óxidos de metal	Barro rojo Goethita	Los óxidos de metales anfóteros naturales y sintetizados y los residuos industriales con área de superficie alta y sitios de superficie reactivos fueron	Wang Yangyang et al., 2018
			Irshad Muhammad K. et al., 2020

Tipo de enmienda	Enmiendas	Resultados y Métodos de acción	Referencias
		ampliamente utilizados como adsorbentes debido a los efectos de sorción efectivos.	
Cenizas volátiles de carbón	Cenizas volátiles de carbón	La reducción de Cd causada por las cenizas volantes de carbón principalmente a través del aumento del pH del suelo. La eficacia puede verse afectada por el tipo de suelo, las características de las cenizas volantes de carbón y los componentes metálicos, y otras condiciones agroclimáticas.	Munir Mehr A. et al., 2020 Yin Aiguo et al., 2020

Elaboración propia

Por otro lado, los métodos de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd de acuerdo con los estudios comparados en la tabla 6 se tiene que el métodos de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd, consiste en la inmovilización del ion metálico Cd; posterior a ello técnicas como el uso de biocarbón, compost, adición de residuos animales procesados, entre otros utilizan la adsorción, quimisorción y sorción, para eliminar o minimizar la toxicidad de Cd en los suelos.

Así también, el incremento de pH es un método utilizado por la mayor parte de los estudios analizados, siendo así que el aumento del pH del suelo contribuye a la reducción por las enmiendas utilizadas como Cenizas volátiles de carbón y el biocarbón. Siendo esto corroborado por Munir Mehr A. et al., 2020, Yin Aiguo et al., 2020, Shen Zhengtao et al., 2019, Jing Feng et al., 2020, Qiu Zhen et al., 2018, Ur Rehman M. et al., 2020.

Esto es debido a que el aumento del pH del suelo contribuye a la reducción en la absorción y el transporte de Cd en el arroz, como lo demuestra Chen Hanbo et al., (2019, p.1), quien en su estudio mediante la adición de biocarbón aumentó el pH del suelo, el contenido de carbono orgánico y el contenido de fósforo disponible; lo que contribuyó a que el aumento de las tasas de aplicación de biocarbón disminuyeran las concentraciones de Cd en los suelos.

Mientras que, por otro lado, Chen De et al., 2020 y He Yinhai et al., 2020; señalan que el efecto de sorción se ha identificado como un posible mecanismo para la inmovilización de Cd.

Ello es también Wang Yangyang et al., 2018, señala que, los óxidos de metales anfóteros naturales y sintetizados y los residuos industriales con área de superficie alta y sitios de superficie reactivos fueron ampliamente utilizados como adsorbentes debido a los efectos de sorción efectivos. Presentando respaldo en las afirmaciones se encuentra Irshad Muhammad K. et al., 2020.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión de 28 literaturas a nivel internacional con el objetivo de analizar los aspectos más relevantes de la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd; se presentan las siguientes conclusiones:

- Las causas de la exposición permanente a los cultivos de arroz contaminados con Cd varía en base a los estándares sobre el contenido máximo permitido de Cd en el arroz. Así también, los daños en la salud son en su mayoría son por problemas respiratorios, función renal, deterioro de la función inmunológica, trastornos metabólicos, pérdida ósea, síntomas de trastornos endocrinos.
- La técnica de remediación que presenta mayor eliminación de Cd en cultivos de arroz es la técnica de tratamiento químico mediante adición de enmiendas al suelo por adsorción; siendo la introducción de enmiendas tanto orgánicas como inorgánicas de desechos animales procesados, materiales de encalado y biocarbón, son los que más se utilizan, presentando porcentajes de eliminación de Cd en los cultivos de arroz en promedios de 60 a 80%. Ello debido a que la aplicación de enmiendas inorgánicas reduce el contenido de Cd en el arroz principalmente por la fijación del Cd en el suelo, siendo el mecanismo de acción en parte similar al de los compuestos orgánicos.
- El método de acción de las enmiendas en la remediación de cultivos de arroz contaminados con Cd consiste en la inmovilización del ion metálico Cd; posterior a ello técnicas como el uso de biocarbón, compost, adición de residuos animales procesados, residuos animales procesados, entre otros utilizan la adsorción, quimisorción y sorción, para eliminar la toxicidad de Cd en los suelos. Así también, el incremento de pH es un método utilizado como método de acción, debido a que, el aumento del pH del suelo contribuye a la reducción por las enmiendas utilizadas como cenizas volátiles de carbón y el biocarbón.

VI. RECOMENDACIONES

En base a los estudios revisados y a los objetivos específicos desarrollados se realiza las siguientes recomendaciones prácticas:

- Realizar estudios enfocados en tratamientos biológicos, ya que no se han encontrado estudios actualizados que traten sobre la mitigación de la contaminación por Cd en cultivos agrícolas.
- También es recomendado, realizar estudios a nivel de Latinoamérica y nacionales, debido a que las problemáticas internacionales de la contaminación de los cultivos de arrozales por Cd son diferentes.
- Además, se recomienda a los futuros investigadores investigar más sobre la problemática de los cultivos no solo de arroz, si no, de los productos como el cacao, trigo, papa u otros que se dan con mayor producción y que presentan problemas de contaminación por metales pesados, para así despertar interés en propuestas sostenibles.

REFERENCIAS

1. ABBAS, Qumber, et al. Effects of biochar on uptake, acquisition and translocation of silver nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to growth, photosynthetic traits and nutrients displacement. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 250, p. 728-736. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.083>
2. AGUIRRE-FORERO, Sonia Esperanza; PIRANEQUE-GAMBASICA, Nelson Virgilio; VÁSQUEZ-POLO, José Rafael. Heavy metals content in soils and cocoa tissues in Magdalena department Colombia: emphasis in cadmium. *Entramado*, 2020, vol. 16, no 2, p. 298-310. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6753>
3. ANTONIADIS, Vasileios, et al. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. *Earth-Science Reviews*, 2017, vol. 171, p. 621-645. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>
4. AOSHIMA, Keiko. Itai-itai disease: renal tubular osteomalacia induced by environmental exposure to cadmium—historical review and perspectives. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2016, vol. 62, no 4, p. 319-326. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1159116>
5. ASIMINICESEI, Dana Mihaela; HLIHOR, Raluca Maria; GAVRILESCU, MARIA. Heavy metals: a source of contamination for medicinal plants and possible implications to human health. 2020. Disponible en: [https://www.uaiasi.ro/revista_horti/files/Nr1_2020/vol%2063_1_2020%20\(5\).pdf](https://www.uaiasi.ro/revista_horti/files/Nr1_2020/vol%2063_1_2020%20(5).pdf)
6. AZEEM, Muhammad, et al. Effects of sheep bone biochar on soil quality, maize growth, and fractionation and phytoavailability of Cd and Zn in a mining-contaminated soil. *Chemosphere*, 2021, p. 131016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131016>
7. BEIYUAN, Jingzi, et al. Integrating EDDS-enhanced washing with low-cost stabilization of metal-contaminated soil from an e-waste recycling site. *Chemosphere*, 2016, vol. 159, p. 426-432. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.030>

8. BEIYUAN, Jingzi, et al. Chelant-enhanced washing of CCA-contaminated soil: coupled with selective dissolution or soil stabilization. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 612, p. 1463-1472. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.015>
9. BHAKTA, Jatindra N., et al. Profiling of heavy metal (loid)-resistant bacterial community structure by metagenomic-DNA fingerprinting using PCR–DGGE for monitoring and bioremediation of contaminated environment. *Energy, Ecology and Environment*, 2018, vol. 3, no 2, p. 102-109. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0079-2>
10. CHAGAS, Jhon Kenedy Moura, et al. The residual effect of sewage sludge biochar on soil availability and bioaccumulation of heavy metals: Evidence from a three-year field experiment. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 279, p. 111824. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111824>
11. CHEN, De, et al. The effect of sepiolite application on rice Cd uptake—A two-year field study in Southern China. *Journal of environmental management*, 2020, vol. 254, p. 109788. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109788>
12. CHEN, Hanbo, et al. Effect of biochars on the bioavailability of cadmium and di-(2-ethylhexyl) phthalate to *Brassica chinensis* L. in contaminated soils. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 678, p. 43-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.417>
13. CHEN, Hongping, et al. Dietary cadmium intake from rice and vegetables and potential health risk: a case study in Xiangtan, southern China. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 639, p. 271-277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.201805.050>
14. DUAN, Guilan, et al. Genotypic and environmental variations in grain cadmium and arsenic concentrations among a panel of high yielding rice cultivars. *Rice*, 2017, vol. 10, no 1, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12284-017-0149-2>

15. ELBANA, Tamer A., et al. Freundlich sorption parameters for cadmium, copper, nickel, lead, and zinc for different soils: Influence of kinetics. *Geoderma*, 2018, vol. 324, p. 80-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.019>
16. FIERER, Noah. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 2017, vol. 15, no 10, p. 579-590. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>
17. GAO, Min, et al. Foliar spraying with silicon and selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 631, p. 1100-1108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.047>
18. HAMID, Yasir, et al. Organic soil additives for the remediation of cadmium contaminated soils and their impact on the soil-plant system: A review. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 707, p. 136121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136121>
19. HE, Yin Hai, et al. Simultaneous reduction of arsenic and cadmium bioavailability in agriculture soil and their accumulation in *Brassica chinensis* L. by using minerals. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2020, vol. 198, p. 110660. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110660>
20. HONMA, Toshimitsu, et al. Optimal soil Eh, pH, and water management for simultaneously minimizing arsenic and cadmium concentrations in rice grains. *Environmental Science & Technology*, 2016, vol. 50, no 8, p. 4178-4185. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05424>
21. HOU, Deyi; LI, Fasheng. Complexities surrounding China's soil action plan. *Land Degradation & Development*, 2017, vol. 28, no 7, p. 2315-2320. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2741>
22. HU, Wenyong, et al. Soil environmental quality in greenhouse vegetable production systems in eastern China: current status and management strategies. *Chemosphere*, 2017, vol. 170, p. 183-195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.047>

23. HU, Yuanan; CHENG, Hefa; TAO, Shu. The challenges and solutions for cadmium-contaminated rice in China: a critical review. *Environment international*, 2016, vol. 92, p. 515-532. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.04.042>
24. HUANG, Chiyue; HUANG, Hongli; QIN, Pufeng. In-situ immobilization of copper and cadmium in contaminated soil using acetic acid-eggshell modified diatomite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 103931. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103931>
25. HUSSAIN, Babar, et al. Strategies for reducing cadmium accumulation in rice grains. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 286, p. 125557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125557>
26. IMSENG, Martin, et al. Towards an understanding of the Cd isotope fractionation during transfer from the soil to the cereal grain. *Environmental pollution*, 2019, vol. 244, p. 834-844. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.149>
27. IRSHAD, Muhammad Kashif, et al. Goethite-modified biochar restricts the mobility and transfer of cadmium in soil-rice system. *Chemosphere*, 2020, vol. 242, p. 125152. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125152>
28. Jaskulak, M., & Grobelak, A. (2019). Cadmium Phytotoxicity—Biomarkers. *Cadmium Tolerance in Plants*, 177–191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815794-7.00006-0>
29. JING, Feng, et al. Effects of wheat straw derived biochar on cadmium availability in a paddy soil and its accumulation in rice. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 257, p. 113592. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113592>
30. KHALID, Sana, et al. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 182, p. 247-268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>
31. KHALIQ, Muhammad Athar, et al. Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, 2019, vol. 215, p. 916-924. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.077>

32. KHAN, Shamsad, et al. Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 417, p. 126039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126039>
33. KONGOR, John Edem, et al. Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile—A review. *Food Research International*, 2016, vol. 82, p. 44-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
34. KUPPUSAMY, Saranya, et al. Ex-situ remediation technologies for environmental pollutants: a critical perspective. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 236*, 2016, p. 117-192. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20013-2_2
35. LAJAYER, Behnam Asgari; GHORBANPOUR, Mansour; NIKABADI, Shahab. Heavy metals in contaminated environment: destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, vol. 145, p. 377-390. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.035>
36. LI, Tianyuan, et al. Cadmium transfer from contaminated soils to the human body through rice consumption in southern Jiangsu Province, China. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2017, vol. 19, no 6, p. 843-850. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6EM00631K>
37. LI, Yuxin, et al. Remediation of cadmium contaminated water and soil using vinegar residue biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 16, p. 15754-15764. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1762-3>
38. LIU, Huakang, et al. Ecological responses of soil microbial abundance and diversity to cadmium and soil properties in farmland around an enterprise-intensive region. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 392, p. 122478. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122478>
39. LIU, Huakang, et al. Effect of *Serratia* sp. K3 combined with organic materials on cadmium migration in soil-*Vetiveria zizanioides* L. system and bacterial community in contaminated soil. *Chemosphere*, 2020, vol. 242, p. 125164. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125164>

40. LIU, Yuling, et al. Inoculation of soil with cadmium-resistant bacterium *Delftia* sp. B9 reduces cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) grains. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 163, p. 223-229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.081>
41. LUO, Hui-Fang, et al. Analyzing the role of soil and rice cadmium pollution on human renal dysfunction by correlation and path analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 2, p. 2047-2054. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7845-0>
42. MAO, Peng, et al. Phosphate addition diminishes the efficacy of wollastonite in decreasing Cd uptake by rice (*Oryza sativa* L.) in paddy soil. *Science of the total environment*, 2019, vol. 687, p. 441-450. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.471>
43. MARIET, Anne-Lise, et al. Impact assessment of legacy wastes from ancient mining activities on current earthworm community. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 393, p. 122369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122369>
44. MCLAUGHLIN, M. J., et al. Managing cadmium in agricultural systems. *Adv. Agron*, 2021, vol. 166, p. 1-129. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=xQAAEAAAQBAJ&lpq=PA1&ots=ix4U0BWRUR&dq=Chapter%20One%20-%20Managing%20cadmium%20in%20agricultural%20systems&lr&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q=Chapter%20One%20-%20Managing%20cadmium%20in%20agricultural%20systems&f=false>
45. MENG, Long, et al. Decreasing cadmium uptake of rice (*Oryza sativa* L.) in the cadmium-contaminated paddy field through different cultivars coupling with appropriate soil amendments. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, vol. 19, no 4, p. 1788-1798. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2186-x>
46. MUNIR, Mehr Ahmed Mujtaba, et al. Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere*, 2020, vol. 240, p. 124845. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124845>

47. NISHIJO, Muneko; NAKAGAWA, Hideaki. Effects of cadmium exposure on life prognosis. En *Cadmium Toxicity*. Springer, Singapore, 2019. p. 63-73. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3630-0_5
48. NOGAWA, Kazuhiro, et al. Relationship between mortality and rice cadmium concentration in inhabitants of the polluted Jinzu River basin, Toyama, Japan: A 26 year follow-up. *Journal of Applied Toxicology*, 2018, vol. 38, no 6, p. 855-861. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jat.3593>
49. PALANSOORIYA, Kumuduni Niroshika, et al. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment international*, 2020, vol. 134, p. 105046. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>
50. PASTORELLI, Augusto Alberto, et al. Exposure to cadmium through Italian rice (*Oryza sativa* L.): Consumption and implications for human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2018, vol. 69, p. 115-121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.02.005>
51. QING, Ying, et al. Cancer risk and disease burden of dietary cadmium exposure changes in Shanghai residents from 1988 to 2018. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 734, p. 139411. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139411>
52. QIU, Zhen, et al. A study of cadmium remediation and mechanisms: Improvements in the stability of walnut shell-derived biochar. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 636, p. 80-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.215>
53. RIZWAN, Muhammad, et al. Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, no 18, p. 17859-17879. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6436-4>
54. SAENGWILAI, Patompong, et al. Influence of amendments on Cd and Zn uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) in contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 18, p. 15756-15767. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9157-4>

55. SANDERS, Alison P., et al. Combined exposure to lead, cadmium, mercury, and arsenic and kidney health in adolescents age 12–19 in NHANES 2009–2014. *Environment international*, 2019, vol. 131, p. 104993. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104993>
56. SHAHRIAR, Syfullah; RAHMAN, Mohammad Mahmudur; NAIDU, Ravi. Geographical variation of cadmium in commercial rice brands in Bangladesh: Human health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 716, p. 137049. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137049>
57. SHAKOOR, Muhammad Bilal, et al. Exploring the arsenic removal potential of various biosorbents from water. *Environment international*, 2019, vol. 123, p. 567-579. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.049>
58. SHEN, Zhengtao, et al. Risk evaluation of biochars produced from Cd-contaminated rice straw and optimization of its production for Cd removal. *Chemosphere*, 2019, vol. 233, p. 149-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.238>
59. SIDHU, Gagan Preet Singh; BALL, Aditi Shreeya; BHARDWAJ, Renu. Role of organic acids in mitigating cadmium toxicity in plants. En *Cadmium tolerance in plants*. Academic Press, 2019. p. 255-279. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00010-2>
60. SONG, Yan, et al. Dietary cadmium exposure assessment among the Chinese population. *PLoS One*, 2017, vol. 12, no 5, p. e0177978. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177978>
61. SUWATVITAYAKORN, Parin, et al. Human health risk assessment of cadmium exposure through rice consumption in cadmium-contaminated areas of the Mae Tao sub-district, Tak, Thailand. *Environmental geochemistry and health*, 2020, vol. 42, no 8, p. 2331-2344. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00410-7>
62. UR REHMAN, Muhammad Zia, et al. Effect of acidified biochar on bioaccumulation of cadmium (Cd) and rice growth in contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, vol. 19, p. 101015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101015>

63. WANG, Lei, et al. Green remediation of As and Pb contaminated soil using cement-free clay-based stabilization/solidification. *Environment international*, 2019, vol. 126, p. 336-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.057>
64. WANG, Quan, et al. Fe/Mn-and P-modified drinking water treatment residuals reduced Cu and Pb phytoavailability and uptake in a mining soil. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 403, p. 123628. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123628>
65. WANG, Yangyang, et al. Stabilization of Cd-, Pb-, Cu-and Zn-contaminated calcareous agricultural soil using red mud: a field experiment. *Environmental geochemistry and health*, 2018, vol. 40, no 5, p. 2143-2153. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0089-9>
66. WEI, Rongfei, et al. Fractionation of stable cadmium isotopes in the cadmium tolerant *Ricinus communis* and hyperaccumulator *Solanum nigrum*. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, no 1, p. 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep24309>
67. WEI, Rongfei, et al. Characteristics of cadmium accumulation and isotope fractionation in higher plants. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 174, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.003>
68. WIGGENHAUSER, Matthias, et al. Cadmium isotope fractionation in soil–wheat systems. *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50, no 17, p. 9223-9231. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01568>
69. XUE, Weijie, et al. Rice organs concentrate cadmium by chelation of amino acids containing dicarboxyl groups and enhance risks to human and environmental health in Cd-contaminated areas. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 128130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128130>
70. YANG, Yang, et al. Evaluating the potential health risk of toxic trace elements in vegetables: accounting for variations in soil factors. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 584, p. 942-949. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.143>

71. YAN, Ying, et al. Source attributions of Cadmium contamination in rice grains by Cadmium isotope composition analysis: A field study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 210, p. 111865. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111865>
72. YIN, Zerun, et al. Inter-annual reduction in rice Cd and its eco-environmental controls in 6-year biannual mineral amendment in subtropical double-rice cropping ecosystems. *Environmental Pollution*, 2021, p. 118566. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118566>
73. YIN, Aiguo, et al. Reduction of Cd accumulation in Se-biofortified rice by using fermented manure and fly ash. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, no 31, p. 39391-39401. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10031-8>
74. YOO, Jong-Chan, et al. A combination of ferric nitrate/EDDS-enhanced washing and sludge-derived biochar stabilization of metal-contaminated soils. *Science of the total environment*, 2018, vol. 616, p. 572-582. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.310>
75. ZHAI, Weiwei, et al. Simultaneous immobilization of the cadmium, lead and arsenic in paddy soils amended with titanium gypsum. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 258, p. 113790. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113790>
76. ZHANG, Siyu, et al. Humic substances from green waste compost: an effective washing agent for heavy metal (Cd, Ni) removal from contaminated sediments. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 366, p. 210-218. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.103>
77. ZANG, Yu, et al. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium, 2015. *Environmental research*, 2019, vol. 169, p. 72-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.005>
78. Zeece, M. (2020). Food additives. *Introduction to the Chemistry of Food*, 251–311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809434-1.00007-4>
79. ZHANG, Siyu, et al. Humic substances from green waste compost: an effective washing agent for heavy metal (Cd, Ni) removal from contaminated sediments. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 366, p. 210-218. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.103>

80. ZHANG, Xiuying, et al. Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. PLoS One, 2015, vol. 10, no 8, p. e0135182. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135182>
81. ZUO, Wengang, et al. Sustained effects of one-time sewage sludge addition on rice yield and heavy metals accumulation in salt-affected mudflat soil. Environmental Science and Pollution Research, 2021, vol. 28, no 6, p. 7476-7490. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11115-1>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO		
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION
TIPO DE INVESTIGACION:		
PALABRAS CLAVES:	Remediation, Approaches, Mitigate, Cd, Pollution, Rice, Crops	
EXPOSICION A LOS CULTIVOS DE ARROZ		
REMEDIACION QUE PRESANTA MAYOR ELIMINACION DE CD		
METODOS DE ACCION EMPLEADAS EN LA REMEDIACION		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia