



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Cossio Vilchez, Ayme Stefany (ORCID: 0000-0003-1200-3586)

León Lloclla, Cristian David (ORCID: 0000-0001-8601-1293)

ASESOR:

Dr. Munive Cerrón, Rubén Víctor (ORCID: 0000-0001-8951-2499)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA — PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta investigación está dedicada a todas las personas que usan el conocimiento para la solución de problemas, aquellos que tienen la visión de una sociedad más justa y los que siempre vigilan y cuidan el ambiente.

Agradecimiento

A nuestras familias por darnos el apoyo y las facilidades para lograr nuestros objetivos.

A nuestras amistades por guiarnos y aconsejarnos en este largo camino.

A la universidad Cesar Vallejo y todo el recurso humano que nos permitió formarnos y enseñar lo aprendido.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación	17
3.2. Variables y operacionalización:	17
3.3. Población, muestra y muestreo	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.5. Procedimiento	20
3.6. Método de análisis de datos.....	23
3.7. Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS	24
V. DISCUSIÓN.....	50
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Estrategia de búsqueda	18
Tabla 2. Procedencia de documentos.....	24
Tabla 3. Evaluación de la calidad de los artículos científicos	27
Tabla 4. Ficha de registro de aspectos generales	30
Tabla 5. Ficha de registro de variables de investigación	38
Tabla 6. Agrupación de bioadsorbentes por su procedencia	42
Tabla 7. Tabla de frecuencia del porcentaje de remoción	45
Tabla 8. Tabla de frecuencia del tiempo de contacto.....	47

Índice de figuras

Figura 1. Procedimiento de ejecución	21
Figura 2. Diagrama de las bases de datos	24
Figura 3. Procedencia de documentos	25
Figura 4. Diagrama de exclusión de artículos.....	26
Figura 5. Bioadsorbentes utilizados.....	42
Figura 6. Metaanálisis realizado en el programa Revman.....	43
Figura 7. Porcentaje de remoción, gráfico de barras.....	46
Figura 8. Porcentaje de remoción, gráfico circular	46
Figura 9. Tiempo de contacto, gráfico de barras.	48
Figura 10. Tiempo de contacto, gráfico circular	48
Figura 11. Eficiencia de remoción: Porcentaje y tiempo.....	49

Resumen

Esta investigación tuvo como finalidad presentar y fomentar el uso de bioadsorbentes como una alternativa al uso de materiales convencionales para remover el cadmio del medio acuoso. Los objetivos fueron conocer la eficiencia de los bioadsorbentes en términos de porcentaje y tiempo. Se realizó una revisión sistemática en las bases de datos Scopus y Web of Science, con una estrategia de búsqueda bien definida y con los criterios de inclusión (artículos de libre descarga en formato PDF y que usen bioadsorbentes secos muertos o inactivados) y exclusión (uso de adsorbentes no biológicos, vivos o compuestos orgánicos; aplicación en otro medio; estudios teóricos, de resistencia o bioacumulación y solo evaluación binaria o multimetal), siendo el 30 de setiembre la última fecha de búsqueda. Después de una lectura exhaustiva los artículos fueron filtrados por la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada. Fueron 53 artículos que se recopilaron en las fichas de registro y se analizaron en los programas Revman y Excel. En el metaanálisis el grupo experimental fueron los bioadsorbentes y el control simulado fue zeolita. Los resultados generales muestran que los bioadsorbentes son una buena alternativa para remover el cadmio del medio acuoso, siendo los hongos los más eficientes.

Palabras clave: Remoción de cadmio, bioadsorbentes, revisión sistemática.

Abstract

The purpose of this research was to present and promote the use of bioadsorbents as an alternative to the use of conventional materials to remove cadmium from the aqueous medium. The objectives were to know the efficiency of bioadsorbents in terms of percentage and time. A systematic review was carried out in the Scopus and Web of Science databases, with a well-defined search strategy and inclusion criteria (articles freely downloadable in PDF format and using dry dead or inactivated bioadsorbents) and exclusion criteria (use of non-biological adsorbents, living or organic compounds; application in another medium; theoretical, resistance or bioaccumulation studies and only binary or multimetal evaluation), with September 30 being the last search date. After an exhaustive reading, the articles were filtered by the modified Newcastle-Ottawa checklist. There were 53 articles that were compiled in the registry files and analyzed in Revman and Excel programs. In the meta-analysis the experimental group was bioadsorbents and the sham control was zeolite. The general results show that bioadsorbents are a good alternative to remove cadmium from the aqueous medium, with fungi being the most efficient.

Keywords: Cadmium removal, bioadsorbents, systematic review.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso insustituible y esencial para la vida, pero a pesar que se considera renovable, sin el control de su uso, tratamiento o liberación, este también se convierte en un recurso finito. Es un derecho universal su acceso, consumo, saneamiento, calidad y seguridad, entendiéndose que para el desarrollo sostenible de un país es importante que las diferentes actividades económicas tengan un impacto positivo con los recursos hídricos.

Pero a pesar de todo esfuerzo de la ciencia y algunas autoridades para combatir los efectos adversos de las actividades económicas, estos persisten, siendo la contaminación del agua el problema más notable, que impacta negativamente en sus características químicas, físicas y biológicas, afectando la salud humana, flora y fauna.

Uno de los riesgos más alarmantes a los que están expuesto los recursos hídricos es la contaminación por metales pesados, ya que son bioacumulativos. Reyes *et al.* (2016) nos dicen que la presencia de metales pesados se da por vía natural y antropogénica, son persistentes, no pueden ser degradados por procesos biológicos o antropogénicos, y su toxicidad depende del tipo de metal y su concentración. Rodríguez (2017) menciona que las vías de entrada de estos elementos al organismo se dan por ingestión, inhalación y dérmico, estos metales pesados pueden ser esenciales (micronutrientes y macronutrientes, necesarios en cierta cantidad definida por día) y no esenciales (antimonio, arsénico, berilio, cadmio, estroncio, mercurio, níquel, plomo y titanio) los cuales a determinadas cantidades causas efectos adversos a la salud.

En el Perú el riesgo de liberación y contaminación por metales pesados son originados principalmente por la industria y la agricultura (Anexo 3: Principales actividades generadoras de metales pesados), siendo los ambientes acuáticos los más vulnerables. En todo rubro la contaminación se ve incrementada por las actividades informales e ilegales, Villena (2018) menciona que el Perú es un país con gran potencial geológico que hace atractivo a las inversiones mineras, pero existe una paradoja aun no resuelta, mientras que esta actividad es un fuerte

contribuyente de riqueza también es un fuerte contribuyente de contaminación, ya que para el desarrollo de esta actividad se remueven millones de metros cúbicos de territorio, siendo las mermas las que por medios atmosféricos e hídricos hacen que el material particulado llegue a las personas o en forma de agua potable, alimentos o en el aire que se respira. En vez de elaborar estándares ambientales más estrictos y hacer más competitivo el sector, los intereses de empresas y autoridades buscan mayor flexibilidad, corrompiendo así los objetivos que buscan el desarrollo sostenible.

Niezen y Alvitres (2020) nos comentan diferentes casos de personas y comunidades afectadas por la exposición y consumo de metales pesados; como el caso de Carmen Chambi de Espinar, cuyo hijo fue diagnosticado con 17 metales pesados en el organismo; el caso de Flor de María de la comunidad nativa de Cuninico, la cual señala que cuando llega el verano y las lluvias se van, las aguas del río son usadas para el consumo, la cual contiene niveles altos de metales pesados; entre otros casos. Todos estos con un problema común, se conoce la consecuencia, pero no el responsable de la contaminación. Ante este reclamo las comunidades de los andes y amazonia tomaron la iniciativa de crear la Plataforma Nacional de Afectados y Afectadas por Metales Tóxicos, la cual busca defender los derechos de las personas afectadas, así como frenar la contaminación de sus cuerpos, tierras y ríos. Muchos casos registrados son productos de pasivos ambientales abandonados por la minería ilegal.

Las técnicas para remover metales pesados de aguas residuales, según Caviedes *et al.* (2015) se dividen en convencionales (técnicas físico químicas) y no convencionales (residuos industriales y biomasa). Tejada *et al.* (2018) menciona que los métodos convencionales más aplicados poseen desventajas como costos elevados, producción excesiva de lodos y una remoción incompleta, generando que estos métodos se consideren desfavorables y carente de eficacia. Por lo cual se buscan tecnologías sostenibles de manera que estas reemplacen los métodos tradicionales, mediante la aplicación de residuos agrícolas como bioadsorbentes que son de costo bajo, eficaces y reutilizables como alternativa al tratamiento de aguas residuales.

Debido a la contaminación de recursos hídricos por metales pesados nace la necesidad de recopilar información, analizarla y difundir el uso de bioadsorbentes como posible solución a esta problemática. Para esta investigación tomaremos al cadmio (Cd) por ser un metal pesado presente en varias actividades del ser humano, tal como lo apreciamos en el Anexo 3. Entonces se formula el siguiente **problema general** ¿Cuál es la eficiencia de los bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso? Así mismo se formulan los problemas específicos ¿Qué bioadsorbente tiene mayor porcentaje de remoción de cadmio en medio acuoso? ¿Qué bioadsorbente tiene menor tiempo de acción en la remoción de cadmio en medio acuoso?

Por lo tanto, la importancia de este estudio recae en la búsqueda de información para evidenciar soluciones a la contaminación por cadmio presente en medio acuoso, para ello se busca recopilar, sintetizar, analizar y difundir los estudios referentes al uso de bioadsorbentes.

Entonces, la investigación se justifica a nivel teórico ya que busca el aporte de conocimientos sobre el uso de bioadsorbentes para remover cadmio, y servir como base guía para futuras investigaciones experimentales.

A nivel práctico se justifica ya que se obtendrá resultados estadísticos sobre el tiempo y eficiencia de remoción de los bioadsorbentes analizados, el cual ayudará a definir los bioadsorbentes idóneos a cada contexto.

A nivel social se justifica ya que el uso de bioadsorbentes es una solución ecoamigable por ende tiene mayor aceptación por la población, ideal para los andes y amazonia donde se prioriza lo orgánico a lo sintético.

A nivel ambiental se justifica por el uso de desechos agroindustriales, dándole valor agregado y reinsertándolos a la cadena de valor dentro del enfoque de economía circular, cumpliendo así la ley 1278 y su reglamento.

A nivel económico se justifica ya que busca reducir los costos al emplear adsorbentes biológicos frente a los elevados costos de los adsorbentes convencionales.

Entonces, en base a la problemática y a la literatura recopilada por medio de la revisión sistemática y metaanálisis, se planteó el **objetivo general**: Determinar la eficiencia del uso bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso.

Así mismo con la información que será recolectada y analizada en las fichas de registro, se planteó los siguientes **objetivos específicos**:

- Determinar que bioadsorbente tiene mayor porcentaje de remoción.
- Identificar que bioadsorbente tiene menor tiempo de acción.

II. MARCO TEÓRICO

Valladares *et al.* (2017, p.61), mencionan que la adsorción se define como la interrelación de fuerzas van der Waals que posibilitan a las partículas, moléculas o iones permanecer sobre la superficie de un elemento. El material que se adsorbe se le conoce como adsorbato y el componente que se utiliza para su adsorción se le conoce como adsorbente.

Para Caviedes *et al.* (2015, p.82), el proceso de adsorción es el traspaso de masa mediante el cual una sustancia se traslada de su estado líquido a la superficie del cuerpo en contacto.

Sánchez *et al.* (2020, p.5), afirman que la adsorción es un procedimiento eficaz para remover metales pesados en aguas residuales, brinda beneficios en la flexibilidad de diseño y la recuperación eficaz del adsorbente mediante la desorción. La productividad del proceso requiere de la elección del adsorbente a emplear, normalmente es carbón activado, pero este es un material caro. Según Carvajal y Marulanda (2020, p.45), hay dos tipos de adsorbentes utilizados en la eliminación de contaminantes: naturales y artificiales, dentro de los artificiales se mencionan a las arcillas o carbones activados y dentro de los naturales se pueden mencionar las biomasas (algas, bacterias, levaduras y hongos) conjuntamente con los residuos orgánicos y/o agroindustriales.

Según Tejada, Villabona y Garcés (2015, p.115), los bioadsorbentes se someten a procesos fisicoquímicos de bajo costo; con la finalidad de aumentar la adsorción en los procesos de eliminación de metales pesados o para recuperar metales en solución.

Según Sánchez *et al.* (2020, p.3), los metales pesados se pueden encontrar de manera natural y antropogénica, el primero menciona la meteorización de rocas y actividad volcánica mientras que el segundo hace referencia a las actividades ocasionadas por el hombre, abarcando cinco clases: actividades industriales, agrícolas, disposición de residuos, minería y metalurgia.

Según Londoño, Londoño y Muñoz (2016, p.147), las características de los metales pesados son: densidad mayor a 4g/cm³, masa, peso atómico mayor de 20

y altamente tóxicos en concentraciones pequeñas. Son persistentes, bioacumulativos y se biotransforman, hallándose en los ecosistemas por extensos períodos, ya que su degradación natural es dificultosa (Rodríguez, 2017, p.7003).

Schlapbach (2016, p.1), menciona que hay numerosos estudios sobre la influencia de los metales pesados en toda la cadena trófica. Las consecuencias negativas sobre las personas y animales son daños al sistema nervioso, función hepática, renal, musculo esquelética, reproductiva, alteraciones mutagénicas y cancerígenas.

Según Kumar *et al.* (2020, p.2) el cadmio es un metal pesado perjudicial para la gran parte del ecosistema acuático inclusive en concentraciones bajas. Las fuentes de cadmio pueden ser naturales encontrándose en algunos tipos de rocas y suelos, la segunda es la fuente antropogénica presente en las diferentes actividades realizadas por los diversos tipos de industrias.

Según Li *et al.* (2021, p.2) menciona que el cadmio tiene un tiempo de vida de aproximadamente entre 20 a 30 años en el cuerpo humano. La exposición prolongada a niveles elevados puede causar daños en las distintas funciones del organismo.

Según Fomina y Gadd (2014, p.1) definen a la biosorción como un proceso fisicoquímico y metabólicamente autónomo determinado por diversos mecanismos que incluyen principalmente a la adsorción, absorción, intercambio iónico entre otros.

Rodríguez *et al.* (2017), evaluaron la eficacia del Amaranto en la eliminación del Cr (VI) en solución acuosa. La metodología de colorimetría usando difenilcarbazida. Se estudió la adsorción de 100 mg/L de Cr (VI) a distintos tiempos y pH. Hallando el pH de 1.0, óptimo para la eliminación del 100% del metal en un periodo de 4 horas a 25 °C y 5 g de biomasa. Además, se determinó que el aumento de la temperatura influye en la eliminación del metal dado que se halló que a 60 °C se elimina el 100% en un tiempo de 75 minutos.

Aguaro y Onofre (2018), buscaron generar un modelo matemático, mejorando los parámetros: concentración de adsorbente, tiempo y eliminación de

la concentración de cromo, aplicando cáscara de huevo calcinada en una solución sintética. El procedimiento consistió en la recolección de las cáscaras de huevo, este se inicia quitando las impurezas y sustancias que puedan intervenir en el proceso para lo cual se limpió usando agua destilada y secándose a 100 °C por 24 horas, a continuación, se pulverizó la muestra finalizando con la abrasión en un horno a 800 °C por 2 horas. Se aplica un diseño experimental factorial de tres variables con dos niveles. Se encontraron las condiciones adecuadas para variables: 50 g/L de adsorbente de cáscara de huevo, tiempo: 15 minutos con parámetros de pH = 2 y con un movimiento de 200 rpm con una temperatura ambiente, logrando una eliminación del 89%. Se concluyó que la aplicación del adsorbente de cáscara de huevo carbonizada es eficaz para eliminar cromo hexavalente del agua.

Salazar y Rodríguez (2017), buscaron preparar y estudiar un adsorbente usando residuos orgánicos para eliminar cobre en solución acuosa. La metodología se basó en la recolección de cáscara de huevo y conchas marinas, también se usó carbón activado y bentonita. Se procedió con la formación de pellets y someterlos a distintas temperaturas para lograr la composición requerida. Se utiliza una solución de 150 ml de Cu^{+2} contenidos en 7 recipientes plásticos y se adicionan 5 g de los adsorbentes. Para la eliminación se sacuden dichos frascos para lograr la unión del adsorbente y la solución. Se llegan a los tiempos acordados y se toma una muestra de 100 ml de Cu^{+2} para estudiarlo por medio de absorción atómica. Los resultados mostraron una eliminación al 99%. Se concluyó que los pellets formados con los residuos orgánicos tienen una alta capacidad para eliminar cobre.

Rodríguez *et al.* (2020), calcularon la capacidad del ramnolípido para remover agua contaminada por cobre. Se emplea ramnolípido de la *Pseudomonas aeruginosa* ORA 9. Aplicando el diseño factorial Box-Bhenkenanaliza, analizando los factores: pH en solución de ramnolípidos, tiempo de contacto y concentración de surfactante. Se evidencia el aumento en la eliminación del cobre en función al tiempo de contacto y surfactante logrando el 48% de eliminación en un tiempo de 10 horas y a concentración de 120 mg/L. Se concluyó que la aplicación de ramnolípidos es una opción para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas.

Santos *et al.* (2017), estudiaron la remoción del As (V) usando el hongo *Aspergillus niger* en solución acuosa. Para hallar la concentración de iones As (V) se aplicó la espectrometría de absorción atómica en la solución, evidenciando la relación inversamente proporcional de la concentración de As y la remoción de este, así como la directa relación entre el adsorbente y su capacidad de remoción, dando como resultado una remoción de 69% de As (V) en un tiempo de 24 horas a 28 °C, 100 rpm y 1 g de biomasa. La aplicación del *Aspergillus niger* se plantea como alternativa en el tratamiento de aguas contaminadas.

Pérez *et al.* (2018), estudiaron la adsorción microbiana en el proceso de eliminar metales pesados. Para ello se analizan diferentes estudios realizados por diversos autores tomando en cuenta parámetros en común y la influencia de estos en el proceso de adsorción de metales pesados. A su vez se detallan los diferentes microorganismos existentes y la capacidad de estos para remover determinados metales. De esta manera se busca una mejor comprensión del proceso y darle la relevancia necesaria para plantearla como una alternativa al problema de contaminación de agua por metales pesados dado a los múltiples beneficios que tiene su aplicación. Se concluye que hay mucha información bibliográfica que avala la efectividad del uso de microorganismos para remover metales pesados.

Prieto *et al.* (2020), cuyo objetivo fue mejorar las características del carbón activado usando bagazo de caña de azúcar. La preparación comienza con el secado y molienda del bagazo, luego someterlo a distintas temperaturas (600 y 800 °C), el resultado se analizó con azul de metileno evaluando los distintos parámetros físicos, siguiendo con el análisis de la cinética de adsorción de iones Cd (II), aplicando la técnica de absorción atómica aplicando diferentes modelos. Se concluye que las condiciones ideales fueron a 800 °C y 120 minutos, se demuestra que el bagazo presenta capacidades para adsorber Cd (II) en soluciones acuosas.

Hernández *et al.* (2017), analizaron la modificación química de la cáscara de coco aplicando una solución de ácido nítrico y así evaluar su capacidad para eliminar iones Ni (II) en solución acuosa. La modificación química del coco con ácido nítrico genera el aumento de los grupos ácidos en la superficie del adsorbente. Produciendo el incremento de la capacidad de absorción y porcentaje de eliminación del Ni (II). Se usa el modelo de Freundlich para explicar el proceso

de adsorción. El equilibrio de adsorción se da a concentraciones 0.5 y 3.5 g/L del metal. La modificación química se evaluó mediante un diseño experimental con un pH de 1.2 y 6.9, produciéndose el incremento de la absorción y porcentajes de eliminación del Ni (II).

Belcaid *et al.* (2021), analizaron el rendimiento de la adsorción de las cáscaras de yuca para la eliminación de metales pesados Cr (VI) y Co (III) en solución acuosa. La yuca se trató químicamente con ácido para obtener el carbón, las propiedades se estudiaron con infrarrojos mediante transformadas de Fourier, microscopia electrónica de barrido, área superficial Brunauer-Emmet-Teller y difracción de rayos X. Los resultados de adsorción muestran la alta capacidad del carbón de cáscara de yuca, mediante el modelo de Langmuir para Cr (VI) 166.35 mg/g y 301.63 mg/g para el Co (II) a 25 °C. Se concluye que el carbón de cáscara de yuca es efectiva para la remoción de metales pesados.

Vizcaíno, Fuentes y González (2017), calcularon la capacidad de absorción y eficacia para eliminar Pb(II) de la biomasa seca de la macrófita *E. crassipes*. Se recolecta, lava, seca y se tritura hasta obtener partículas finas. Se utiliza un sistema de batch para someterlo a pruebas y estudiar la cantidad de adsorbente, tiempo de contacto y pH. El equilibrio se obtuvo siguiendo el modelo de Langmuir, alcanzando una capacidad de absorción de 172.41 mg/g en el tallo y 131.58 mg/g en las hojas, con una masa de 0.2 g de adsorbente/200 ml, pH 5.5 y 3 horas de contacto. Las pruebas mostraron una eliminación de Pb (II) mayor a 97%. La *E. crassipes* demuestra una gran habilidad para la fitorremediación de agua contaminadas con plomo.

Díaz *et al.* (2017), analizaron la habilidad del *Phyllanthus orbicularis* para adsorber Ni (II) en agua residual de una planta de calcinación. Se recolecta y elabora la biomasa de *Phyllanthus orbicularis*, se procede a moler y cernir. La adsorción de Ni (II) de la biomasa *Phyllanthus orbicularis* se produjo con soluciones artificiales y un residuo industrial de la planta de calcinación, la cual fue de 44.05 y 26.25 mg/g respectivamente. Los resultados evidencian los factores de influencia sobre la capacidad de la adsorción están en función del aumento del pH y la concentración inicial del níquel disminuye al incrementar la concentración de la biomasa.

Lobo y Gulimane (2015), analizaron la biomasa de las hojas del helecho *Acrostichum aureum* como adsorbente para la eliminación de iones plomo, cobre y zinc en solución acuosa. Los parámetros que influyeron fueron el pH, temperatura, tiempo y concentración de iones metálicos en la solución. Los resultados de la adsorción alcanzados para el Cu (II), Pb (II) y Zn (II) fueron de 0.051, 40 y 0.073 mg/g respectivamente con un pH de 5 a 40 °C con una solución metálica de 500 mg/L. Las isothermas de Freundlich se acoplaron bien a los datos de adsorción. Los grupos funcionales poseen un rol significativo en el proceso de adsorción de metales eso queda demostrado mediante la aplicación de espectroscopia de infrarrojos. Se concluye que la aplicación de biomasa de *Acrostichum aureum* tiene buenos resultados en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados y este puede ser usada como un adsorbente eficiente.

Xu *et al.* (2019), cuyo objetivo fue examinar la posibilidad de remover compuestos inorgánicos (arsenito) y orgánicos (dimetilarsinato) de arsénico en solución acuosa usando el adsorbente natural a base de *Acidithiobacillus ferrooxidans* (*A.ferrooxidans*) DLC-5. Se analizaron los efectos de los parámetros: pH, dosis de biomasa, concentración de arsénico y tiempo de contacto. Los resultados indicaron que las bacterias poseen mejor afinidad para adsorber iones de arsénico orgánico que inorgánicos. Con un pH de 4 y 30 °C, se evidencio el aumento en la capacidad de adsorción de ambos compuestos analizados. Los parámetros termodinámicos revelaron que la adsorción del arsenito y dimetilarsinato con *A.ferrooxidans* DLC-5 fue realizable. Concluyendo que *A.ferrooxidans* DLC-5 tuvo potencial para utilizarse en la remoción de arsénico en solución acuosa, de preferencia en concentraciones bajas de arsénico.

Hossain y Aditya (2015), cuyo objetivo fue evidenciar la adsorción del cadmio aplicando polvo a base de conchas del caracol de agua dulce *Melanoides tuberculata* (MTSD) en condiciones de laboratorio. El resultado de los modelos de equilibrio y cinética de adsorción encontraron los escenarios ideales de: pH de 6, concentración de cadmio de 100 mg/L, dosis de bioadsorbente de 1 g y tiempo de 60 minutos, indicando así la capacidad de adsorción máxima de 27.03 mg/g. Se pudo concluir que el polvo de concha (MTSD) puede adsorber el cadmio. Demostrando así que el MTSD actuó como bioadsorbente de bajo costo y eficaz.

Naik y Swathanthra (2021), evaluaron la adsorción por lotes del sorbente del bagazo de la caña de azúcar para la remoción de iones de cobalto y cadmio a niveles trazas. Se evaluaron según los modelos de isoterma Langmuir y Freundlich. Se consideró el efecto de la concentración del cadmio y cobalto inicial, tiempo de contacto, dosis de adsorbente, pH y temperatura. La adsorción máxima fue de 99.8% y del 93% para el cobalto y cadmio respectivamente con una dosis de adsorbente máxima de 2 a 10 g/100ml. Para la remoción máxima de cobalto fue de 97.4% con un pH óptimo de 2 y para el cadmio fue de 81.5% con un pH óptimo de 6 a temperatura de 52 °C. Se concluye que la remoción de cobalto se reduce con el incremento de pH a su vez la capacidad de adsorción se incrementó con la elevación de la temperatura. La medula del bagazo de caña de azúcar demostró ser un buen adsorbente para usarse en la remoción de iones de cobalto y cadmio.

Oliveira *et al.* (2021), evaluaron la posibilidad de usar carnauba - *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore, como adsorbente en la remoción del Pb (II) Y Cd (II) en medio acuoso. Usaron el sistema por lotes para analizar y calcular los efectos en la dosis del adsorbente, concentración de iones metálicos y pH. En el equilibrio se consiguió los valores óptimos de: dosis de adsorbente de 5 g/L, concentración de iones metálicos de Pb y Cd de 250 mg/L, pH de 5 y tiempo de contacto 120 minutos. Los resultados calcularon que la capacidad de adsorción para el Pb y el Cd fue de 28 y 34 mg/g, mientras que el porcentaje de remoción que alcanzó fue de 89-100% y 99-100% para Pb (II) Y Cd (II). Demostrando así la efectividad del adsorbente a base de carnauba para remover los metales Pb (II) Y Cd (II) en medio acuoso.

Ángel Villabona, Tejada y Gonzalez (2021), analizaron la adsorción del Cd (II) usando las biomásas residuales procedentes del cacao, maíz, yuca, cáscara de ñame y bagazo de palma aceitera. Se evaluó los efectos de la temperatura, la dosis del adsorbente y el tamaño de la partícula en un sistema por lotes. Los resultados hallaron las condiciones óptimas a 55 °C, tamaño de partícula de 0.5 mm y dosis de adsorbente de 0.03 g. La capacidad máxima de adsorción fue la siguiente: cacao 160.83 mg/g, maíz 105.40 mg/g, yuca 76.86 mg/g, cáscara de ñame 123.66 mg/g y bagazo de palma aceitera 197.95 mg/g. Se concluyó que los bioadsorbentes cacao, maíz, yuca, cáscara de ñame y bagazo de palma aceitera fueron

potencialmente efectivos para adsorber el Cd (II); sin embargo, sobresalieron la biomasa del bagazo de palma aceitera y cáscara de cacao.

Candelaria Tejada *et al.* (2015), usaron cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como adsorbente del cromo en solución acuosa. Las condiciones evaluadas fueron el tamaño de las partículas de adsorbente (0.3, 0.425 y 0.5 mm), temperatura (24 °C), pH (3.4 y 5), concentración de adsorbente (2.4 y 6 g/L) y tiempo de contacto (60 minutos). El porcentaje máximo de adsorción fue de 66.80 %, el cual correspondió a un tamaño de partícula de 0.425 mm, pH 3, concentración de adsorbente de 6 g/L y tiempo de 120 minutos. Se concluyó que el estudio del adsorbente a base de cáscara de naranja presentó un buen porcentaje de remoción y se puede utilizar como un tratamiento de agua residuales para remover el Cr (VI).

Lara *et al.* (2016), analizaron la eficacia de la cáscara de cacao como un adsorbente residual del plomo (Pb^{+2}) y cadmio (Cd^{+2}) en solución acuosa sintética, usando un sistema continuo de lecho fijo. Se establecieron los efectos de la altura del lecho en la remoción de los contaminantes, conservando invariables los parámetros de pH en 6, velocidad de flujo 3.6 y concentración inicial de los metales 100 mg/L. Los resultados de la adsorción mostraron una eliminación del 91.32% Pb (II) y 87.80% Cd (II) después de 4.5 horas. La cáscara de cacao se planteó como una opción para la eliminación de plomo y cadmio en el tratamiento de aguas residuales.

De Freitas, Battirola y Tortorela (2018), estudiaron la capacidad de la biomasa de la *Pontederia rotundifolia* (L.f.) (*Pontederiaceae*) y *Salvinia biloba* Raddi (*Salviniaceae*) en la adsorción de Cu (II) y Pb (II) en solución acuosa. El equilibrio se alcanzó en 120 minutos para la *P. rotundifolia* y 240 minutos para la *Salvinia biloba*, con una temperatura de 25 °C, concentración inicial entre 5 a 20 mg/L y con un pH de 6. Los resultados mostraron la eficiencia empleando *P. rotundifolia* para la remoción de Pb (II) fue de 93% y del Cu (II) de 33% y *S. biloba* la eliminación del Pb (II) fue de 81% y del Cu (II) fue 50%. Se concluyó que el uso de las biomásas estudiadas tuvo gran capacidad para eliminar el Cu (II) y Pb (II) siendo una alternativa para la aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Mihaiescu *et al.* (2016), evaluaron la adsorción de la levadura de cerveza para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por Cu (II) y Pb (II). Se analizó la influencia de los parámetros, tiempo de contacto, pH y la dosis del bioadsorbente. Las condiciones óptimas para la adsorción se obtuvieron a una concentración de 0.5% de bioadsorbente, tiempo de contacto de 60 minutos, pH para el cobre 6 y para el plomo pH de 5. Los resultados mostraron que la capacidad de adsorción del cobre (81.34 mg /g) es superior al del plomo (48.68 mg/g). Se concluyó que la levadura de cerveza, tienen la facultad de adsorber metales pesados como el Cobre y plomo en solución acuosa y es un bioadsorbente que tiene bajo costo por lo cual puede considerarse su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Kan *et al.* (2015), analizaron el rendimiento del hongo *Pleurotus eryngii*, para la remoción de Cu (II) en solución acuosa. El equilibrio de adsorción entre el Cu (II) y el hongo *Pleurotus eryngii* se encontró en 20 minutos. La capacidad máxima de adsorción fue de 15,19 mg/g, se encontró aplicando el modelo de Langmuir. Se concluyó que el hongo *Pleurotus eryngii* se puede aplicar como adsorbente del Cu (II) para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por cobre.

Zhang, Zhang y Chen (2017), averiguaron el equilibrio y la cinética de adsorción del Cr (VI) en solución acuosa aplicando las hojas de *Leersia hexandra Swartz*. Los parámetros que se utilizaron para los ensayos de adsorción por lotes fueron: biomasa de 2 g/L, concentración inicial de Cr (II) de 20 mg/L, pH de 5 y temperatura de 30 °C. Los resultados mostraron un porcentaje de remoción de Cr (VI) de 99.65% y la capacidad de adsorción de 24.91 mg/g. Se concluyó con la eficacia que tuvo el bioadsorbente preparado a partir de las hojas de *Leersia hexandra Swartz* para remover el Cr (VI).

Rivera *et al.* (2017), estudiaron la aplicación de un bioadsorbente a base de residuos de la industria del tequila para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados Fe, Mn y Cu. Se evaluaron los tres residuos de la industria del tequila: fibras de agave, hojas de agave y vinaza sólida. Los experimentos realizados se trabajaron con: 1 g de biomasa, 50 ml de solución de Cu, Fe y Mn, pH (2, 5, 8) y temperatura (25 °C y 60 °C). Los mejores resultados para la remoción de las biomásas estudiadas fueron a 25 °C, para el Cobre fue casi

80% para la vinaza, para las hojas 84% y 94% para la fibra. El mayor porcentaje de remoción del hierro fue a un pH de 5. En el caso del Manganeso la remoción no fueron sobresalientes. Las conclusiones fueron que los residuos de la industria del tequila son una alternativa para remover metales pesados en aguas residuales además que la obtención de esta biomasa es de bajo costo reemplazando a otros adsorbentes convencionales costosos.

Sharma y Singh (2019), analizaron la capacidad de adsorción del cromo en solución acuosa empleando biomasa viva y muerta de la bacteria *Bacillus subtilis*. Se estudiaron los parámetros como el pH, tiempo de contacto y temperatura. Los resultados mostraron que la mayor captación de metales usando biomasa muerta fue de 95.64%, 97.25% y 97.11% a pH 3, 60 minutos y 2.5 mg/mL de biomasa. En caso de biomasa viva, la más alta la captación fue del 91.34%, 94.02% y 95.89% a pH 7, 72 horas y 35 °C, respectivamente. Se concluyó la efectividad de la aplicación de la biomasa preparada a base *Bacillus subtilis* para remover Cr de las aguas residuales.

Miranda *et al.* (2019), analizaron los parámetros concentración de cobre, tiempo de contacto y dosis de adsorbente en solución acuosa para remover Cobre aplicando la biomasa muerta del hongo *Penicillium ochrochloron*. Los resultados indican que la máxima remoción fue de 44.9% en las siguientes condiciones, tiempo de 60 minutos, pH de 5, temperatura de 27°C y 0.5 g de biomasa. Se concluyó la influencia de los parámetros en el proceso de adsorción también se demostró la posibilidad de aplicar la biomasa de *Penicillium ochrochloron* para tratar aguas residuales contaminadas por cobre.

Foroutan *et al.* (2019), tuvieron por objetivo usar los residuos de *Callinectes sapidus* como un adsorbente económico para la eliminación de metales pesados como el Cadmio, plomo y níquel en solución acuosa. Los resultados muestran condiciones de equilibrio con un pH de 6, temperatura de 25°C, tiempo de 60 minutos y cantidad de adsorbente de 3 g/L. La capacidad de adsorción para el plomo, cadmio y níquel se estableció en 31.44 mg/g, 29.23 mg/g y 29.15 mg/g. La eficiencia de adsorción se alcanzó en 97.1% para el Pb, 96.6% para el Cd y 95.1% para el Ni. Se concluyó lo eficaz que es la aplicación del adsorbente a base de

restos de cangrejo *P. sapidus* para remover los metales pesados en aguas residuales y una alternativa para reemplazar a los adsorbentes convencionales.

Lavado y Oré (2016), estudiaron la capacidad de la coronta del maíz tratada químicamente con NaOH para la remoción de Pb (II) de soluciones acuosas y demostrar el efecto del pH, dosis de adsorbente y tiempo de adsorción. Los resultados encontraron las condiciones perfectas para la remoción de Pb (II) estas fueron 4 g/L de adsorbente, tiempo de 60 minutos y pH 5. La capacidad de adsorción de plomo fue de 12.44 mg Pb/g, consiguieron optimizar la adsorción en un 40% sobre la biomasa sin modificar. Se concluyó que la biomasa del maíz tiene potencial para usarse como alternativa de los adsorbentes convencionales tiene eficacia para remover metales pesados como el Pb.

Mahmoud *et al.* (2019), estudiaron el adsorbente de *Aspergillus tamaris* NRC 3 para remover y recuperar metales pesados como el cobre presente en aguas residuales. Los parámetros que se vieron afectados durante el proceso fueron tiempo, pH, temperatura, concentración de iones metálicos y la concentración de la biomasa. Los resultados indicaron que la máxima captación de Cu (II) fue de 92% y se adquirió durante el equilibrio con un pH de 5, temperatura de 30 °C, concentración de biomasa de 5 g en un tiempo de 5 minutos. Se concluyó que la aplicación de biomasa a base de *Aspergillus tamaris* es eficaz para tratar aguas contaminadas por metales pesados.

Cascaret *et al.* (2020), plantearon el uso del bagazo de caña de azúcar modificado químicamente para adsorber el cobre presente en los recursos hídricos. Los experimentos mostraron que el bagazo sin modificar removió el 31.6 % de Cu (II) de la solución base en condiciones de equilibrio con los siguientes parámetros pH de 3.30, tiempo de contacto 30 min y masa de adsorbente 0.50 g/50 ml. Los porcentajes de remoción del bagazo tratados con NaOH y H₃PO₄ fueron 39.3 % y 93.3% respectivamente, en las mismas condiciones experimentales. Aplicando una solución real el porcentaje de eliminación de cobre fueron de 18.34% biomasa natural; biomasa tratada con NaOH 29.4% y 86.5% con H₃PO₄. La máxima adsorción fue 7.57 mg/g. Se evidenció la capacidad del bagazo como adsorbente, así como su aplicación para eliminar Cu (II) en ambientes acuáticos.

Indhumathi *et al.* (2018), evaluaron la capacidad que tienen las algas *Chlorella vulgaris* para adsorber cobre de efluentes industriales. Los experimentos se realizaron usando una solución patrón 100 mg/L de cobre. Los resultados revelaron que, bajo las condiciones de equilibrio los valores fueron los siguientes pH de 7, dosis de adsorbente de 80 mg, 105 minutos de tiempo de contacto y temperatura de 30 °C. La máxima remoción del cobre fue de 97.59%. Se concluye de la investigación que la *Chlorella vulgaris* se puede utilizar como biomasa eficaz y económica para la eliminación Cu (II) de una solución residual acuosa e industrial.

Tejada, Villabona y Ruiz (2015), analizaron y compararon la adsorción del cromo hexavalente aplicando biomasa natural y modificada químicamente con ácido cítrico para el bagazo de palma y cáscaras de ñame. Los experimentos se llevaron a cabo en las siguientes condiciones de temperatura (25°C), tiempo (120 minutos), concentración de biomasa (5 g/L), pH (2, 3, 4, 6), tamaño de partícula (0.355, 0.5, 1 mm) y concentración inicial del metal (100 ppm en 100mL de solución). Los resultados de los experimentos realizados establecieron que las condiciones óptimas que benefician a la adsorción fue el pH de 2 y el tamaño de partícula de 1mm. Son las cáscara de ñame modificada la que tuvo mejor capacidad de adsorción al remover un porcentaje máximo 92% en 290 minutos, seguido por las cáscara de ñame sin modificar con un 88%. Para el bagazo de palma el porcentaje máximo fue de 59%, y al modificarlo de 81%. La máxima capacidad de adsorción se halló con el bagazo modificado con 41.57 mg/g y las cáscaras de ñame modificadas con 25.01 mg/g comprobando que la modificación con ácido cítrico mejora la eficiencia de adsorción. Se concluye la eficacia que tuvo las biomásas estudiadas para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por cromo hexavalente.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Esta investigación fue de tipo aplicada, ya que por medio de la revisión sistemática y metaanálisis sobre el uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso buscó la aplicación de innovaciones para darle solución al problema planteado. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) el propósito fundamental es resolver problemas.

El enfoque fue cuantitativo, ya que siguió un proceso y un orden estructurado para llevarse a cabo, se sostuvo en la estadística para estimar los porcentajes de remoción de todas las investigaciones coincidentes. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) el enfoque cuantitativo sigue un proceso secuencial y probatorio en base a la medición numérica y el análisis estadístico.

El diseño de la investigación fue no experimental, pues las variables no se manipularon, puesto que los datos fueron observados y recolectados de estudios previos, investigaciones que ya sucedieron. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) en la investigación no experimental las variables no se pueden manipular ni influir sobre ellas, porque ya sucedieron, por lo tanto, solo se observa y se registran los efectos de la variable independiente sobre la dependiente.

Fue transversal, porque partió de la observación y recopilación de datos de trabajos previos de diferentes periodos de tiempo específicos, que generó subconjuntos y compararlos estadísticamente. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) es como tomar una fotografía de un evento, la recolección de datos de un momento único puede abarcar varios grupos o subgrupos.

El nivel de investigación fue descriptivo, ya que buscó describir las características de los estudios recopilados, así mismo conocer sus resultados para evaluarlos mediante la estadística. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) el objetivo es indagar y describir la incidencia de las variables, así como comparar los distintos grupos que se presenten.

3.2. Variables y operacionalización:

- Variable dependiente (V1): remoción de cadmio
- Variable independiente (V2): uso de bioadsorbentes

Conceptos, dimensiones e indicadores definidos en el Anexo 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población según Niño (2019) está compuesta por todos los elementos que conforman el ámbito de la investigación, y deben ser limitados en contenido, tiempo y lugar. Esta investigación tomó como población todos los artículos cuyo título involucró el uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio, entre enero del 2011 y 30 de setiembre del 2021, en las bases de datos Scopus y Web of Science. Obteniendo un total de 818 artículos.

La tabla 1 muestra la estrategia que se usó para la recolección de documentos, la cual tuvo los mismos criterios para ambas bases de datos.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda

Base de datos	Cadena de búsqueda	Cantidad de artículos
Scopus	(TITLE(cadmium) AND TITLE-ABS-KEY(bioadsorbent or "bio-adsorbent" or bioadsorption or "bio-adsorption" or biosorption or "bio-sorption" or biosorbent or bio-sorbent or natural adsorbent or biological adsorbent) AND ALL(wastewater or aqueous medium or aqueous solution)) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2022 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))	180
Web of Science	(TI = (cadmium) AND TS = (bioadsorbent or "bio-adsorbent" or bioadsorption or "bio-adsorption" or biosorption or "bio-sorption" or biosorbent or bio-sorbent or natural adsorbent or biological adsorbent) AND ALL = (wastewater or aqueous medium or aqueous solution)) Refined by: LANGUAGE: (English) AND DOCUMENT TYPES: (Article) Indexes=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI Timespan=2011-2021	638

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 muestra las 3 palabras determinantes de nuestro título (bioadsorbentes, cadmio y medio acuoso), las cuales fueron detallados y buscados con todas sus posibles similitudes y variaciones en 3 campos específicos (en el campo título = cadmio, en el campo tema = bioadsorbentes, en todos los campos = medio acuoso), refinados y delimitados por tiempo, tipo de documento y lenguaje.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- Solo artículos, publicados entre 2011 y 2021.
- Publicaciones en idioma inglés.
- La disposición del texto completo en formato PDF.
- Artículos de libre descarga.
- Bioadsorbentes secos, muertos o inactivados.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Uso de adsorbentes no biológicos. (Arcillas, Zeolitas, compuestos químicos, etc.)
- Aplicación en otro medio. (Suelo, sedimentos, leche, etc.)
- Artículos retractados.
- Uso de organismos vivos y/o activos.
- Uso de otros materiales. (Lodos, Compuestos y derivados orgánicos procesados o comerciales, Alginato, Quitosano, etc.)
- Otro tipo de estudio. (Análisis de resistencia, bioacumulación, estudio teórico, etc.)
- Solo evaluación binaria o multimetal.

La muestra según Niño (2019) tiene como condición esencial ser representativa y que mantenga las características propias de la población elegida. La muestra de la investigación fueron 53 artículos elegidos por conveniencia, derivados de los criterios de inclusión, exclusión y de la evaluación de la calidad de investigaciones mediante la lista de verificación Newcastle-Ottawa, modificada de acuerdo a lo requerido.

Se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico, Niño (2019) menciona que es una técnica de selección de muestras con clara intención o criterio preestablecido, para buscar la representatividad de la población. En consecuencia,

se realizó un muestreo por conveniencia donde los artículos facilitaron el logro de los objetivos.

La unidad de análisis fue cada uno de los artículos científicos que involucraban el uso de bioadsorbentes en la remoción del cadmio en medio acuoso.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue el análisis documental (revisión sistemática). Según Dulzaides y Molina (2004) es una investigación técnica, que busca presentar y describir documentos de forma organizada, para extraer información relevante al estudio de interés.

Se registraron y analizaron artículos científicos donde usaron los bioadsorbentes para remover cadmio, los cuales fueron la base del metaanálisis.

Los instrumentos de recolección de datos fueron fichas de registro. Instrumento que nos facilitó el manejo de datos para contrastar todos los artículos que se analizaron. (ANEXO 4 y 5)

La validez del instrumento se realizó a través del juicio de expertos, que valoraron en base a su experiencia de investigación científica en el campo de la ingeniería ambiental. (ANEXO 4 Y 5)

La confiabilidad del instrumento permite que el registro de datos pueda ser replicado y obtenerse los mismos resultados, entonces la confiabilidad se sostuvo en la misma estructura de la ficha de registro, diseñada para recolectar información de interés y que fue previamente validada por expertos.

3.5. Procedimiento

La revisión sistemática y metaanálisis se basó en la declaración PRISMA 2020, la cual nos permitió recopilar y resumir información científica disponible, aplicando estrategias de búsqueda que redujeron el sesgo y sintetizaron los estudios relevantes.

La figura 1, detalla el procedimiento de toda la investigación, dividido en 5 fases: planeación, búsqueda, organización, análisis y comunicación.

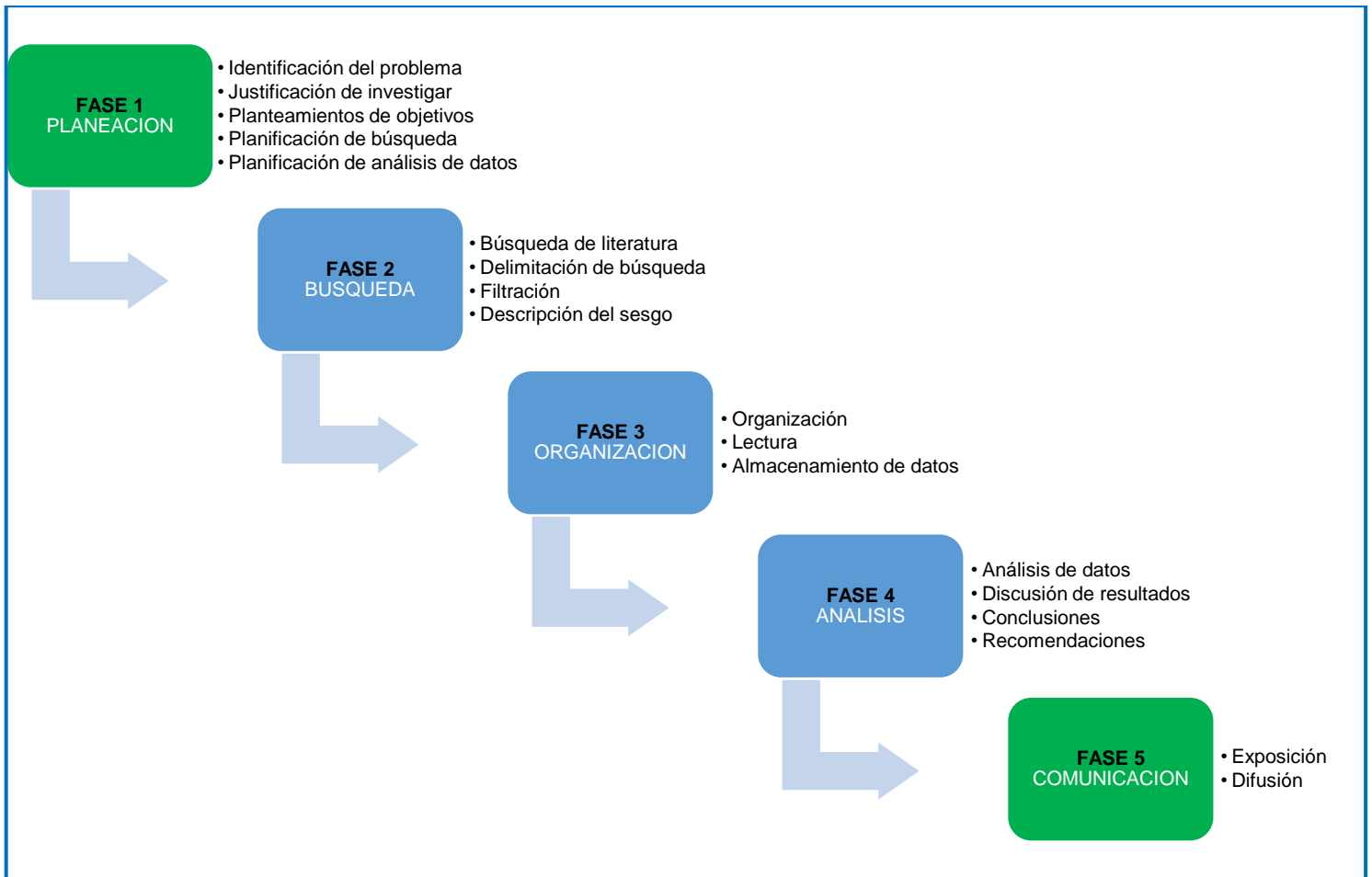


Figura 1. Procedimiento de ejecución (Elaboración propia)

La figura 1 muestra que el procedimiento engloba toda la investigación. La fase 1 y 5 se distinguen con otro color, puesto que estas fases son iniciales y concluyentes. La fase de planificación abarca todo el proceso de proyecto, mientras que la fase de comunicación constituye la exposición de los hallazgos encontrados.

El proceso de ejecución está diseñado y definido de la siguiente manera:

Fase 1: Planeación

- Identificación del problema: se reconoció a la contaminación del agua por metales pesados como un problema de interés.
- Justificación de investigar: para darle una posible solución al problema, se planteó la búsqueda de tecnologías no convencionales como el uso de bioadsorbentes, justificándose de manera teórica, práctica, social y ambiental.

- Planteamiento de objetivos: los objetivos se plantearon en base al mayor porcentaje de remoción que un bioadsorbente puede extraer al emplearse. Por ello se buscó determinar el mayor porcentaje de remoción e identificar el menor tiempo de acción de los bioadsorbentes en estudio.
- Planificación de búsqueda: se definieron las bibliotecas virtuales, las palabras clave de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión, para la búsqueda de los artículos.
- Planificación de análisis de datos: confección de fichas de registro para la recolección de datos, y elección del método de análisis.

Fase 2: Búsqueda

- Búsqueda de literatura: se efectuó en las bases de datos Scopus y Web of Science.
- Delimitación de búsqueda: se efectuó con las palabras clave de búsqueda (cadena de búsqueda).
- Filtración: fue determinado por la eliminación de artículos repetidos, criterios de inclusión, exclusión y la lista de verificación Newcastle-Ottawa. Se definieron los artículos que serán procesados para el metaanálisis.
- Descripción del sesgo: fueron las razones por la cual ciertos artículos que valían para nuestra investigación no están incluidos en el análisis final.

Fase 3: Organización

- Organización: fue la codificación de cada artículo para su fácil manejo.
- Lectura: fue la lectura exhaustiva de cada artículo y captación de los datos de interés.
- Almacenamiento de datos: fue efectuado en las fichas de registro previamente validados.

Fase 4: Análisis

- Análisis de datos: estadística descriptiva e inferencial, mediante el uso de los programas RevMan 5.4 y Excel 2016.
- Discusión de resultados: los resultados fueron presentados en tablas y gráficos para su fácil entendimiento.
- Conclusiones: fueron en base a los objetivos planteados.

- Recomendaciones: fueron sugerencias para ampliar el conocimiento sobre el uso de elementos ecoamigables y para realizar una correcta revisión sistemática y metaanálisis.

Fase 5: Comunicación

- Exposición: exposición ante el jurado los hallazgos encontrados.
- Difusión: previa aprobación por expertos, subir la investigación al repositorio de la UCV para que sirva de base en futuras investigaciones o para toma de decisiones.

3.6. Método de análisis de datos

Para el metaanálisis se hicieron uso de del programa RevMan 5.4 donde se siguió un modelo de efectos aleatorios, presentado mediante un diagrama de árbol y el programa Excel 2016 para la presentación de tablas y gráficos propios de la estadística descriptiva.

3.7. Aspectos éticos

El Presente trabajo de investigación está sujeto al Código de ética en investigación aprobado mediante Resolución de Consejo Universitario N°0126-2017/UCV, la Guía de Elaboración del Trabajo de Investigación y Tesis para la obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado mediante resolución de vicerrectorado de investigación N°011-2020-VI-UCV. Se respetó la propiedad intelectual, citando las fuentes en estilo ISO-690 y se verificó la originalidad del trabajo mediante el programa Turnitin para determinar el nivel de similitud.

IV. RESULTADOS

La búsqueda de la literatura fue realizada simultáneamente por ambos investigadores, obteniendo los mismos resultados, estos fueron delimitados desde inicios del 2011 hasta el 30 de setiembre del 2021, obteniendo 818 artículos entre ambas bases de datos.

La figura 2 nos muestra la existencia de artículos coincidentes.

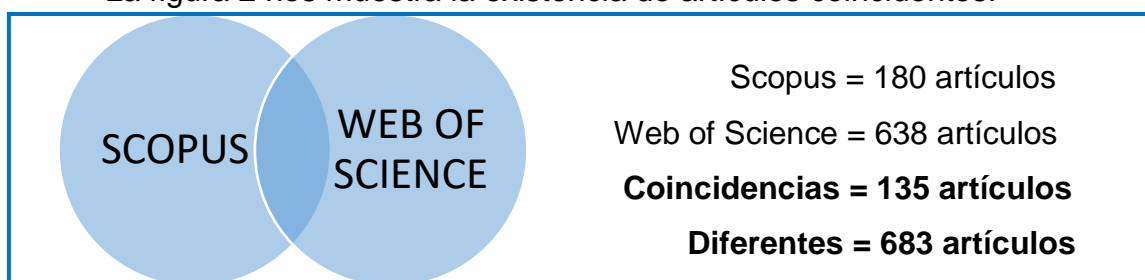


Figura 2. Diagrama de las bases de datos (Elaboración propia)

En la figura 2 se aprecia que 135 artículos fueron repetidos y solo 683 diferentes. Para conocer ello, la información de las bases de datos fue exportada en Excel, acondicionada y relacionada. Los 683 artículos diferentes fueron evaluados por los criterios de inclusión, exclusión y por calidad de investigación mediante la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada.

Como Scopus y Web of Science son bases de datos que nos redireccionan a otras editoriales y/o bibliotecas virtuales, la tabla 2 y figura 3 nos muestran la procedencia y contribución de los 683 artículos que fueron evaluados.

Tabla 2. *Procedencia de documentos*

EDITORIAL	NUMERO DE ARTICULOS
DES WATER	35
HINDAWI	11
IWA PUBLISHING	14
MDPI	12
OTROS	148
REPOSITORIO	7
ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY	13
ELSEVIER (SCIENCEDIRECT)	195
SPRINGER	126
TAYLOR & FRANCIS	97
WILEY	25
TOTAL	683

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 2 muestra que las editoriales y/o bibliotecas virtuales que más artículos científicos aportaron a la investigación fueron Elsevier (ScienceDirect) con 195, Springer con 126 y Taylor&Francis con 97. Las 148 aportaciones registradas como otros, fueron agrupadas de bibliotecas que aportaron un mínimo de artículos.

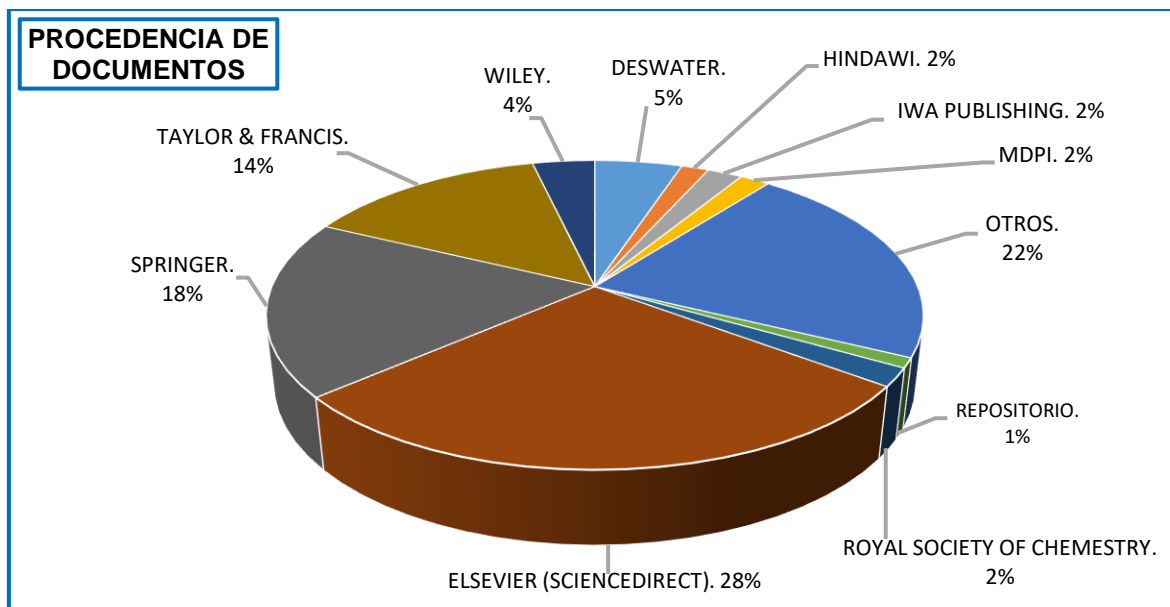


Figura 3. Procedencia de documentos (Elaboración propia)

La Figura 3 evidencia que del 100% de artículos científicos evaluados para esta investigación, las editoriales y/o bibliotecas virtuales que contribuyeron con mayor porcentaje fueron Elsevier (ScienceDirect) con 28%, Springer con 18% y Taylor & Francis con 14%.

La figura 4 detalla el proceso de filtración de todos los artículos encontrados en ambas bases de datos:

- Para la eliminación de artículos repetidos, la data obtenida de las bases de datos fue exportada en formato Excel, acondicionada y filtrada.
- Para la aplicación y agrupación de los criterios de exclusión se procedió a la lectura de los artículos científicos en los campos de resumen y materiales, ya que debíamos constatar que los adsorbentes a utilizar sean de procedencia biológica y estuvieran muertos o secos al momento de iniciar la experimentación.
- Para evaluar los artículos científicos que ayuden a nuestra investigación se procedió a la eliminación de trabajos en las que no teníamos acceso y las que no permitían descarga.

- Para la filtración mediante la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada, se procedió a la lectura a texto completo y a la captura de datos requeridos para evaluarse y compararse.

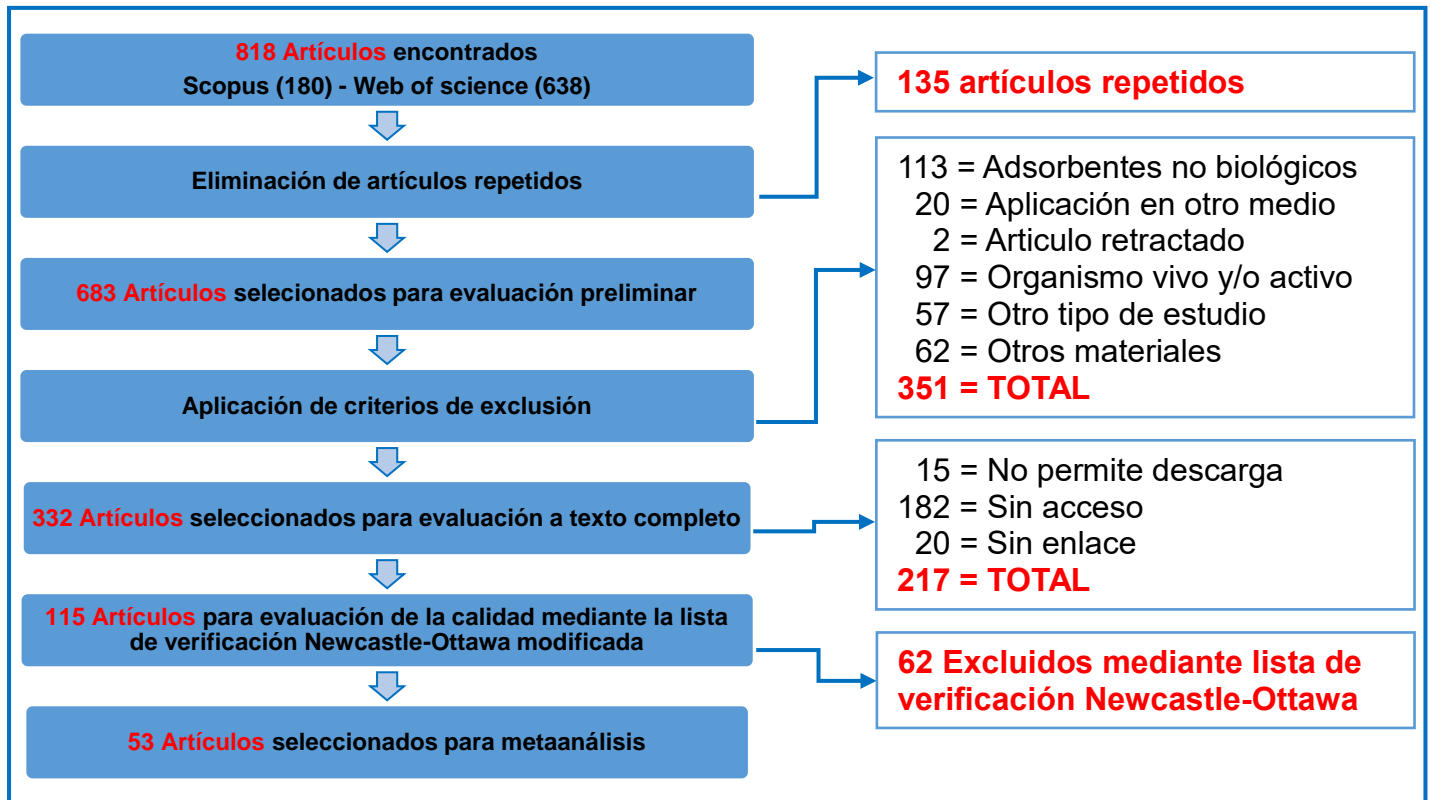


Figura 4. Diagrama de exclusión de artículos (Elaboración propia)

En la figura 4 se aprecia que la población inicial fue 818 artículos científicos, donde: 135 artículos fueron excluidos por presentarse en forma duplicada; 351 artículos fueron retirados por los criterios de exclusión; 217 artículos fueron excluidos por no permitir descarga, no tener el acceso para visualizarlos y por no tener el enlace necesario al texto completo; 62 artículos excluidos mediante la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada. Después de un proceso de filtración detallado se obtuvo una muestra final de 53 artículos los cuales serán evaluados y combinados.

La tabla 3 nos muestra la evaluación de la calidad de los artículos científicos mediante la lista de verificación Necastle-Ottawa acondicionada a lo requerido por la presente investigación. Se visualizan solo los estudios con buena calidad que fueron seleccionados para el metaanálisis, la lista completa de evaluación se encuentra en el ANEXO 6.

Tabla 3. Evaluación de la calidad de los artículos científicos

LISTA DE VERIFICACIÓN NECASTLE - OTTAWA MODIFICADA									
#	AUTOR (ES)	SELECCIÓN		COMPARABILIDAD		RESULTADOS		TOTAL	CALIDAD
		Representatividad	Control	Parámetros operacionales	Estudios cinéticos y termodinámicos	Cantidad adsorbida	Porcentaje de Remoción		
1	Al-Onazi, Ali y Al-Garni (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
2	Ivanovska et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
3	Jayakumar et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
4	Gomez et al. (2021)	1	0	1	1	1	1	5	
5	Jaafar et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
6	Mukherjee et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	6	
7	Faisal, Gani y Muslim (2019)	1	1	0	1	1	1	5	
8	Zhanga et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
9	Luo et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
10	Liu et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
11	Noli, Kapashi y Kapnisti (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
12	Zheng, Peng y Meng (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
13	Amro y Abhary (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
14	Zheng, Peng y Meng (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
15	Amin et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
16	Huang et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
17	Saraeian et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
18	Roşca et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
19	Shen et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
20	Verma, Kumar y Kumar (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
21	Ruthiraan et al. (2017)	1	1	0	1	1	1	5	
22	Basua, Guhab y Raya (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
23	Satya et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
24	Bulgariu y Bulgariu (2016)	1	1	1	1	1	1	6	
25	Al-Homaidan et al. (2015)	1	1	1	0	1	1	5	
26	Grudić, Šćepanović y Bošković (2015)	1	1	1	0	1	1	5	
27	Young et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
28	Guo et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
29	Tolian, Ali y Zarei (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
30	Kushwaha et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
31	Huang et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	6	
32	Sulaymon , Mohammed y Al-Musawi (2013)	1	1	1	0	1	1	5	
33	Moussous et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
34	Plaza et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
35	Vázquez et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	

36	Yen et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
37	Tálos et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
38	Zavvar y Seyedi (2011)	1	1	1	1	1	1	6	
39	Chay et al. (2011)	1	1	1	0	1	1	5	
40	Lu et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
41	Tejada et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
42	Khajavian et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
43	Sharififard et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
44	Hashim et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
45	Manasia, Rajesh y Rajesh (2018)	1	1	0	1	1	1	5	
46	Shamsi, Esmaeili y Foroutan (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
47	Sun et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
48	Song et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
49	Xu et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
50	Ammari et al. (2015)	1	1	0	1	1	1	5	
51	Ebrahimia, Ehteshamib y Dahrazma (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
52	Ammari (2014)	1	1	1	1	1	1	6	
53	Kulkarni, Shetty y Srinikethan (2014)	1	1	1	1	1	1	6	

REPRESENTATIVIDAD	La muestra (recolectada o simulada) representa aguas contaminadas con Cd.
CONTROL	Los bioadsorbentes y la solución de Cd fueron caracterizados mediante técnicas de análisis (FTIR, SEM, FESEM, ICP-OES, EDX o AAS) antes y/o después de la experimentación.
PARÁMETROS OPERACIONALES	Evalúa las condiciones operacionales (cantidad inicial de Cd, dosis de bioadsorbente, pH, temperatura y tiempo de contacto).
ESTUDIOS CINÉTICOS Y TERMODINÁMICOS	Evalúan los procesos mediante isotermas (Langmuir y/o Freundlich) y modelos cinéticos (pseudo primer o segundo orden).
CANTIDAD ADSORBIDA	Muestra la cantidad iones adsorbidos por unidad de masa de adsorbente
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	Muestra la eficiencia de remoción del adsorbente.

VALORACIÓN	1 = cuando cumple todo
	0 = cuando no cumple todo

CALIDAD	1 y 2	calidad baja	
	3 y 4	calidad media	
	5 y 6	calidad buena	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se observa que del total de 115 artículos seleccionados para revisión a texto completo, 53 se establecieron como la muestra, después de ser evaluados por los criterios de la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada. Estos artículos presentan una gran similitud, haciendo posible su comparación, combinación y análisis, reduciendo así el riesgo de sesgo o error.

Describiendo el sesgo como, todas las posibles omisiones que se pudieron haber cometido a la hora de realizar la investigación y que nos desvíen de unos resultados reales y confiables. Esto puede constituirse por la información relevante para la investigación presente en:

- Artículos exhibidos en otras bibliotecas virtuales.
- Artículos fuera del rango de tiempo seleccionado.
- Artículos sin acceso, sin enlace o no descargables en formato PDF.

Así mismo se explican las razones por las cuales algunos artículos científicos que cumplían con los criterios de inclusión fueron excluidos:

- 21 artículos excluidos por la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada, cuyo resultado final arrojaron una calidad baja o media.
- 41 artículos excluidos por no brindar los datos necesarios (cantidad inicial, tiempo de contacto o porcentaje de remoción) o por tener valores heterogéneos al resto de estudios ($C_i < 20\text{mg/L}$; $t > 20\text{h}$; % de remoción $< 60\%$), que hubieran alterado nuestros análisis de datos.

Obteniendo la cantidad de 53 artículos, se procedió a su organización, codificándolos en base al autor y año de publicación para su fácil manejo. La lectura de cada artículo fue exhaustiva, obteniendo así los datos de interés, que fueron transcritos en las fichas de registro 1 y 2.

Las tablas 4 y 5 muestran toda la información recopilada de los artículos científicos, síntesis que nos sirvió para el desarrollo del metaanálisis y obtención de los resultados esperados.

Tabla 4. Ficha de registro de aspectos generales

FICHA DE REGISTRO N° 1 : ASPECTOS GENERALES								
		INFORMACIÓN GENERAL			ESPECTOS GENERALES			
#	CODIFICACIÓN	AUTOR (ES)	TÍTULO	AÑO	BIOADSORBENTE UTILIZADO	METAL PESADO REMOVIDO	TÉCNICA DE ANÁLISIS	OBSERVACIONES
1	Al-Onazi, Ali y Al-Garni (2021)	Al-Onazi, Ali y Al-Garni	Using Pomegranate Peel and Date Pit Activated Carbon for the Removal of Cadmium and Lead Ions from Aqueous Solution	2021	CÁSCARAS	Cd - Pb	FTIR - SEM - EDX	Los residuos de granada se recolectaron en un mercado de en Arabia, se trató químicamente con H ₃ PO ₄ y ZnCl ₂ . La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó a la adsorción con un modelo cinético de pseudo segundo orden.
2	Ivanovska et al. (2021)	Ivanovska et al.	A Strategy to Revalue a Wood Waste for Simultaneous Cadmium Removal and Wastewater Disinfection	2021	FIBRAS	Cd	FTIR - DRX - ATR - ICP - OES	Los residuos de madera se recolectaron de una tonelería en Serbia. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción.
3	Jayakumar et al. (2021)	Jayakumar et al.	Sustainable removal of cadmium from contaminated water using green alga – Optimization, characterization and modeling studies	2021	ALGA	Cd	FTIR	El alga verde <i>Caulerpa scalpelliformis</i> , se recolectó del mar en la India, se realizaron 10 ciclos de desorción para recuperar el cadmio con excelentes resultados.
4	Gomez et al. (2021)	Gomez et al.	Bioadsorption of nickel and cadmium ions from a binary solution onto sugarcane bagasse lignin: kinetic and thermodynamic study	2021	CÁSCARAS	Cd - Ni	-	Se utilizó el bagazo de la caña de azúcar un residuo de la industria azucarera. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
5	Jaafar et al. (2021)	Jaafar et al.	Optimization of cadmium ions biosorption by fish scale from aqueous	2021	RESTOS	Cd	AAS	Las escamas de pescado se obtuvieron de un restaurant en Marruecos. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó

			solutions using factorial design analysis and Monte Carlo simulation studies					con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
6	Mukherjee et al. (2020)	Mukherjee et al.	Low-cost bio-based sustainable removal of lead and cadmium using a polyphenolic bioactive Indian curry leaf (<i>Murraya koengii</i>) powder	2020	PLANTA	Cd - Pb	FTIR - SEM - EDX	Las hojas de curry se obtuvieron de los jardines de la universidad, Visva Bharti en la India. La isoterma de Freundlich fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
7	Faisal, Gani y Muslim (2019)	Faisal, Gani y Muslim	CADMIUM ADSORPTION ONTO NAOH ACTIVATED PALM KERNEL SHELL CHARCOAL	2019	CÁSCARAS	Cd	SEM - AAS	La cáscara de palma aceitera se quemó a una temperatura de 380°C, luego se trató químicamente con NaOH. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo primer orden para el proceso de adsorción.
8	Zhanga et al. (2019)	Zhanga et al.	Amino modification of rice straw-derived biochar for enhancing its cadmium (II) ions adsorption from water	2019	FIBRAS	Cd	FTIR - SEM - XPS - ICP-OES - BET	La paja de arroz se recolectó de un cultivo en China. Al biocarbón se le añadió un grupo amino. La isoterma de Lui fue el mejor modelo que se ajustó y el modelo cinético fue el de orden general para el proceso de adsorción.
9	Luo et al. (2019)	Luo et al.	Efficient simultaneous removal of cadmium and arsenic in aqueous solution by titanium-modified ultrasonic biochar	2019	RESTOS	Cd - As	FTIR - SEM - BET - EDS - XPS	Los restos agrícolas (mazorcas de maíz), se modificaron con TiO ₂ . La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
10	Liu et al. (2019)	Liu et al.	Adsorption Characteristics of Cadmium Ions from Aqueous Solution onto Pine Sawdust Biomass and Biochar	2019	FIBRAS	Cd	FTIR - FESEM - BET	El aserrín de pino se obtuvo en China, el biochar se preparó a dos temperaturas diferentes 500 y 700 °C. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción. Se realizaron 3 procesos de desorción.
11	Noli, Kapashi y Kapnisti (2019)	Noli, Kapashi y Kapnisti	Biosorption of uranium and cadmium using sorbents based on Aloe vera wastes	2019	PLANTA	Cd - U	FTIR - SEM - EDS - XDR	Las hojas de aloe vera se recolectaron en Grecia, se realizó una modificación química usando H ₃ PO ₄ y NaOH. La isoterma de

								Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
12	Zheng, Peng y Meng (2019)	Zheng, Peng y Meng	Corn-cob-supported aluminium-manganese binary oxide composite enhanced removal of cadmium ions	2019	RESTOS	Cd	FTIR - SEM - EDS - XRD - XPS	Las mazorcas de maíz se recolectaron de unos cultivos en China, se modificó químicamente agregándole AlCl ₃ y MnCl ₂ . La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
13	Amro y Abhary (2019)	Amro y Abhary	Removal of Lead and Cadmium Ions from Water Using Cladophora Biomass	2019	ALGA	Cd - Pb	FTIR - SEM - EDS - BET	Las algas verdes <i>Cladophora sp.</i> , se recolectaron en las playas de Arabia Saudita. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
14	Zheng, Peng y Meng (2018)	Zheng, Peng y Meng	Promotion effects of nitrogenous and oxygenic functional groups on cadmium (II) removal by carboxylated corn stalk	2018	RESTOS	Cd	FTIR - SEM - EDS - XRD - XPS - BET	Los tallos de maíz se recolectaron en unos cultivos en China, se modificaron químicamente agregando un grupo amida y carboxilo. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción. Se realizaron 5 ciclos de desorción para recuperar el metal con buenos resultados.
15	Amin et al. (2018)	Amin et al.	Utilization of <i>Pleurotus eryngii</i> biosorbent as an environmental bioremediation for the decontamination of trace cadmium(II) ions from water system	2018	HONGO	Cd	FTIR - SEM - EDS	El hongo <i>Pleurotus eryngii</i> , se consiguió en el Instituto de Ciencias Agrícolas en China. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
16	Huang et al. (2018)	Huang et al.	Using pretreated chestnut endothelium to adsorb lead and cadmium ions from water	2018	CÁSCARAS	Cd - Pb	FTIR - AAS	Los restos de castañas se recolectaron de un mercado en China. Se modificó químicamente con formaldehído ácido y ácido cis-butenoico. La isoterma de

								Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
17	Saraeian et al. (2018)	Saraeian et al.	Cadmium removal from aqueous solution by low-cost native and surface modified Sorghum x drummondii (Sudangrass)	2018	PLANTA	Cd	FTIR - SEM - EDX - BET	El sorgo <i>x drummondii</i> , se recolecto en la Universidad de Nuevo México, Estados Unidos. Se trató químicamente con NaOH. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
18	Roşca et al. (2018)	Roşca et al.	Comparison of Rhodotorula sp and Bacillus megaterium in the removal of cadmium ions from liquid effluents	2018	BACTERIA	Cd	FTIR - SEM - EDX	El bacilo <i>megaterium</i> se obtuvo de un laboratorio en Rumania. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
19	Shen et al. (2017)	Shen et al.	Microalgal-biochar immobilized complex: A novel efficient biosorbent for cadmium removal from aqueous solution	2017	ALGA	Cd	FTIR - SEM	El alga <i>Chlorella sp.</i> se obtuvo en China, se modificó usando el biochar del Jacinto de agua para crear un complejo alga-biocarbón. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
20	Verma, Kumar y Kumar (2017)	Verma, Kumar y Kumar	Statistical modeling, equilibrium and kinetic studies of cadmium ions biosorption from aqueous solution using <i>S. filipendula</i>	2017	PLANTA	Cd	FTIR - FESEM - EDS	La <i>S. fi lipendula</i> se obtuvo en la India. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción. Se realizaron 4 ciclos de desorción con resultados excelentes.
21	Ruthiraan et al. (2017)	Ruthiraan et al.	A promising route of magnetic based materials for removal of cadmium and methylene blue from waste water	2017	CÁSCARAS	Cd - Azul de metileno	FTIR - FESEM - XRD - EDX	La cáscara del mangostán fue recolectado en los mercados de Malasia. Se modificó químicamente con Fe ₂ O ₃ . La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción.
22	Basua, Guhab y Raya (2017)	Basua, Guhab y Raya	Adsorption Behavior of Cadmium on Husk of Lentil	2017	CÁSCARAS	Cd	FTIR - SEM - EDAX	Las cáscaras de lenteja se recolectaron de una zona en la India. La isoterma de

								Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción
23	Satya et al. (2017)	Satya et al.	Non-linear Isotherm Models, Cadmium Kinetics, and Biosorption Thermodynamics of Dried Biomass of Native <i>Aphanothece</i> sp. in a Batch System	2017	BACTERIA	Cd	FTIR - BET	El alga <i>Aphanothece</i> sp. se cultivó en condiciones de laboratorio en un fotobiorreactor. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
24	Bulgariu y Bulgariu (2016)	Bulgariu y Bulgariu	Potential use of alkaline treated algae waste biomass as sustainable biosorbent for clean recovery of cadmium(II) from aqueous media: batch and column studies	2016	ALGA	Cd	FTIR - SEM - EDX	Los residuos de algas se consiguieron a partir de algas verdes que se utilizaron en la extracción de aceite. Se realizó un tratamiento químico con NaOH. Se realizaron 5 ciclos de desorción con excelentes resultados.
25	Al-Homaidan et al. (2015)	Al-Homaidan et al.	Adsorptive removal of cadmium ions by <i>Spirulina platensis</i> dry biomass	2015	BACTERIA	Cd	AAS	El alga <i>Spirulina platensis</i> se consiguió de un cultivo en Estados Unidos. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción.
26	Grudić, Šćepanović y Bošković (2015)	Grudić, Šćepanović y Bošković	REMOVAL OF CADMIUM (II) FROM AQUEOUS SOLUTION USING FERMENTED GRAPE MARC AS A NEW ADSORBENT	2015	CÁSCARAS	Cd	FTIR - EDS	Los restos de uvas se recolectaron de una industria vitivinícola en Serbia. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción.
27	Young et al. (2015)	Young et al.	Biosorption of cationic basic dye and cadmium by the novel biosorbent <i>Bacillus catenulatus</i> JB-022 strain	2015	BACTERIA	Cd - Tinte básico catiónico	FTIR - FESEM - XRD - EDX	Las Bacterias utilizadas pertenecieron a un estudio anterior. La isoterma de Langmuir y el modelo cinético de pseudo segundo orden se ajustaron mejor al proceso de adsorción.
28	Guo et al. (2015)	Guo et al.	Removal of cadmium(II) from aqueous solutions by chemically modified maize straw	2015	FIBRAS	Cd	FTIR - SEM - EDX	La paja del maíz se recolectó en China. Se trató químicamente con succínico anhídrido en xileno.
29	Tolian, Ali y Zarei (2015)	Tolian, Ali y Zarei	Optimization of biosorption of nickel(II) and cadmium(II) by indigenous seaweed <i>Enteromorpha</i> using response surface methodology	2015	ALGA	Cd - Ni	AAS	El alga <i>Enteromorpha</i> . se recolectó en las costas de Irán. Utilizaron la metodología de superficie basada en el diseño de Box-Behnken.
30	Kushwaha et al. (2015)	Kushwaha et al.	Spectroscopic characterization for remediation of copper, cadmium and	2015	CÁSCARAS	Cd - Cu - Hg	FTIR - XPS	Las cáscaras de Palma se obtuvieron en la India. Se modificó químicamente con

			mercury using modified palm shell powder					formaldehído. Se realizaron 3 ciclos de desorción con excelentes resultados.
31	Huang et al. (2013)	Huang et al.	Biosorption of Cd(II) by live and dead cells of <i>Bacillus cereus</i> RC-1 isolated from cadmium-contaminated soil	2013	BACTERIA	Cd	FTIR - SEM - EDX - TEM	El <i>Bacillus cereus</i> RC-1 se obtuvo en China. Se realizó un ciclo de desorción con resultados excelentes para la recuperación del metal.
32	Sulaymon , Mohammed y Al-Musawi (2013)	Sulaymon , Mohammed y Al-Musawi	Competitive biosorption of lead, cadmium, copper, and arsenic ions using algae	2013	ALGA	Cd - Pb - Cu - As	FTIR - AAS	Las algas se recogieron en Irak. El modelo cinético que mejor se ajustó fue el de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
33	Moussous et al. (2012)	Moussous et al.	Batch cadmium(II) biosorption by an industrial residue of macrofungal biomass (<i>Clitopilus scyphoides</i>)	2012	HONGO	Cd	SEM - TGA - XRF	Los residuos fúngicos de <i>Clitopilus scyphoides</i> , se obtuvieron en Argelia. Se realizaron 5 ciclos de desorción con excelentes resultados para recuperar el metal.
34	Plaza et al. (2012)	Plaza et al.	Zinc and cadmium biosorption by untreated and calcium-treated <i>Macrocystis pyrifera</i> in a batch system	2012	ALGA	Cd - Zn	FTIR - EDX	El alga <i>Macrocystis pyrifera</i> , se recolectó en Argentina. Se trató químicamente con CaCl ₂ . Se realizó un ciclo de desorción con resultados excelentes
35	Vázquez et al. (2012)	Vázquez et al.	Alkaline pre-treatment of waste chestnut shell from a food industry to enhance cadmium, copper, lead and zinc ions removal	2012	CÁSCARAS	Cd - Zn - Cu - Pb	FTIR - SEM - EDX	La cáscara del castaño se obtuvo de una fábrica de alimentos en España. Se modificó químicamente agregándole NaOH.
36	Yen et al. (2012)	Yen et al.	Biosorption of cadmium by CO ₂ -fixing microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> CNW-N	2012	ALGA	Cd	FTIR - SEM	El alga <i>Scenedesmus obliquus</i> CNW-N, se recolectó en Taiwán. Se realizaron 5 ciclos de desorción con buenos resultados.
37	Tálos et al. (2012)	Tálos et al.	Cadmium biosorption by baker's yeast in aqueous suspensions	2012	HONGO	Cd	AAS	La levadura se obtuvo de una fábrica en Hungría. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción.
38	Zavvar y Seyedi (2011)	Zavvar y Seyedi	Nettle ash as a low cost adsorbent for the removal of nickel and cadmium from wastewater	2011	PLANTA	Cd - Ni	SEM	La ortiga se obtuvo en los campos en Irak. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.

39	Chay et al. (2011)	Chay et al.	Biosorption of cadmium ions using <i>Pleurotus ostreatus</i> : Growth kinetics, isotherm study and biosorption mechanism	2011	HONGO	Cd	FTIR - SEM - EDX	El hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> , se obtuvo en Malasia. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó para el proceso de adsorción.
40	Lu et al. (2021)	Lu et al.	Simultaneous biosorption of arsenic and cadmium onto chemically modified <i>Chlorella vulgaris</i> and <i>Spirulina platensis</i>	2021	ALGA	Cd - As	FTIR - SEM	La <i>Spirulina platensis</i> se modificó químicamente con NaCl y ZnCl ₂ .
41	Tejada et al. (2021)	Tejada et al.	Elimination of Cadmium (II) in aqueous solution using corn cob (<i>Zea mays</i>) in batch system: Adsorption kinetics and equilibrium	2021	RESTOS	Cd	FTIR	Las mazorcas de maíz se obtuvieron en España. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción
42	Khajavian et al. (2019)	Khajavian et al.	Simultaneous biosorption of nickel and cadmium by the brown algae <i>Cystoseria indica</i> characterized by isotherm and kinetic models	2019	ALGA	Cd - Ni	FTIR - SEM - ATR	El alga <i>Cystoseria indica</i> , se obtuvo en Irán. Se modificó químicamente con NaOH. La isoterma de Freundlich fue la que mejor se ajusta y siguió un modelo cinético de difusión intrapartícula.
43	Sharififard et al. (2018)	Sharififard et al.	A novel natural chitosan/activated carbon/iron bio-nanocomposite: Sonochemical synthesis, characterization, and application for cadmium removal in batch and continuous adsorption process	2018	EXOESQUELETOS	Cd	FTIR - SEM - BET	Los restos de camarón se obtuvieron en Irán. Se modificó químicamente añadiendo FeCl ₃ más carbón activado de tallo de uva.
44	Hashim et al. (2018)	Hashim et al.	Isotherm and kinetic models for biosorption of cadmium ions from aqueous solutions using dry peanut shells and hazelnut shells	2018	CÁSCARAS	Cd	FTIR	La cáscara de maní se obtuvo en Irak. Los grupos hidroxilo y carboxilo tienen un rol fundamental para la adsorción.
45	Manasia, Rajesh y Rajesh (2018)	Manasia, Rajesh y Rajesh	Biosorption study of cadmium, lead and zinc ions onto halophilic bacteria and reduced graphene oxide	2018	BACTERIA	Cd - Pb - Zn	FTIR - SEM - EDAX - XRD	A la bacteria <i>Halomonas BVR 1</i> se le añadió óxido de grafeno para mejorar sus capacidades de adsorción.
46	Shamsi, Esmaili y Foroutan (2018)	Shamsi, Esmaili y Foroutan	Cadmium(II) removal from aqueous solution using microporous eggshell: Kinetic and equilibrium studies	2018	CÁSCARAS	Cd	SEM	Las cáscaras de huevo, se recolectaron en Irán. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción.

47	Sun et al. (2018)	Sun et al.	Removal of cadmium from a citrate-bearing solution by floatable micro-sized garlic peel	2018	CÁSCARAS	Cd	FTIR - SEM	La cáscara de ajo se modificó químicamente con NaOH.
48	Song et al. (2017)	Song et al.	Biosorption of cadmium ions from aqueous solution by modified <i>Auricularia</i> Auricular matrix waste	2017	HONGO	Cd	FTIR - SEM - XRD - EDX	El hongo <i>Auricularia auricula</i> , se recolectó en China. Se modificó químicamente con NaOH. Se realizaron 3 ciclos de desorción con buenos resultados,
49	Xu et al. (2017)	Xu et al.	Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies on the Adsorption of Cadmium from Aqueous Solution by Modified Biomass Ash	2017	RESTOS	Cd	FTIR - SEM - EDS - ICP-OES - TEM - BET	Los residuos agrícolas se obtuvieron de China. Se modificó químicamente con sílice y con (3-aminopropil) trietoxisilano.
50	Ammari et al. (2015)	Ammari et al.	Assessment of unmodified wetland bio-waste: Shoots of <i>Cyperus laevigatus</i> , for cadmium adsorption from aqueous solutions	2015	PLANTA	Cd	FTIR - SEM	La planta <i>Cyperus laevigatus</i> se obtuvo en Jordania. La isoterma de Freundlich fue el modelo que mejor se ajustó, con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
51	Ebrahimia, Ehteshamib y Dahrazma (2015)	Ebrahimia, Ehteshamib y Dahrazma	Isotherm and kinetic studies for the biosorption of cadmium from aqueous solution by <i>Alhaji maurorum</i> seed	2015	RESTOS	Cd	ICP-OES	Las semillas de <i>Alhaji maurorum</i> se recolectaron en Irán. La isoterma de Freundlich fue el modelo que mejor se ajustó, con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción
52	Ammari (2014)	Ammari	Utilization of a natural ecosystem bio-waste; leaves of <i>Arundo donax</i> reed, as a raw material of low-cost eco-biosorbent for cadmium removal from aqueous phase	2014	PLANTA	Cd	FTIR - SEM - AAS	La caña se obtuvo en Jordania. La isoterma de Freundlich fue el modelo que mejor se ajustó, con un modelo cinético de pseudo segundo orden para el proceso de adsorción.
53	Kulkarni, Shetty y Srinikethan (2014)	Kulkarni, Shetty y Srinikethan	Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by <i>Bacillus laterosporus</i> (MTCC 1628)	2014	BACTERIA	Cd - Ni	SEM - EDAX	La bacteria <i>Brevibacillus laterosporus</i> (MTCC1628), se obtuvo en la India. La isoterma de Langmuir fue el modelo que mejor se ajustó con un modelo cinético de pseudo segundo orden para la adsorción.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Ficha de registro de variables de investigación

FICHA DE REGISTRO N° 2 : VARIABLES DE INVESTIGACIÓN											
* : Parámetros en referencia a la cantidad removida más eficiente.											
#	CÓDIGO	PARÁMETROS					V1: REMOCIÓN DE METALES PESADOS		V2: USO DE BIOADSORBENTE		
		BIOADSORBENTE UTILIZADO	* CANTIDAD DE METAL INICIAL (mg/L)	* CANTIDAD DE BIOADSORBENTE UTILIZADO (g/L)	* pH (1-14)	* TEMPERATURA (°C)	* TIEMPO DE REMOCIÓN (HORAS)	CANTIDAD REMOVIDA (%)	BIOMASA VIVA / BIOMASA MUERTA	MICROORGANISMO / PLANTA / RESIDUO ORGÁNICO	TIPO / ESPECIMEN
1	Al-Onazi, Ali y Al-Garni (2021)	CASCARAS	100	0.5	6.5	25	1.5	92.3	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de granada
2	Ivanovska et al. (2021)	FIBRAS	55	0.5	5.5	25	4	89	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Madera de roble
3	Jayakumar et al. (2021)	ALGA	100	2.1	4.9	40	1	78.7	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Caulerpa scalpelliformis</i>
4	Gomez et al. (2021)	CASCARAS	20	7	6	40	12	87.9	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Bagazo de caña
5	Jaafar et al. (2021)	RESTOS	75	250	3	25	1	88.2	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Escamas de sardina <i>Pilchardus</i>
6	Mukherjee et al. (2020)	PLANTA	100	3	6.5	25	0.83	68.5	BIOMASA VIVA	PLANTAS	<i>Murraya koengii</i>
7	Faisal, Gani y Muslim (2019)	CASCARAS	30	1	-	-	2.5	97	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de palma aceitera
8	Zhanga et al. (2019)	FIBRAS	72	0.1	3	40	12	72.1	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Paja de arroz
9	Luo et al. (2019)	RESTOS	100	0.5	5	20	12	85	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Mazorca de maíz
10	Liu et al. (2019)	FIBRAS	60	0.4	6.5	25	5	94	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Aserrín de pino/biochar
11	Noli, Kapashi y Kapnistri (2019)	PLANTA	50	1.5	5	20	2.5	93	BIOMASA VIVA	PLANTAS	Aloe vera

12	Zheng, Peng y Meng (2019)	RESTOS	200	20	7	25	1	99.8	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Mazorca de maíz
13	Amro y Abhary (2019)	ALGA	50	0.75	4	25	1	70	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Cladophora</i>
14	Zheng, Peng y Meng (2018)	RESTOS	100	5	5.8	25	6	93	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Tallo de maíz
15	Amin et al. (2018)	HONGO	20	20	5	50	0.17	99.9	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Pleurotus eryngii</i>
16	Huang et al. (2018)	CASCARAS	30	2	6.06	55.93	4.43	98.9	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de castaño chino
17	Saraeian et al. (2018)	PLANTA	100	10	6	24	0.33	70	BIOMASA VIVA	PLANTAS	Sudan grass
18	Roşca et al. (2018)	BACTERIA	50	3	4	35	0.33	90	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Bacillus megaterium</i>
19	Shen et al. (2017)	ALGA	100	1	6	26	0.83	86.57	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Chlorella sp.</i>
20	Verma, Kumar y Kumar (2017)	PLANTA	50	1	6	35	1	99.5	BIOMASA VIVA	PLANTAS	<i>S. filipendula</i>
21	Ruthiraan et al. (2017)	CASCARAS	50	0.3	7	-	0.75	97	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de mangostán
22	Basua, Guhab y Raya (2017)	CASCARAS	250	0.1	5	30	1	81	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de lenteja
23	Satya et al. (2017)	BACTERIA	83.07	0.1	8	30	1	90	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Aphanothece sp.</i>
24	Bulgariu y Bulgariu (2016)	ALGA	65	8	5	20	0.5	98.8	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	Alga
25	Al-Homaidan et al. (2015)	BACTERIA	60	2	8	26	1.5	87.69	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Spirulina platensis</i>
26	Grudić, Šćepanović y Bošković (2015)	CASCARAS	200	2	5	25	0.33	97	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Orujo de uva
27	Young et al. (2015)	BACTERIA	150	3.3	6	25	0.083	66	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	cepa de <i>Bacillus catenulatus</i> JB-022
28	Guo et al. (2015)	FIBRAS	150	1	5.8	20	1.5	97	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Paja de maíz

29	Tolian, Ali y Zarei (2015)	ALGA	100	1	4.88	65	0.83	75.16	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Enteromorpha sp.</i>
30	Kushwaha et al. (2015)	CASCARAS	100	0.2	5	30	3	83	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de <i>B. flabellifer</i>
31	Huang et al. (2013)	BACTERIA	60	1	5	28	0.5	88	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Bacillus cereus</i> RC-1
32	Sulaymon , Mohammed y Al-Musawi (2013)	ALGA	50	5	4	25	0.5	90	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Chlorophyta</i>
33	Moussous et al. (2012)	HONGO	100	1	5	20	0.25	100	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Clitopilus scyphoides</i>
34	Plaza et al. (2012)	ALGA	400	1	3	20	2	75	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Macrocystis pyrifera</i>
35	Vázquez et al. (2012)	CASCARAS	100	1	5	25	4	95	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de castaña
36	Yen et al. (2012)	ALGA	50	1	6	30	0.25	98	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Scenedesmus obliquus</i> CNW-N
37	Tálos et al. (2012)	HONGO	50	0.3	6	22.5	1	83.7	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
38	Zavvar y Seyedi (2011)	PLANTA	50	0.5	6	25	1	86	BIOMASA VIVA	PLANTAS	Ortiga
39	Chay et al. (2011)	HONGO	80	10	6	25	0.16	86	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Pleurotus ostreatus</i>
40	Lu et al. (2021)	ALGA	30	2	6	25	4	86.58	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Spirulina platensis</i>
41	Tejada et al. (2021)	RESTOS	100	3.3	6	55	2	90	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Coronta de maíz
42	Khajavian et al. (2019)	ALGA	100	1	6	25	3	95	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Cystoseria indica</i>
43	Sharififard et al. (2018)	EXOESQUELETOS	100	2.5	6	25	0.42	99	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de camarón
44	Hashim et al. (2018)	CASCARAS	50	7.5	3	25	2	91.45	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Maní
45	Manasia, Rajesh y Rajesh (2018)	BACTERIA	100	8	8	-	3	98	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Halomonas BVR 1</i>
46	Shamsi, Esmaili y	CASCARAS	20	5	9	30	1.33	96	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Cáscara de huevo

	Foroutan (2018)										
47	Sun et al. (2018)	CASCARAS	20	2	4	45	1	73	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Ajo
48	Song et al. (2017)	HONGO	100	2	5	30	1	94	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Auricularia auricula</i>
49	Xu et al. (2017)	RESTOS	100	2	5	30	1.5	75	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Ceniza de biomasa
50	Ammari et al. (2015)	PLANTA	50	5	5.5	-	2	70	BIOMASA VIVA	PLANTAS	<i>Cyperus laevigatus</i>
51	Ebrahimia, Ehteshamib y Dahrazma (2015)	RESTOS	20	20	6.5	25	0.75	85.5	BIOMASA MUERTA	RESIDUOS ORGÁNICOS	Semilla de <i>Alhaji maurorum</i>
52	Ammari (2014)	PLANTA	20	5	5.5	25	2	92	BIOMASA VIVA	PLANTAS	<i>Arundo donax reed</i>
53	Kulkarni, Shetty y Srinikethan (2014)	BACTERIA	50	40	7	30	2	83	BIOMASA VIVA	MICROORGANISMOS	<i>Bacillus laterosporus</i>

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que en la tabla 4 se recolectaron datos generales de los 53 artículos evaluados, datos como el autor, el nombre del artículo, el año de publicación, el bioadsorbente utilizado, los contaminantes que se removieron en el experimento, la técnica de análisis empleada para caracterizar los bioadsorbentes e información adicional de interés.

Se aprecia que en la tabla 5 se recolectaron datos operacionales, los resultados requeridos y la caracterización de los bioadsorbentes utilizados. Todos estos datos fueron combinados y analizados para responder a nuestros objetivos.

En la tabla 6 se muestra los tipos de bioadsorbentes utilizados, agrupados de acuerdo a su procedencia.

Tabla 6. Agrupación de bioadsorbentes por su procedencia

Biomasa muerta		
Residuos orgánicos	Cáscaras →	Cáscara y bagazo
	Fibras →	Corteza, madera, aserrín, corcho y paja.
	Restos →	Semillas, tallos y corontas
	Exoesqueletos →	Camarón, caracol, mejillón y ostras.
Biomasa viva		
Microorganismos	Bacterias →	Bacterias y cianobacterias
	Algas →	Algas
	Hongos →	Hongos y levaduras
Plantas	Plantas →	Musgos o partes de plantas (tallos, hojas, etc.)

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 muestra la agrupación de acuerdo con la procedencia del bioadsorbente: en la biomasa muerta se encuentran todos los residuos orgánicos (cáscaras, fibras, restos y exoesqueleto) y en la biomasa viva se encuentran a los microorganismos (bacterias, algas, hongos) y las plantas.

La figura 5 muestra los bioadsorbentes utilizados agrupados por tipo.

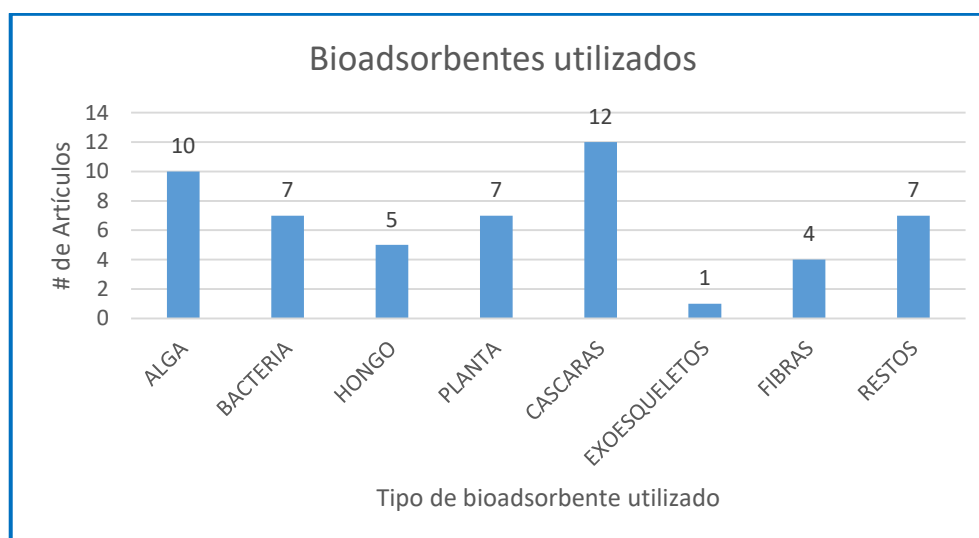


Figura 5. Bioadsorbentes utilizados (Elaboración propia).

La figura 5 evidencia que de los 53 artículos revisados, la tendencia de bioadsorbentes que se emplean para remover el cadmio en medio acuoso es el uso de cáscaras y algas, el primero con 12 artículos y el segundo con 10 artículos respectivamente.

En la figura 6 se presenta el Metaanálisis que se realizó en el programa Revman 5.4. Se aprecian las 53 investigaciones donde se emplearon bioadsorbentes para la remoción de cadmio en solución acuosa. Donde se utilizaron los datos de la concentración inicial y concentración final con la que se removió la mayor cantidad de cadmio.

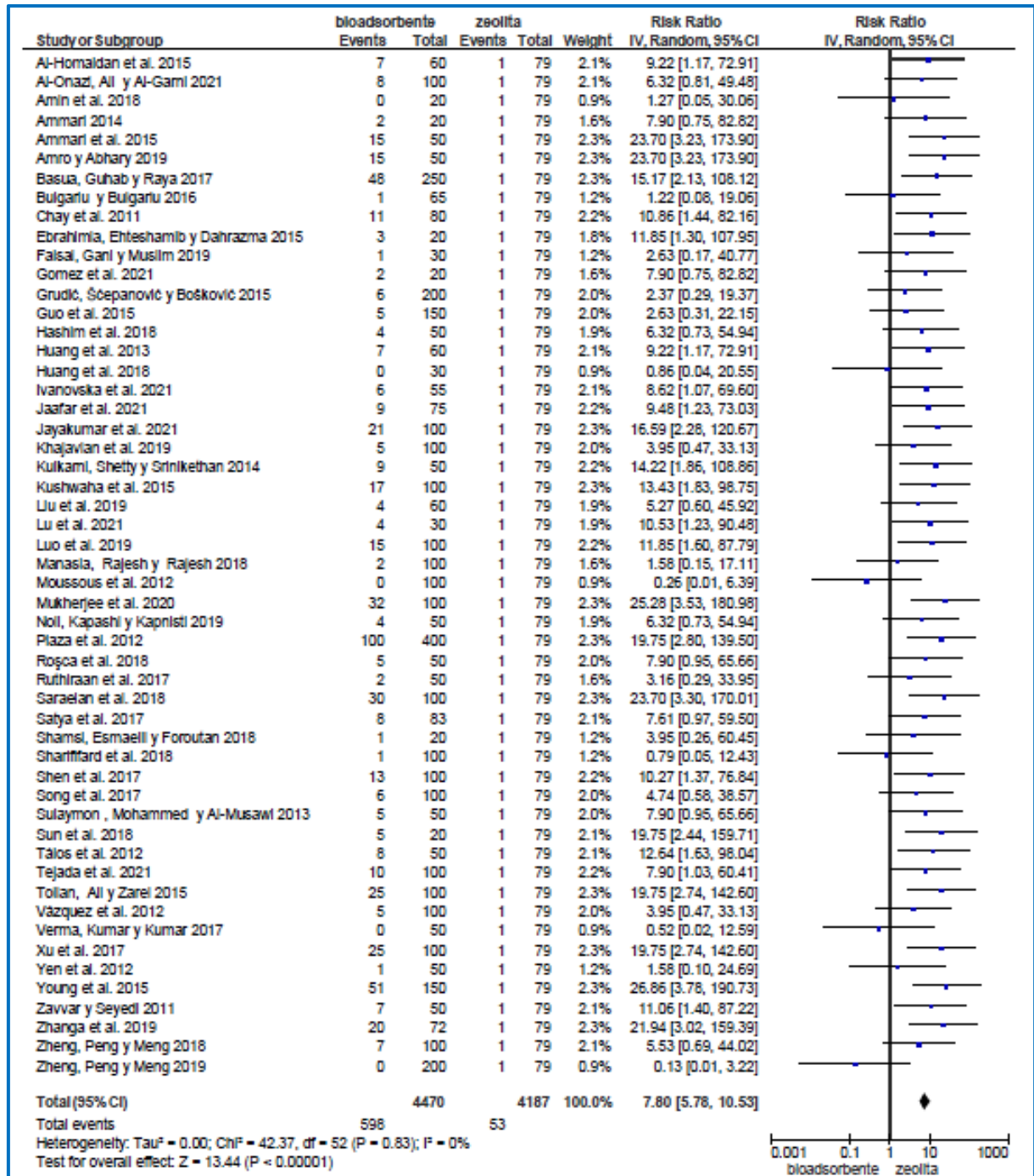


Figura 6. Metaanálisis realizado en el programa Revman (Elaboración propia)

Como se aprecia en la figura 6, se analizaron dos grupos: experimental (biadsorbentes) y grupo control (zeolita). Por motivos prácticos el grupo control fue simulado y replicado para cada estudio experimental. Los valores tomados se obtuvieron del estudio Removal of cadmium from aqueous solution using sonochemically modified clinoptilolite: Optimization and modeling, del autor Nguyen et al. (2020), el cual utilizó un adsorbente convencional (zeolita).

El estudio simulado como grupo control cumplió con todos los criterios y parámetros tomados para el grupo experimental, que lo hacen un artículo de buena calidad, los datos que se utilizaron fueron: concentración inicial (79 mg/l), concentración final (1 mg/l) y porcentaje de remoción (99%).

Al realizar el procesamiento de la información del grupo experimental y control, las investigaciones evaluadas mostraron una homogeneidad estadística de ($I^2= 0\%$).

Se observó en el análisis de los resultados que se favoreció al grupo control (zeolitas), esto se debió principalmente a que los valores de dicho grupo (99% de remoción) fueron simulados y replicados para compararse con cada estudio experimental, que en contraste, estos tenían valores entre 66% y 100% de remoción.

El peso (weight) fue consistente para todo el metaanálisis en un rango de 0.9% a 2.3%, lo que nos indica que el análisis es robusto.

La tabla 7 presenta al porcentaje de remoción, agrupados en una tabla de frecuencia.

Tabla 7. *Tabla de frecuencia del porcentaje de remoción*

Tabla de frecuencia: Porcentaje de remoción						
Porcentaje de remoción (%)		X marca de clase	f frecuencia absoluta	F absoluta acumulada	h frecuencia relativa	H relativa acumulada
L inferior	L superior					
66	- 72	69	5	5	9%	9%
72	- 78	75	5	10	9%	19%
78	- 84	81	5	15	9%	28%
84	- 90	87	11	26	21%	49%
90	- 96	93	13	39	25%	74%
96	- 102	99	14	53	26%	100%
total			53		100%	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 7 se describen las siguientes interpretaciones:

- La media se registra entre 84 y 90% de remoción, con 11 artículos observados.
- La moda se registra entre 96 y 100% de remoción, con 14 artículos observados.
- La mediana se registra entre 90 y 96% de remoción.

Así mismo, la tabla 7 muestra que:

- 39 artículos de un total de 53 alcanzaron un porcentaje de remoción de Cd entre 66 y 96%.
- Un 74% de artículos analizados alcanzaron un porcentaje de remoción de Cd entre 66 y 96%.
- Mientras que solo un 26% de artículos analizados alcanzaron un porcentaje de remoción de Cd entre 96 y 100%.

La figura 7 muestra la cantidad de artículos por intervalo de porcentaje.

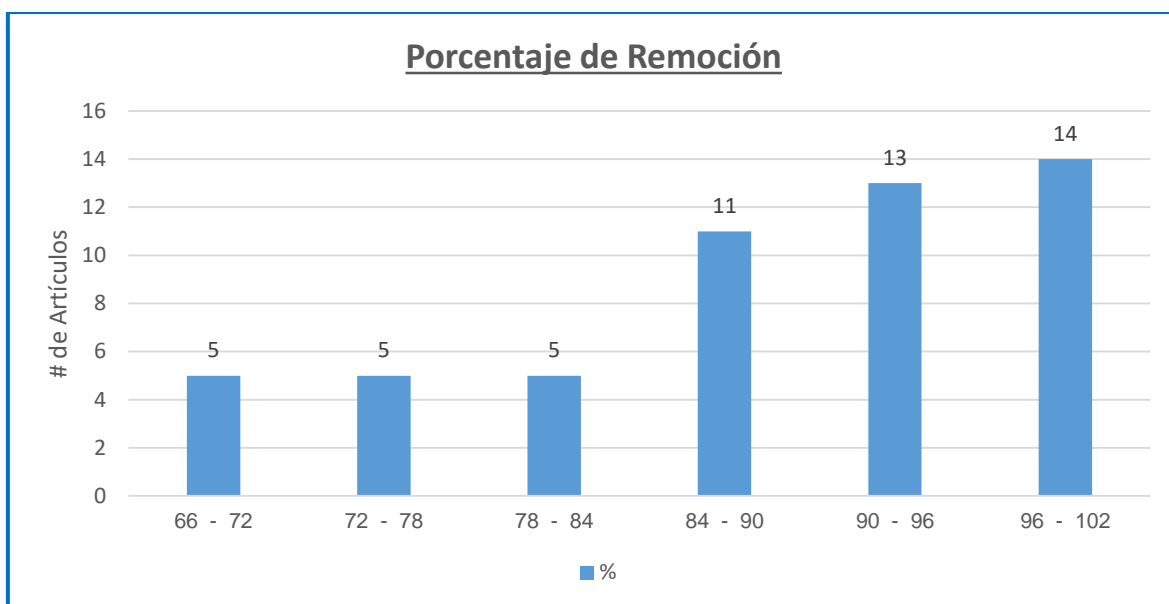


Figura 7. Porcentaje de remoción, gráfico de barras (Elaboración propia)

La figura 7 muestra que 14 artículos alcanzaron una remoción de Cd con un porcentaje de 96 y 100%. Se aprecia que agrupando las 3 primeras columnas y las 3 segundas; 15 artículos removieron el Cd con un porcentaje de 66 a 84%, mientras que 38 artículos removieron el Cd con un porcentaje entre 84 y 100%,

La figura 8 muestra el porcentaje de artículos por intervalo de porcentaje de remoción.

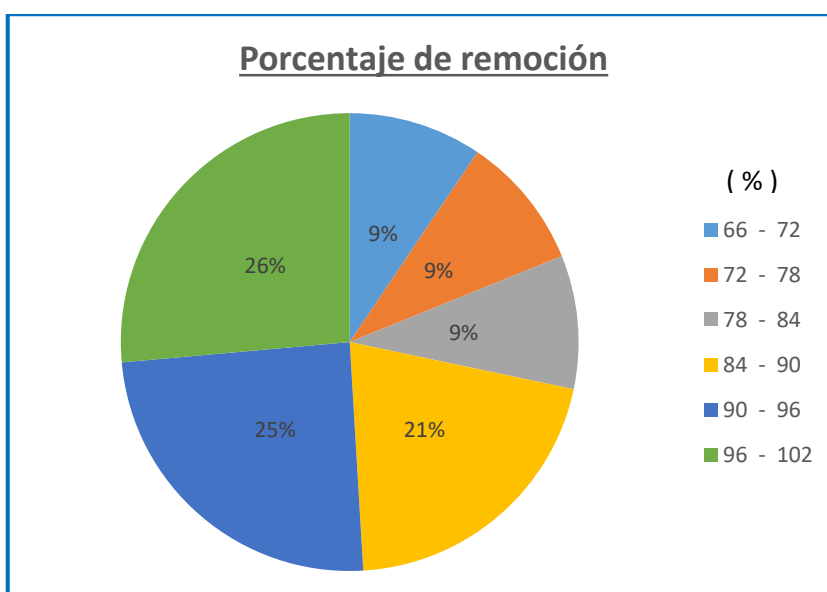


Figura 8. Porcentaje de remoción, gráfico circular (Elaboración propia)

Se muestra que 26% de los artículos evaluados tuvieron un porcentaje de remoción de cadmio entre 96 y 100%. Aproximadamente el 72% de los artículos seleccionados adsorben el Cd entre 84 y 100%, mientras que el 28 % del resto de los artículos adsorbe el Cd entre 66 y 84%.

La tabla 8 presenta al tiempo de contacto, agrupado en una tabla de frecuencia.

Tabla 8. *Tabla de frecuencia del tiempo de contacto*

Tabla de frecuencia: Tiempo de contacto						
Tiempo de contacto (horas)		X	f	F	h	H
L inferior	L superior	marca de clase	frecuencia absoluta	absoluta acumulada	frecuencia relativa	relativa acumulada
0.083	- 2.083	1.083	39	39	74%	74%
2.083	- 4.083	3.083	8	47	15%	89%
4.083	- 6.083	5.083	3	50	6%	94%
6.083	- 8.083	7.083	0	50	0%	94%
8.083	- 10.08	9.083	0	50	0%	94%
10.08	- 12.08	11.083	3	53	6%	100%
total			53		100%	

Fuente: elaboración propia

De la tabla 8, se describen las siguientes interpretaciones:

- La media se registra entre 2.083 y 4.083 horas de tiempo de contacto, con 8 artículos observados.
- La moda se registra entre 0.083 y 2.083 horas de tiempo de contacto, con 39 artículos observados.
- La mediana se registra entre 0.083 y 2.083 horas de tiempo de contacto.

Así mismo, la tabla 8 muestra que:

- 39 artículos de un total de 53 lograron la remoción de Cd en las primeras 2 horas de tiempo de contacto.
- Un 74% de artículos lograron una remoción de Cd en las primeras 4 horas de tiempo de contacto.
- Mientras que un 26% de artículos lograron una remoción de Cd entre 4 y 12 horas de tiempo de contacto.

La figura 9 muestra la cantidad de artículos por intervalo de tiempo.

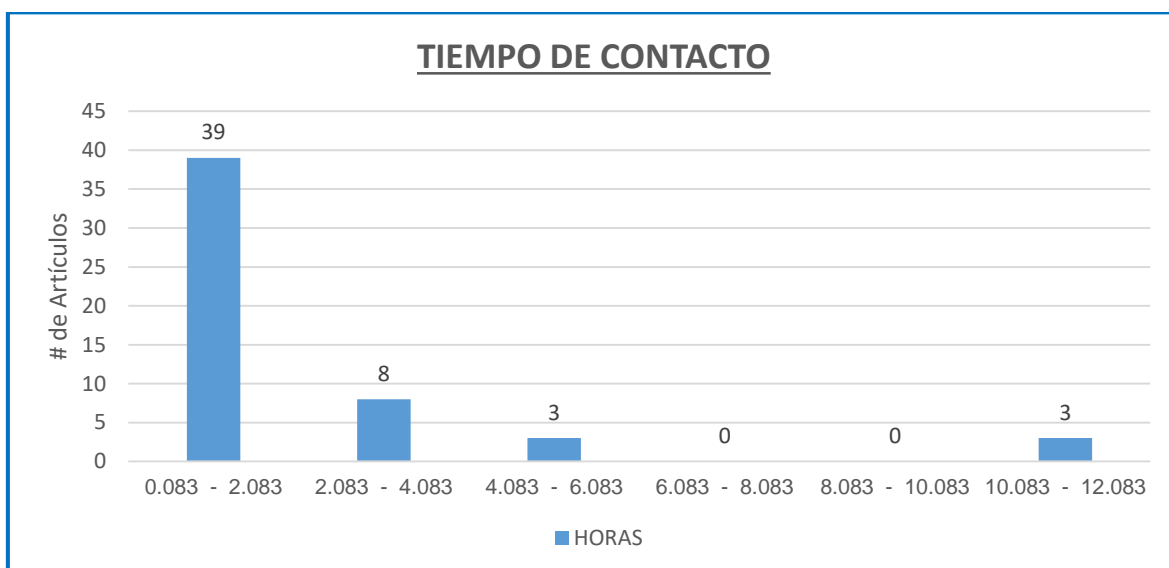


Figura 9. Tiempo de contacto, gráfico de barras (Elaboración propia).

La figura 9 evidencia que 39 de 53 artículos removieron el Cd en las primeras 2 horas, mientras que 11 artículos removieron el Cd en intervalos de tiempos entre 2 a 6 horas. Solo 3 artículos fueron los que removieron Cd en intervalos de tiempos de 10 a 12 horas. Para los intervalos de tiempo de 6 a 8 horas y de 8 a 10 horas, no hubo artículos que alcanzaron la máxima remoción.

La figura 10 muestra el porcentaje de artículos por intervalo de tiempo.

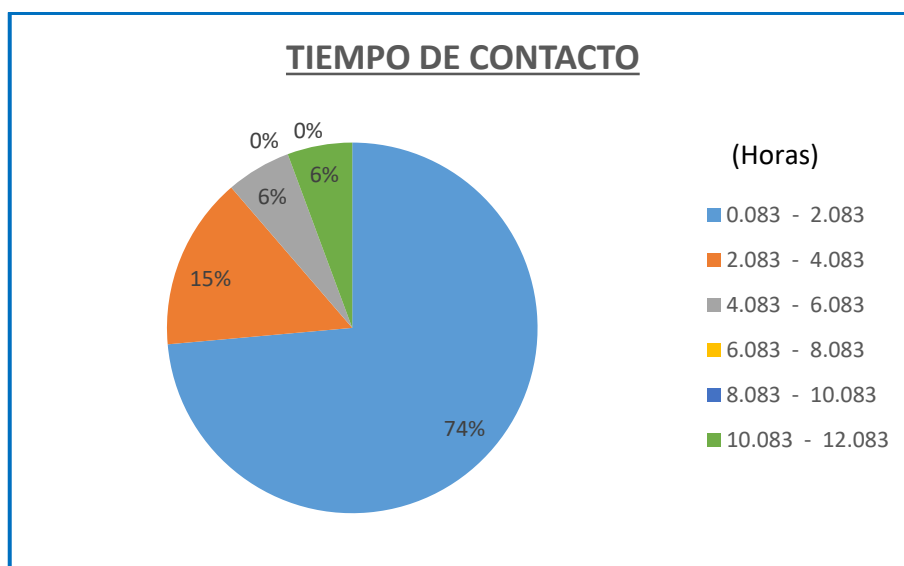


Figura 10. Tiempo de contacto, gráfico circular (Elaboración propia)

Se muestra que aproximadamente el 95% de los artículos seleccionados obtienen su máxima adsorción en las primeras 6 horas, mientras que el 5% del resto de artículos remueve el Cd en el intervalo de tiempo de 10 a 12 horas.

La figura 11 muestra la eficiencia de los bioadsorbentes en términos de porcentaje de remoción y tiempo de contacto. Para ello se cruzaron los datos de los 14 artículos que obtuvieron su máxima adsorción en el intervalo de 96 a 100%, con los 39 artículos que removieron el Cd en las primeras 2 horas, dándonos un total de 11 artículos que cumplían ambas premisas.

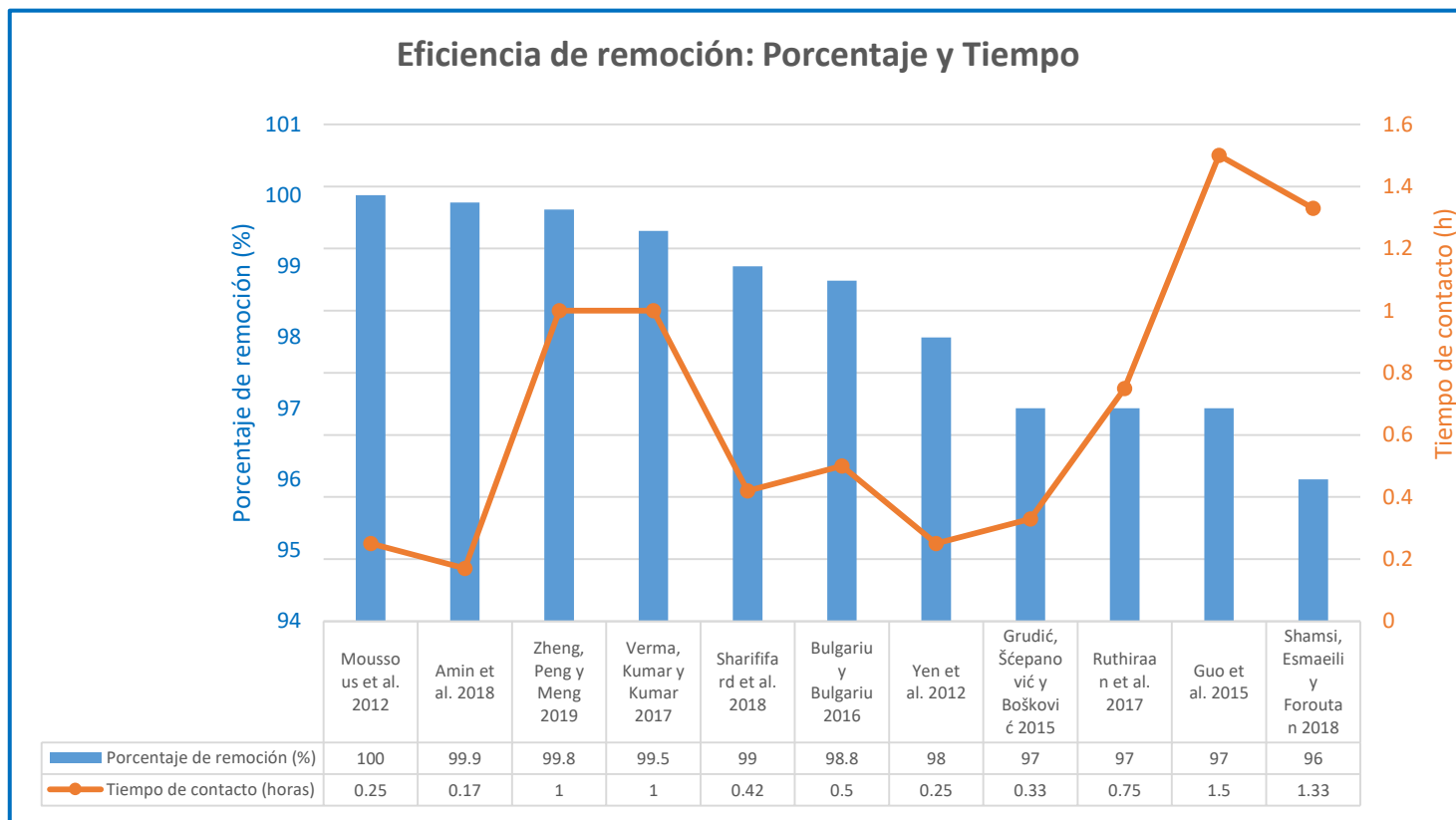


Figura 11. Eficiencia de remoción: Porcentaje y tiempo (Elaboración propia)

La figura 11 muestra a los 11 artículos ordenados jerárquicamente por el porcentaje de remoción (de izquierda a derecha), acompañado de su tiempo de contacto respectivo. El estudio de Moussous *et al.* (2012) fue el más representativo porque este alcanzó un porcentaje de remoción del 100% con un tiempo de contacto de 0.25 horas utilizando al hongo *Clitopilus scyphoides* como bioadsorbente. El segundo estudio más representativo fue el de Amin *et al.* (2018), ya que alcanzó un porcentaje de remoción del 99.9% en un tiempo de contacto de 0.17 horas utilizando al hongo *Pleurotus eryngii* como bioadsorbente.

V. DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática fue realizada para mostrar el uso de técnicas no convencionales para remover metales pesados presentes en el agua, en específico el uso de bioadsorbentes para la remoción de cadmio (Cd) en medio acuoso. Tal como lo menciona Caviedes *et al.* (2015) las técnicas no convencionales para remover los metales pesados engloban el uso de adsorbentes de bajo costo (biológicos) y materiales de desechos agrícolas e industriales, ya que estos presentan alta eficiencia de remoción y recuperación de metales, son de bajo costo y disponibilidad abundante.

La información requerida fue buscada en las plataformas de información científica más amplias como Web of Science y Scopus, delimitando la búsqueda desde el 01 de enero del 2011 hasta el 30 de setiembre del 2021, dándonos como resultado 818 artículos científicos entre ambas bases de datos que contemplaban el uso de bioadsorbentes en la remoción el Cd en medio acuoso. Luego de un minucioso proceso de filtración y exclusión nos quedó un total de 53 artículos científicos para análisis estadístico y descriptivo.

La lectura exhaustiva de los artículos científicos nos proporcionó características comunes, como por ejemplo:

- Las muestras fueron recolectadas de una actividad industrial o generadas en laboratorio.
- Los bioadsorbentes fueron recolectados, lavados, secados, molidos, tamizados, caracterizados y usados en los experimentos.
- Las técnicas de análisis (FTIR, SEM, etc.) se usaron para visibilizar la superficie del adsorbente y caracterizar los grupos funcionales responsables de la captación de Cd. Los grupos más frecuentes fueron los hidroxilos, carboxilos y nitrilos.
- A valores de pH bajos, los iones H presentes en el sistema compiten con los cationes metálicos (Cd) por los sitios de intercambio en la superficie del bioadsorbente. En condiciones ácidas, se produce una mayor ionización de los grupos funcionales, lo que ayuda a una mejor remoción.

- La rápida adsorción de metales se puede atribuir a la granulometría del bioadsorbente, ya que al disminuir el tamaño de las partículas aumenta la eficiencia de remoción al tener la superficie más porosa, gran disponibilidad de sitios activos.
- Mientras que la cinética de adsorción permite conocer el tiempo en que se realiza el proceso, las isothermas de Langmuir y Freundlich se utilizan para describir la relación entre los iones Cd adsorbidos por gramo de bioadsorbente (mg/g).
- A medida que avanza el proceso de adsorción, el soluto absorbido tiende a desorberse nuevamente en la solución. Cuando la adsorción y desorción alcanzan un estado de equilibrio no se produce más adsorción neta. El tiempo en el que se alcanza el equilibrio de adsorción en un conjunto dado de condiciones.

Tal como se evidencio en el trabajo de Sharififard *et al.* (2018) para la preparación del bioadsorbente se utilizaron los exoesqueletos de camarones que se recolectaron, lavaron, secaron, pulverizaron y tamizaron. El polvo obtenido fue modificado químicamente utilizando el método sonoquímico, añadiéndole biocarbón de tallo de uva para mejorar su capacidad de adsorción. Se le realizó el análisis FTIR para determinar la presencia de grupos de grupos funcionales NH₂, las imágenes SEM permitieron ver el tamaño de los poros del bioadsorbente modificado. La cinética de adsorción que mejor describió el proceso fue el modelo de pseudo segundo orden y la isoterma de Langmuir fue la que mejor se ajustó a la adsorción, la capacidad de adsorción resultante fue 344 mg de cadmio por gramo de bioadsorbente modificado (344 mg/g).

Los artículos fueron estudiados y registrados en las fichas de registro 1 y 2 para proceder con el análisis. Como el metaanálisis nace en el campo de la salud, para la generación del Forest Plot se realizó una adaptación y/o simulación del grupo control, ya que el programa Revman requería la comparación de 2 grupos de datos. Esto favoreció a la comparabilidad y explicación de los datos obtenidos como la heterogeneidad, peso y dirección del efecto. El artículo utilizado para el grupo control fue recolectado de ScienceDirect y fue seleccionado por cumplir con todos los criterios de elegibilidad que lo hacen un artículo de calidad.

El metaanálisis se analizó por risk ratio (RR) y por efectos aleatorios porque se asumió que los efectos del tratamiento con bioadsorbentes no son los mismos para todos los estudios evaluados y aún conservaban cierto grado de diferencias. El mayor peso registrado fue de 2.3% para aquellos estudios que tuvieron un mayor número de eventos registrados. Se aprecia que el rango de peso es consistente, lo cual se puede explicar cómo resultados robustos y no hay necesidad de repetir el proceso retirando estudios para el análisis de sensibilidad.

El índice de heterogeneidad ($I^2 = 0\%$) nos indica que los estudios son homogéneos, esto se debe a la homogeneidad en cantidad en las comparaciones entre los participantes (cantidad inicial) y los efectos (cantidad final) del grupo experimental y su grupo control respectivo. Esta homogeneidad se puede explicar mediante el grupo control simulado (zeolita), ya que en promedio la concentración inicial del grupo experimental fue 84 mg/L y la concentración inicial del grupo control fue 79 mg/L. Se demuestra que el artículo científico usado como grupo control fue favorable y adecuado.

El forest plot demuestra que el proceso de remoción favorece al uso de zeolita, esto se explica porque se replicó el mismo valor (99%) para todas las comparaciones. Esto no significa una competencia por qué tipo de adsorbente usar, sino que evidencia que los bioadsorbentes tienen similar eficiencia para remover Cd del medio acuoso, sumado a su valor intrínseco como bajo costo, eco amigables, se reintroducen a la cadena de valor y pueden usarse varias veces sin perder significativamente su eficiencia.

Con la certeza de tener estudios homogéneos, se caracterizó el tipo de bioadsorbente que aplicaban los 53 artículos seleccionados, dando como resultado que el uso de Cáscaras (cáscaras de: palma aceitera, castaño, lentejas, huevo, maní; bagazos de: caña, uva) era el bioadsorbente más aplicado para remover el Cd presente en medio acuoso con un total de 12 artículos. Un ejemplo de uso de cáscaras es el estudio de Ruthiraan *et al.* (2017), donde se utilizó las cáscaras del mangostán como bioadsorbente, los cuales fueron recolectados en Malasia. Para realizar la preparación se procedió con el lavado, secado y la pulverización. Después se sometió a una modificación química usando óxido de hierro para

mejorar su capacidad de adsorción. Se obtuvo por las isothermas de Langmuir que la cantidad adsorbida fue de 45.66 mg/g.

Al ser una cantidad mayor de 20 artículos, los datos como porcentaje de remoción y tiempo de contacto (útiles para responder a nuestros objetivos) fueron agrupados en una tabla de frecuencia con el objetivo de hacer más manejable la información.

Los gráficos resultantes del porcentaje de remoción arrojaron que 14 artículos (26% del total de artículos) removían el Cd con un porcentaje del 96 al 100%, predominando el uso de cáscaras. El estudio más representativo fue Moussous et al. (2012) donde se usó el hongo *Clitopilus scyphoides* y se obtuvo un porcentaje de remoción del 100%. La biomasa se preparó a partir de residuos fúngicos industriales, se limpiaron con agua destilada y durante 24 horas se secó a 50°C. El residuo seco se molió en un mortero y se procedió a tamizarlo. Los bioadsorbentes fueron almacenados a temperatura ambiente. Se utilizaron las siguientes técnicas de análisis: microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico (TGA) y espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF). Siguiendo el proceso de adsorción, el modelo cinético que mejor se ajustó fue el de primer orden y para el equilibrio la isoterma de Langmuir fue la que mejor describió el proceso, demostrando que la adsorción fue del tipo química (quimiosorción).

Los gráficos resultantes del tiempo de contacto demostraron que 39 artículos (74% del total de artículos) obtenían su máxima remoción de Cd en las primeras 2 horas, predominando el uso de algas. El estudio más representativo fue Young et al. (2015) donde se usó la bacteria *Bacillus catenulatus* JB-022 y se obtuvo un tiempo de contacto de 0.083 horas (5 minutos). La biomasa se preparó a partir del residuo de fermentación obteniendo como resultado un polvo seco que caracterizo por las siguientes técnicas de análisis: Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), difracción de rayos X (XRD), espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDX). Siguiendo el proceso de adsorción el modelo cinético que mejor se ajusta fue el de segundo orden para el equilibrio la isoterma de Langmuir fue la mejor describió el proceso, demostró que la adsorción fue del tipo química (quimiosorción).

Para conocer que bioadsorbente era más eficiente en términos de porcentaje de remoción y tiempo, se filtraron y vincularon los datos obtenidos anteriormente (14 artículos que removieron el Cd en un porcentaje de 96 al 100% y 39 artículos que alcanzaron la máxima remoción del Cd en las primeras 2 horas), obteniendo así un total de 11 artículos que cumplían dichas premisas (figura 11).

Predominando como primer criterio el porcentaje de remoción frente al tiempo de contacto, se puede decir que estadísticamente 4 bioadsorbentes son los más eficaces para remover Cd en medio acuoso:

- Hongo *Clitopilus scyphoides* con un porcentaje de remoción del 100% en un tiempo de contacto de 0.25 horas (15 minutos).
- Hongo *Pleurotus eryngii* con un porcentaje de remoción del 99.9% en un tiempo de contacto de 0.17 horas (10 minutos).
- Restos de Mazorca de maíz con un porcentaje de remoción del 99.8% en un tiempo de contacto de 1 hora (60 minutos).
- Planta de S. filipéndula con un porcentaje de remoción del 99.5% en un tiempo de contacto de 1 hora (60 minutos).

Se concluye que los hongos *Clitopilus scyphoides* y *Pleurotus eryngii* son los bioadsorbentes más eficientes. Tal como lo menciona Amin et al. (2018), que durante las últimas 2 décadas se han incrementado las investigaciones en el uso de biosrbentes económicos, en los que destaca los hongos por haber demostrado su alta eficiencia en la captura de metales, son abundantes y de fácil disponibilidad.

La fortaleza de la presente revisión sistemática radica en el proceso detallado, comprensible y replicable con el que se desarrolló, para poder recolectar, seleccionar y evaluar artículos científicos confiables del tema de estudio.

La debilidad más resaltante fue la generación del Forest Plot realizado en el programa Revman 5.4, ya que este tipo de software requiere la incorporación de datos de un grupo experimental vs un grupo control. Por lo cual para poder obtener resultados reales que se puedan explicar el grupo control fue simulado.

Los resultados obtenidos muestran que los bioadsorbentes pueden sustituir el uso de adsorbentes convencionales, ya que presentan porcentajes de remoción semejantes, son de bajo costo y pueden utilizarse entre 3 a 5 ciclos de adsorción-desorción sin variar significativamente su efectividad.

VI. CONCLUSIONES

- 1) El estudio que evidencio el mayor porcentaje de remoción fue el de Moussous et al. (2012) que obtuvo un porcentaje de remoción del 100% aplicando un bioadsorbente a base del hongo *Clitopilus scyphoides*, este fue un residuo industrial. Demostrando la eficiencia de la biomasa de procedencia viva (microorganismos) para la remoción del cadmio en soluciones acuosas, se realizaron cinco ciclos de adsorción-desorción demostró una alta capacidad para la recuperación del cadmio.
- 2) El estudio que obtuvo el menor tiempo de contacto fue el de Young et al. (2015) con un tiempo de contacto de 5 minutos, en este estudio se aplicó un bioadsorbente a base de la bacteria *Bacillus catenulatus* JB-022 que fue un residuo de fermentación. Demostrando la eficiencia de la biomasa de procedencia viva (microorganismos) en función del tiempo, para remover el cadmio en solución acuosa.
- 3) De los 53 artículos revisados y analizados, dos investigaciones tuvieron los porcentajes por encima del 99% con tiempo de acción menor o igual a 15 minutos, estos estudios usaron biomasa de procedencia viva (microorganismos) y son los siguientes: Moussous et al. (2012) utilizó el hongo *Clitopilus scyphoides* y obtuvo un porcentaje de remoción del 100% en un tiempo de contacto de 0.25 horas (15 minutos); Amin et al. (2018) utilizó el hongo *Pleurotus eryngii* y obtuvo un porcentaje de remoción del 99.9% en un tiempo de contacto de 0.17 horas (10 minutos).
- 4) Respecto al análisis realizado se concluye que la biomasa de procedencia viva o muerta usada como bioadsorbente para remover al cadmio en solución acuosa son eficientes, ya que los resultados mostraron porcentajes de remoción entre 60% y 100%, así como en su mayoría tiempos de contacto dentro de las primeras 2 horas. Esto, sumado a las características simbólicas del uso de residuos (ecoamigable, bajo costo, reciclaje, etc.) hacen que los bioadsorbentes sean una alternativa necesaria frente al uso de adsorbentes convencionales.

VII. RECOMENDACIONES

- 1) Debe promoverse las investigaciones en las diferentes técnicas no convencionales para remover los metales pesados de las aguas residuales, tales como el uso de hidrogeles, cenizas volantes o los biopolímeros.
- 2) Cuando se experimente con biomasa de procedencia viva, debe detallarse claramente la preparación del material y los mecanismos por los cuales se remueven los contaminantes, ya que la biomasa viva puede capturar los metales por adsorción o absorción.
- 3) Se debe tener acceso a las bibliotecas virtuales de ScienceDirect, Taylor&Francis y Springer, ya que se evidencio que fueron las que más artículos científicos de calidad contenían.
- 4) Para realizar una revisión sistemática, debe tenerse conocimientos previos afianzados del tema de estudio, esto ayudará a establecer unos criterios de búsqueda más consistente y así obtener una cadena de búsqueda más sólida que no deje de lado información valiosa. Así mismo deberá realizarse entre mínimo 2 personas para contrastar la información.
- 5) Es importante filtrar los estudios evaluando su calidad (metodologías, parámetros operacionales, técnicas de análisis y resultados) para que la cantidad de artículos finales sean estudios uniformes en contenido y se puedan combinar, así reduciendo la heterogeneidad y el error.
- 6) La cantidad de artículos para el análisis estadístico deberá ser mayor a 20, ya que los resultados que arrojen serán más confiables.
- 7) Para realizar un verdadero metaanálisis en el campo de la ingeniería deben aumentar los trabajos de investigación en comparación de tratamientos, con variables dependientes e independientes similares o coincidentes. En caso contrario deberá simularse el grupo control con un trabajo de investigación con tratamientos diferentes, pero que contengan los mismos criterios de calidad, cuyos datos serán replicados para cada comparación. Obteniendo así el índice de heterogeneidad y el peso de cada estudio.

REFERENCIAS

- AGUARO, Joel y ONOFRE, Edgar. Investigación para controlar en las aguas residuales industriales la contaminación con cromo, usando cáscara de huevo calcinado, en soluciones sintéticas y posterior aplicación a las aguas contaminadas reales. Tesis (ingeniero químico). Arequipa: Universidad San Agustín de Arequipa, 2018. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://docplayer.es/127459041-Facultad-de-ingenieria-de-procesos.html>
- AL-HOMAIDAN, Ali [et al.]. Adsorptive removal of cadmium ions by *Spirulina platensis* dry biomass. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea]. 2015, vol. 22, n.o 6, pp. 795-800. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X15001436>
ISSN: 1319-562X
- AL-ONAZI, Wedad, ALI, Mohamed y AL-GARNI, Tahani. Using Pomegranate Peel and Date Pit Activated Carbon for the Removal of Cadmium and Lead Ions from Aqueous Solution. *Journal of Chemistry* [en línea]. 2021, vol. 2021, pp. 1-13. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2021/5514118/>
DOI: 10.1155/2021/5514118
- AMIN, Farah [et al.]. Utilization of *Pleurotus eryngii* biosorbent as an environmental bioremediation for the decontamination of trace cadmium(II) ions from water system. *Water Science and Technology* [en línea]. 2018, vol. 78, n.o 5, pp. 1148-1158. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://iwaponline.com/wst/article/78/5/1148/63786/Utilization-of-Pleurotus-eryngii-biosorbent-as-an>
ISSN: 0273-1223
- AMMARI, Tarek [et al.]. Assessment of unmodified wetland bio-waste: Shoots of *Cyperus laevigatus*, for cadmium adsorption from aqueous solutions. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. 2015, vol. 95, pp. 77-85. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582015000282>
ISSN: 9575820
- AMMARI, Tarek. Utilization of a natural ecosystem bio-waste; leaves of *Arundo donax* reed, as a raw material of low-cost eco-biosorbent for cadmium removal from aqueous

phase. Ecological Engineering [en línea]. 2014, vol. 71, pp. 466-473. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414003589?via%3Dihub>
ISSN: 9258574

- AMRO, Abdulaziz y ABHARY, Mohammad. Removal of Lead and Cadmium Ions from Water Using Cladophora Biomass. Polish Journal of Environmental Studies [en línea]. 2019, vol. 28, n.o 5, pp. 3589-3596. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.pjoes.com/Removal-of-Lead-and-Cadmium-Ions-from-Water-Using-Cladophora-Biomass,94622,0,2.html>
ISSN: 1230-1485
- BASU, Mousumi, GUHAB, Arun y RAYA, Lalitagauri. Adsorption Behavior of Cadmium on Husk of Lentil. Process Safety and Environmental Protection [en línea]. 2017, vol. 106, pp. 11-22. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582016302956>
ISSN: 0957-5820
- BELCAID, A. [et al.]. Efficient removal of Cr (VI) and Co (II) from aqueous solution by activated carbon from Manihot esculenta Crantz agricultural bio-waste. Water Science and Technology [en línea]. 2021. vol. 83, n.o 3, pp. 556-566. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/347549416_Efficient_removal_of_Cr_VI_and_Co_II_from_aqueous_solution_by_activated_carbon_from_Manihot_esculenta_Crantz_agricultural_bio-waste
ISSN: 19969732
- BULGARIU, Dumitru y BULGARIU, Laura. Potential use of alkaline treated algae waste biomass as sustainable biosorbent for clean recovery of cadmium(II) from aqueous media: batch and column studies. Journal of Cleaner Production [en línea]. 2016, vol. 112, n.o 5, pp. 4525-4533. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615007039>
ISSN: 0959-6526
- CARVAJAL, Elizabeth y MARULANDA, Luisa. Uso de residuos de café como biosorbente para la remoción de metales pesados en aguas residuales. Ingenierías USBMed [en línea]. 2020, vol. 11, n.o 1, pp. 44-55. [Fecha de consulta 20 de junio de

- 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7973093>
ISSN 2027-5846
- CASCARET, Dannis [et al.]. Utilización de bagazo de caña de azúcar natural y tratado químicamente, como material adsorbente para Cu²⁺. Revista Cubana de Química [en línea]. 2020, vol. 32, n.o 2, pp. 331-344. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4435/443564573011/443564573011.pdf>
ISSN: 2224-5421
 - CAVIEDES, Diego [et al.]. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. Ingeniería y Región [en línea]. 2015, vol. 13, n.o 1, pp. 73-90. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
ISSN: 1657-6985
 - CAVIEDES, Diego, DELGADO, Daniel y OLAYA, Alfredo. Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. Producción + Limpia [en línea], 2016, vol. 11, n.o 2, pp. 126-149. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1245/1036>
ISSN: 19090455
 - CHAY, Chia [et al.]. Biosorption of cadmium ions using *Pleurotus ostreatus*: Growth kinetics, isotherm study and biosorption mechanism. Korean Journal of Chemical Engineering [en línea]. 2011, vol. 28, n.o 3, pp. 825-830. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/4130/1/Paper_-_Korean_Journal_of_Chemical_Engineering.pdf
ISSN: 0256-1115
 - DE FREITAS, Franciele, BATTIROLA, Leandro y TORTORELA, Ricardo. Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ Ions by *Pontederia rotundifolia* (L.f.) (Pontederiaceae) and *Salvinia biloba* Raddi (Salviniaceae) Biomass. Water, Air, and Soil Pollution [en línea]. 2018, vol. 229, n.o 11. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328523245_Adsorption_of_Cu2_and_Pb2_Ions_by_Pontederia_rotundifolia_Lf_Pontederiaceae_and_Salvinia_biloba_Raddi_Salvini

aceae Biomass

ISSN: 15732932

- DÍAZ, Ariel [et al.]. Bioadsorción de níquel en residuales de Empresa Minera por biomasa de *Phyllanthus Orbicularis*. Revista Tecnología Química [en línea]. 2017, vol. 37, n.o 1, pp. 51-66. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n1/rtq06117.pdf>
ISSN: 2224-6185
- DULZAIDES, María y MOLINA, Ana. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. Acimed [en línea]. 2004, vol. 12, n.o 2, pp. 1-5. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v12n2/aci11204.pdf>
ISSN: 10249435
- EBRAHIMIA, A., EHTESHAMIB, M. y DAHRAZMA, B. Isotherm and kinetic studies for the biosorption of cadmium from aqueous solution by *Alhaji maurorum* seed. Process Safety and Environmental Protection [en línea]. 2015, vol. 98, pp. 374-382. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582015001767>
ISSN: 9575820
- FAISAL, Muhammad, GANI, Asri y MUSLIM, Abrar. Cadmium adsorption onto NaOH activated palm kernel shell charcoal. International Journal of Geomate [en línea]. 2019, vol. 17, n.o 64, pp. 252-260. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/252-260-93855-faisal-Dec-2019-64g.pdf>
ISSN: 2186-2982
- FÉLIX, Maria [et al.]. Carnauba (*Copernicia prunifera*) palm tree biomass as adsorbent for Pb(II) and Cd(II) from water medium. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. 2021, vol. 28, n.o 15, pp. 18941-18952. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338575043_Carnauba_Copernicia_prunifera_palm_tree_biomass_as_adsorbent_for_PbII_and_CdII_from_water_medium
ISSN: 16147499
- FOMINA, M. y GADD, G. Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. Bioresource Technology [en línea]. 2014, vol. 160, pp. 3-14. [Fecha de

consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413019421>

DOI: 10.1016/j.biortech.2013.12.102

- FOROUTAN, Rauf [et al.]. Characteristics and performance of Cd, Ni, and Pb bio-adsorption using *Callinectes sapidus* biomass: real wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2019, vol. 26, n.o 7, pp. 6336-6347. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en:
<https://www.proquest.com/docview/2164401280?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
ISSN: 16147499
- GOMEZ, Viviana [et al.]. Bioadsorption of nickel and cadmium ions from a binary solution onto sugarcane bagasse lignin: kinetic and thermodynamic study. *Indian Journal of Chemical Technology* [en línea]. 2021, vol. 28, n.o 2, pp. 197-206. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:
<http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/57457>
ISSN: 0971-457X
- GRUDIĆ, Veselinka, ŠĆEPANOVIĆ, Jelena y BOŠKOVIĆ, Ivana. Removal of cadmium (II) from aqueous solution using fermented grape marc as a new adsorbent. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* [en línea]. 2015, vol. 21, n.o 2, pp. 285-293. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:
<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1451-93721400027G#.YWmskBpBxqM>
ISSN: 1451-9372
- GUO, Hong [et al.]. Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by chemically modified maize straw. *Carbohydrate Polymers* [en línea]. 2015, vol. 115, pp. 177-185. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714008108>
ISSN: 0144-8617
- HASHIM, Firas [et al.]. Isotherm and kinetic models for bio-sorption of cadmium ions from aqueous solutions using dry peanut shells and hazelnut shells. *Revista de Chimie* [en línea]. 2018, vol. 69, n.o 10, pp. 2603-2607. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revistadechimie.ro/Articles.asp?ID=6589>
ISSN: 347752

- HERNÁNDEZ, Mónica [et al.]. Adsorción de NI (II) en carbón activado de conchas de coco modificado con soluciones de Ácido Nítrico. Revista Tecnología Química [en línea]. 2017, vol. 37, n.o 1, pp. 12-24. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n1/rtq02117.pdf>
ISSN: 2224-6185

- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la Investigación. 6ta Ed. México: McGraw-Hill. 2014.

- HOSSAIN, Asif y ADITYA, Gautam. Biosorption of cadmium from aqueous solution by shell dust of the fresh water snail Melanoides tuberculata. Bioremediation Journal [en línea]. 2015, vol. 19, n.o 1, pp. 80-91. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272891692_Biosorption_of_Cadmium_from_Aqueous_Solution_by_Shell_Dust_of_the_Fresh_Water_Snail_Melanoides_tuberculata
ISSN: 15476529

- HUANG, Fei [et al.]. Biosorption of Cd(II) by live and dead cells of Bacillus cereus RC-1 isolated from cadmium-contaminated soil. Colloids and Surfaces B [en línea]. 2013, vol. 107, pp. 11-18. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776513000842>
ISSN: 0927-7765

- HUANG, Yuanyuan [et al.]. Using pretreated chestnut endothelium to adsorb lead and cadmium ions from water. Saudi Journal of Biological Sciences [en línea]. 2018, vol. 25, n.o 6, pp. 1154-1162. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X18300330>
ISSN: 1319-562X

- INDHUMATHI, Ponnuswamy [et al.]. The Efficient Removal of Heavy Metal Ions from Industry Effluents Using Waste Biomass as Low-Cost Adsorbent: Thermodynamic and Kinetic Models. Zeitschrift fur Physikalische Chemie [en línea]. 2018, vol. 232, n.o 4, pp. 527-543. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321235860_The_Efficient_Removal_of_Heavy_Metal_Ions_from_Industry_Effluents_Using_Waste_Biomass_as_Low-Cost_Adsorbent_Thermodynamic_and_Kinetic_Models
ISSN: 09429352

- IVANOVSKA, Aleksandra [et al.]. A Strategy to Revalue a Wood Waste for Simultaneous Cadmium Removal and Wastewater Disinfection. *Adsorption Science & Technology* [en línea]. 2021, vol. 2021, pp. 1-14. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/ast/2021/3552300/> ISSN: 0263-6174

- JAAFAR, Adil [et al.]. Optimization of cadmium ions biosorption by fish scale from aqueous solutions using factorial design analysis and Monte Carlo simulation studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. 2021, vol. 9, n.o 1, pp. 1-10. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720310769> DOI: 10.1016/j.jece.2020.104727

- JAYAKUMAR, V. [et al.]. Sustainable removal of cadmium from contaminated water using green alga – Optimization, characterization and modeling studies. *Environmental Research* [en línea]. 2021, vol. 199, pp. 1-10. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121006587> ISSN: 0013-9351

- KAN, Shi [et al.]. Biosorption of aquatic copper (II) by mushroom biomass *Pleurotus eryngii*: Kinetic and isotherm studies. *Water Science and Technology* [en línea]. 2015, vol. 71, n.o 2, pp. 283-288. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1930980712> ISSN: 02731223

- KHAJAVIAN, Mohammad [et al.]. Simultaneous biosorption of nickel and cadmium by the brown algae *Cystoseria indica* characterized by isotherm and kinetic models. *Applied Biological Chemistry* [en línea]. 2019, vol. 62, n.o 69, pp. 1-12. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://appliedbiolchem.springeropen.com/articles/10.1186/s13765-019-0477-6> ISSN: 24680834

- KULKARNI, Rajeswari, SHETTY, Vidya y SRINIKETHAN, G. Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea]. 2014, vol. 45, n.o 4, pp. 1628-1635. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107013003064>

ISSN: 18761070

- KUMAR, A. [et al.]. Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere* [en línea]. 2021, vol. 268, pp. 1-22. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520330538?via%3Dihub>
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128855
- KUSHWAHA, Shilpi [et al.]. Spectroscopic characterization for remediation of copper, cadmium and mercury using modified palm shell powder. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea]. 2015, vol. 46, pp. 191-199. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107014002843>
ISSN: 1876-1070
- LARA, José [et al.]. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Core.Ac.Uk* [en línea]. 2016, vol. 29, n.o 2, pp. 113-124. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/230208519.pdf>
DOI: 10.18273/revion.v29n2-2016009
- LAVADO, Carmencita y ORÉ, Franklin. Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (*Zea mays*). *Rev Soc Quim Perú* [en línea]. 2016, vol. 82, n.o 4, pp. 403-414. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a03v82n4.pdf>
ISSN: 1810-634X
- LI, Z. [et al.]. Speciation, transportation, and pathways of cadmium in soil-rice systems: A review on the environmental implications and remediation approaches for food safety. *Environment International* [en línea]. 2021, vol. 156. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021003743?via%3Dihub>
DOI: 10.1016/j.envint.2021.106749
- LIU, Mingke [et al.]. Adsorption Characteristics of Cadmium Ions from Aqueous Solution onto Pine Sawdust Biomass and Biochar. *Bioresources* [en línea]. 2019, vol. 14, n.o 2, pp. 4270-4283. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:

<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/adsorption-characteristics-of-cadmium-ions-from-aqueous-solution-onto-pine-sawdust-biomass-and-biochar/>
ISSN: 1930-2126

- LOBO, M. y GULIMANE, K. Biosorption of heavy metals from aqueous solution using mangrove fern *Acrostichum aureum* L. leaf biomass as a sorbent. *International Research Journal of Environmental Sciences* [en línea]. 2015, vol. 4, n.o 11, pp. 25-31. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.isca.in/IJENS/Archive/v4/i11/5.ISCA-IRJEVS-2015-162.pdf>
ISSN: 2319-1414
- LONDOÑO, Luis, LONDOÑO, Paula y MUÑOZ, Fabián. Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea]. 2016, vol. 14, n.o 2, pp. 145-153. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307948295_LOS_RIESGOS_DE_LOS_METALES_PESADOS_EN_LA_SALUD_HUMANA_Y_ANIMAL. ISSN 1909-9959
DOI: 10.18684/bsaa(14)145-153
- LU, Wenlong [et al.]. Simultaneous biosorption of arsenic and cadmium onto chemically modified *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*. *Water* [en línea]. 2021, vol. 13, n.o 18, pp. 1-14. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/18/2498>
ISSN: 20734441
- LUO, Mingke [et al.]. Efficient simultaneous removal of cadmium and arsenic in aqueous solution by titanium-modified ultrasonic biochar. *Bioresource Technology* [en línea]. 2019, vol. 284, pp. 333-339. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419304717>
ISSN: 0960-8524
- MAHMOUD, Abdelnaby [et al.]. Evaluation of *Aspergillus tamaris* NRC 3 biomass as a biosorbent for removal and recovery of heavy metals from contaminated aqueous solutions. *Bulletin of the National Research Centre* [en línea]. 2019, vol. 43, n.o 1. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330568008_Evaluation_of_Aspergillus_tamaris_NRC_3_biomass_as_a_biosorbent_for_removal_and_recovery_of_heavy_metals_from_contaminated_aqueous_solutions

[om contaminated aqueous solutions](#)

DOI: 10.1186/s42269-019-0046-5

- MANASI, RAJESH, V. y RAJESH, N. Biosorption study of cadmium, lead and zinc ions onto halophilic bacteria and reduced graphene oxide. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. 2018, vol. 6, n.o 4, pp. 5053-5060. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718304214?via%3Dihub>
ISSN: 22133437
- MIHAIESCU, Tania [et al.]. Assessment of Copper and Lead Biosorption from Aqueous Solutions by Brewer's Yeast. ProEnvironment/ProMediu [en línea]. 2016, vol. 9, n.o 28, pp. 430-434. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/068241361f0dd652976e6d8f9cf2e398/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2046431>
ISSN: 2066-1363
- MIRANDA, Ellen [et al.]. Copper biosorption from an aqueous solution by the dead biomass of Penicillium ochrochloron. Environmental Monitoring and Assessment [en línea]. 2019, vol. 191, n.o 247, pp. 8. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/2327a5612eec21fd82bedddaa2997429/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54151>
ISSN: 15732959
- MOUSSOUS, S. [et al.]. Batch cadmium (II) biosorption by an industrial residue of macrofungal biomass (Clitopilus scyphoides). Chemical Engineering Journal [en línea]. 2012, vol. 197, pp. 261-271. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712005700>
ISSN: 1385-8947
- MUKHERJEE, Santanu [et al.]. Low-cost bio-based sustainable removal of lead and cadmium using a polyphenolic bioactive Indian curry leaf (Murraya koengii) powder. International Journal of Hygiene and Environmental Health [en línea]. 2020, vol. 226, pp. 1-11. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463919310247>
ISSN: 1438-4639
- NAIK, Murali y SWATHANTHRA, Akhila. Adsorptive Removal of Cobalt and Cadmium by Using Bagasse Pith. Elementary Education Online [en línea]. 2021, vol. 20, n.o 4, pp.

617-627. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=13053515&AN=150156421&h=TAS5sSqqqv5UqNG%2BgRUlmQsgUXXRfBVo0kHFylKkgcxwbLXaPqKNS3cdxQVz5YSv%2FrpnZzq1tmZlmrZgg9x81A%3D%3D&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCriNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26profile%3Dehost%26scope%3Dsite%26authtype%3Dcrawler%26jrnl%3D13053515%26AN%3D150156421>

DOI: 10.17051/ilkonline.2021.04.68

- NGUYEN, Vinh [et al.]. Removal of cadmium from aqueous solution using sonochemically modified clinoptilolite: Optimization and modeling. *Environmental Technology & Innovation*. [en línea]. 2020, vol. 20, pp. 1-13. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352186420314668?token=67A066C722E07B04358EF65F0C49C421D92D2B6BD7E7618B439B436BB4E699B879175FE53FBC954D9F22F6F989B1AB89&originRegion=us-east-1&originCreation=20211117192443>
- NIEZEN, Cecilia y ALVITRES, Gloria. Perú: Mujeres se unen contra la contaminación por metales tóxicos. *Amnistía Internacional*. 2020. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.amnesty.org/es/latest/news/2020/06/peru-women-unite-against-toxic-metals-pollution/>.
- NIÑO, Víctor. *Metodología de la investigación: diseño, ejecución e informe* [en línea]. 2. Bogotá: s.n. 2019. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.ebooks7-24.com/?j|=9546>
ISBN: 9788578110796
- NOLI, Fotini, KAPASHI, Eleftheria y KAPNISTI, Maria. Biosorption of uranium and cadmium using sorbents based on Aloe vera wastes. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. 2019, vol. 7, n.o 2, pp. 1-10. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719301083>
DOI: 10.1016/j.jece.2019.102985
- PÉREZ, Lizandra [et al.]. Biosorción microbiana de metales pesados: características del proceso. *Cuban Journal of Biological Sciences* [en línea]. 2018, vol. 6, n.o 1, pp. 13. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype>

[=crawler&jrnl=2307695X&AN=131575423&h=cWFAsxhnDzkU66ne0NeOWMUg2y%2FfJSp9ZEZ4o1JwXeqiEqR%2BGnn4AUo3qRx8Bt2Im8tSn790pc823DHeB2y1jw%3D%3D&url=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLoca](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412006165)

ISSN: 2307-695X

- PLAZA, J. [et al.]. Zinc and cadmium biosorption by untreated and calcium-treated *Macrocystis pyrifera* in a batch system. *Bioresource Technology* [en línea]. 2012, vol. 116, pp. 195-203. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412006165>
ISSN: 0960-8524
- PRIETO, Julio [et al.]. Adsorción de Cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña de azúcar variedad Roxa. *Centro Azúcar* [en línea]. 2020, vol. 47, n.o 1, pp. 90-99. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n1/2223-4861-caz-47-01-90.pdf>
ISSN: 2223-4861
- REYES, Yulieth [et al.]. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo* [en línea]. 2016, vol. 16, n.o 2, pp. 66-77. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
ISSN: 1900-771X
- RIVERA, R. [et al.]. Biosorption of heavy metals using organic waste from tequila processing. *Solid State Phenomena* [en línea]. 2017, vol. 262, pp. 609-612. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/787dd1cf9aebb9ae837fd07919086065/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=2040938>
ISSN: 16629779
- RODRÍGUEZ, Adriana [et al.]. Bioadsorción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea]. 2017, vol. 8, n.o 2, pp. 11-20. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323652282002>
ISSN: 0718-8706
- RODRÍGUEZ, Dunia. Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. *Medisan* [en línea]. 2017, vol. 21, n.o 12, pp. 3372-3385. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012. DOI
ISSN 1029-3019.

- RODRÍGUEZ, Odalys [et al.]. Remoción de cobre de aguas contaminadas empleando ramnolípidos. Revista Cubana de Química [en línea]. 2020, vol. 32, n.o 3, pp. 511-526. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v32n3/2224-5421-ind-32-03-511.pdf>
e-ISSN: 2224-5421
- ROȘCA, Mihaela [et al.]. Comparison of Rhodotorula sp and Bacillus megaterium in the removal of cadmium ions from liquid effluents. Green Processing and Synthesis [en línea]. 2018, vol. 7, n.o ELIMINAR, pp. 74-88. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/51439/1/document_47453_1.pdf
ISSN: 2191-9542
- RUTHIRAAN, M. [et al.]. A promising route of magnetic based materials for removal of cadmium and methylene blue from waste water. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. 2017, vol. 5, n.o 2, pp. 1447-1455. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343717300908>
DOI: 10.1016/j.jece.2017.02.038
- SALAZAR, Delia y RODRÍGUEZ, Lisethe. Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu⁺² en soluciones sintéticas. Tesis (Ingeniero de materiales). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3442/Mtsacad.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3214/IMzufedm.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1784/AGviquafr.pdf?sequ>.
- SANCHEZ, Jonathan [et al.]. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas [en línea]. 2020, vol. 23, pp. 1-18. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7943186>
ISSN: 1405-888X

- SANTOS, Erik [et al.]. Remoción de arsénico (V) en solución acuosa por biomasa modificada del hongo aspergillus Niger. *Informacion Tecnologica* [en línea]. 2017, vol. 28, n.o 6, pp. 45-52. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n6/art06.pdf>
ISSN: 07180764

- SARAEIAN, Alireza [et al.]. Cadmium removal from aqueous solution by low-cost native and surface modified Sorghum x drummondii (Sudangrass). *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. 2018, vol. 6, n.o 2, pp. 3322-3331. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343718302549>
DOI: 10.1016/j.jece.2018.05.018

- SATYA, Awalina [et al.]. Non-linear Isotherm Models, Cadmium Kinetics, and Biosorption Thermodynamics of Dried Biomass of Native Aphanothece sp. in a Batch System. *Journal of Engineering and Technological Sciences* [en línea]. 2017, vol. 49, n.o 5, pp. 617-638. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://journals.itb.ac.id/index.php/jets/article/view/4145>
ISSN: 2337-5779

- SCHLAPBACH, Luisina. XX Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Estudio Fluorescente Del Complejo 8-Hidroxiquinoleina- Metal Para La Detección De Metales Pesados En El Ambiente [en línea]. 2016. S.l.: s.n., pp. 4. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/colecciones/bitstream/handle/123456789/8430/4.1.7.pdf>.

- SHAMSI, Behzad, ESMAEILI, Hossein y FOROUTAN, Rauf. Cadmium(II) removal from aqueous solution using microporous eggshell: Kinetic and equilibrium studies. *Indonesian Journal of Chemistry* [en línea]. 2018, vol. 18, n.o 2, pp. 265-271. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://jurnal.ugm.ac.id/ijc/article/view/28789>
ISSN: 14119420

- SHARIFIFARD, Hakimeh [et al.]. A novel natural chitosan/activated carbon/iron bio-nanocomposite: Sonochemical synthesis, characterization, and application for cadmium removal in batch and continuous adsorption process. *Bioresource Technology* [en línea]. 2018, vol. 270, pp. 562-569. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418313476?via%3Dihub>

ISSN: 9608524

- SHARMA, Vani y SINGH, Padma. Biosorption of Chromium by Bacillus subtilis Isolated from Ganga River. Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal [en línea]. 2019, vol. 18, n.o 4, pp. 1119-1129. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2327881941>
ISSN: 23953454
- SHEN, Ying [et al.]. Microalgal-biochar immobilized complex: A novel efficient biosorbent for cadmium removal from aqueous solution. Bioresource Technology [en línea]. 2017, vol. 244, n.o 1, pp. 1031-1038. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/reader/pii/S0960852417313901/pdf>
ISSN: 0960-8524
- SONG, Tao [et al.]. Biosorption of cadmium ions from aqueous solution by modified Auricularia Auricular matrix waste. Journal of Molecular Liquids [en línea]. 2017, vol. 241, pp. 1023-1031. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732217323553>
ISSN: 1677322
- SULAYMON, Abbas, MOHAMMED, Ahmed y AL-MUSAWI, Tariq. Competitive biosorption of lead, cadmium, copper, and arsenic ions using algae. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. 2013, vol. 20, pp. 3011-3023. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link-springer-com.ezproxy.ulima.edu.pe/article/10.1007%2Fs11356-012-1208-2>
ISSN: 0944-1344
- SUN, Jiangang [et al.]. Removal of cadmium from a citrate-bearing solution by floatable micro-sized garlic peel. RSC Advances [en línea]. 2018, vol. 8, n.o 50, pp. 28284-28292. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/RA/C8RA03502D>
ISSN: 20462069
- TÁLOS, Katalin [et al.]. Cadmium biosorption by baker's yeast in aqueous suspensions. Journal of the Serbian Chemical Society [en línea]. 2012, vol. 77, n.o 4, pp. 549-561. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en:

<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0352-51391100181T#.YVzRoZrMLIU>

ISSN: 0352-5139

- TEJADA, C. [et al.]. Elimination of Cadmium (II) in aqueous solution using corn cob (Zea mays) in batch system: Adsorption kinetics and equilibrium. Revista Mexicana de Ingenieria Química [en línea]. 2021, vol. 20, n.o 2, pp. 1059-1077. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/2398>
ISSN: 16652738
- TEJADA, Candelaria [et al.]. Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de naranja (Citrus sinensis). Producción + Limpia [en línea]. 2015, vol. 10, n.o 1, pp. 9-21. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282878741_Absorcion_de_Cromo_Hexavale_nte_en_soluciones_acuosas_por_cascaras_de_naranja_Citrus_sinensis
ISSN: 19090455
- TEJADA, Candelaria [et al.]. Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea]. 2018, vol. 16, n.o 1, pp. 52-61. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6560692>
ISSN: 1909-9959
- TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y GARCÉS, Luz. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Tecno Lógicas [en línea]. 2015, vol. 18, n.o 34, pp. 109-123. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234336010>
ISSN: 0123-7799
- TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y RUIZ, Erika. Cinética de adsorción de Cr (VI) usando biomásas residuales modificadas químicamente en sistemas por lotes y continuo. Revista Ion [en línea]. 2015, vol. 28, n.o 1, pp. 29-41. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7833927>
ISSN: 0120-100X.
- TOLIAN, Gholamreza, ALI, Seyed y ZAREI, Saeid. Optimization of biosorption of nickel (II) and cadmium (II) by indigenous seaweed Enteromorpha using response surface methodology. Water Quality Research Journal of Canada [en línea]. 2015, vol. 50, n.o

2, pp. 109-122. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://iwaponline.com/wgrj/article/50/2/109/21601/Optimization-of-biosorption-of-nickel-II-and>

ISSN: 1201-3080

- VALLADARES, Maria [et al.]. Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. Revista Ingenierías Universidad de Medellín [en línea]. 2017, vol. 16, n.o 31, pp. 55-73. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323464084_Adsorbentes_no_convencionales_alternativas_sustentables_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales
ISSN: 16923324
- VÁZQUEZ, Gonzalo [et al.]. Alkaline pre-treatment of waste chestnut shell from a food industry to enhance cadmium, copper, lead and zinc ions removal. Chemical Engineering Journal [en línea]. 2012, vol. 184, pp. 147-155. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712000228>
ISSN: 1385-8947
- VERMA, Ayushi, KUMAR, Shashi y KUMAR, Surendra. Statistical modeling, equilibrium and kinetic studies of cadmium ions biosorption from aqueous solution using *S. filipendula*. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. 2017, vol. 5, n.o 3, pp. 2290-2304. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371730132X>
DOI: 10.1016/j.jece.2017.03.044
- VILLABONA, Ángel, TEJADA, Candelaria y GONZALEZ, Ángel. Adsorption of Cd^{2+} ions from aqueous solution using biomasses of *Theobroma cacao*, *zea mays*, *manihot esculenta*, *dioscorea rotundata* and *elaeis guineensis*. Applied Sciences (Switzerland) [en línea]. 2021, vol. 11, n.o 6. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/350117576_Adsorption_of_Cd2_Ions_from_Aqueous_Solution_Using_Biomasses_of_Theobroma_cacao_Zea_mays_Manihot_esculenta_Dioscorea_rotundata_and_Elaeis_guineensis
ISSN 20763417
- VILLENA, Jorge. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [en línea]. 2018, vol. 35, n.o 2, pp. 304-308. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n2/a19v35n2.pdf>

DOI 10.17843/rpmpesp.2018.352.3719

- VIZCAÍNO, Lissette, FUENTES, Natalia y GONZÁLEZ, Harold. Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. Revista Actualidad & Divulgación Científica [en línea], 2017, vol. 20, n.o 2, pp. 435-444. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/2256>
ISSN: 01234226
- XU, Lei [et al.]. Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies on the Adsorption of Cadmium from Aqueous Solution by Modified Biomass Ash. Bioinorganic Chemistry and Applications [en línea]. 2017, vol. 2017, pp. 1-9. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/bca/2017/3695604/>
ISSN: 15653633
- XU, Shenghui [et al.]. Bioadsorption of arsenic from aqueous solution by the extremophilic bacterium *Acidithiobacillus ferrooxidans* DLC-5. Biocatalysis and Biotransformation [en línea]. 2019, vol. 37, n.o 1, pp. 35-43. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: DOI10.1080/10242422.2018.1447566
- YEN, Chun [et al.]. Biosorption of cadmium by CO₂-fixing microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. Bioresource Technology [en línea]. 2012, vol. 105, pp. 74-80. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411017354>
ISSN: 0960-8524
- YOUNG, Su [et al.]. Biosorption of cationic basic dye and cadmium by the novel biosorbent *Bacillus catenulatus* JB-022 strain. Journal of Bioscience and Bioengineering [en línea]. 2015, vol. 119, n.o 4, pp. 433-439. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172314003582>
ISSN: 1389-1723
- ZAVVAR, H. y SEYEDI, S. Nettle ash as a low cost adsorbent for the removal of nickel and cadmium from wastewater. International Journal of Environmental Science and Technology [en línea]. 2011, vol. 8, n.o 1, pp. 195-202. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?st11019>
ISSN: 1735-1472

- ZHANG, Xingfeng, ZHANG, Xuehong y CHEN, Zhigang. Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by biochar derived from the leaf of *Leersia hexandra* Swartz. *Environmental Earth Sciences* [en línea]. 2017, vol. 76, n.o 2. [Fecha de consulta 20 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312255600_Biosorption_of_CrVI_from_aqueous_solution_by_biochar_derived_from_the_leaf_of_Leersia_hexandra_Swartz
ISSN: 18666299

- ZHANG, Yaping [et al.]. Amino modification of rice straw-derived biochar for enhancing its cadmium (II) ions adsorption from water. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2019, vol. 379, pp. 1-10. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419307253>
ISSN: 0304-3894

- ZHENG, Liuchun, PENG, Dan y MENG, Peipei. Corn cob-supported aluminium-manganese binary oxide composite enhanced removal of cadmium ions. *Colloids and Surfaces A* [en línea]. 2019, vol. 561, pp. 109-119. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775718316145>
ISSN: 0927-7757

- ZHENG, Liuchun, PENG, Dan y MENG, Peipei. Promotion effects of nitrogenous and oxygenic functional groups on cadmium (II) removal by carboxylated corn stalk. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2018, vol. 201, pp. 609-623. [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618324065>
ISSN: 0959-6526

ANEXOS

- **Anexo 1:** Operacionalización de variables
- **Anexo 2:** Matriz de consistencia
- **Anexo 3:** Principales actividades generadoras de metales pesados
- **Anexo 4:** Ficha de registro N° 1 y validación del instrumento
- **Anexo 5:** Ficha de registro N° 1 y validación del instrumento
- **Anexo 6:** Lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada, completa

Anexo 1: Operacionalización de variables

- Variable dependiente (V1): remoción de cadmio
- Variable independiente (V2): uso de bioadsorbentes

TITULO: Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso:

Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Remoción de cadmio	Según Kumar et al. (2020, p.2) el cadmio es un metal pesado perjudicial para la gran parte del ecosistema acuático inclusive en concentraciones bajas. La exposición prolongada a niveles elevados puede causar daños en las distintas funciones del organismo. (Li et al. 2021, p.2)	Definido por la cantidad removida expresado en porcentaje y el tiempo de remoción expresado en horas.	Eficiencia de remoción	Cantidad removida	Porcentaje (%)
				Tiempo de remoción	Horas
Uso de bioadsorbentes	Según Tejada, Villabona y Garcés (2015, p. 115), los bioadsorbentes son materiales de la flora microbiana, plantas, biomasa residual o residuos agroindustriales que pueden adsorber directamente el metal de forma iónica de la solución. Estos se someten a tratamientos fisicoquímicos simples de bajo costo; con la finalidad de aumentar su capacidad de adsorción en los procesos de eliminación de metales pesados o para recuperar especies metálicas en solución.	Biomasa que puede ser usada directamente o acondicionada, para remover metales pesados en medio acuoso.	Biomasa viva	Microorganismos	Espécimen
				Plantas	
			Biomasa muerta	Residuos orgánicos	Tipo

Anexo 2: Matriz de consistencia

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	VARIABLES	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de los bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la eficiencia del uso bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso.</p>	<p>Variable dependiente (V1)</p> <p>Remoción de cadmio</p>	<p>Tipo: Aplicada</p>	<p>Población: Fueron xxx artículos cuyo título involucraron el uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio, entre el 2011 y 2021, en bibliotecas virtuales Scopus y Web of Science.</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Qué bioadsorbente tiene mayor porcentaje de remoción de cadmio en medio acuoso?</p> <p>¿Qué bioadsorbente tiene menor tiempo de acción en la remoción de cadmio en medio acuoso?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar que bioadsorbente tiene mayor porcentaje de remoción.</p> <p>Identificar que bioadsorbente tiene menor tiempo de acción.</p>	<p>Variable independiente (V2)</p> <p>Uso de bioadsorbentes</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Diseño: No experimental Transversal</p> <p>Nivel: Descriptivo</p>	<p>Muestra: fueron xxxx artículos elegidos por conveniencia, derivados de los criterios de inclusión, exclusión y de la evaluación de la calidad de investigaciones mediante la lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada</p> <p>Unidad de análisis: cada uno de los artículos científicos que involucraron el uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso.</p> <p>Muestreo: no probabilístico (por conveniencia)</p>

Anexo 3: Principales actividades generadoras de metales pesados

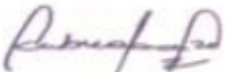
INDUSTRIA	METALES	PROCESO Y CONTAMINACIÓN DERIVADA
Pinturas y pigmentos	Pb, As, Cr, Zn, Ti, Ba	Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja.
Aleaciones y aceros	Te, Pb, Ni, Cu, Zn, Cd, As, Te, Mo, U	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escoriales. Contaminación aguas y suelo.
Fundición	Pb, As, Cd, Tl	Procesado del mineral para obtención de metales. Contaminación atmosférica. Residuos sólidos.
Metalúrgica	Cu, Cr, Mn, Zn, Pb, Sb	Procesado térmico de metales. Contaminación atmosférica.
Hidrocarburos	As, Cu, Cr, Fe, Hg, Ni, Pb, Ag, Mn	Proceso de exploración, explotación y refinación generando contaminación las aguas superficiales, subterráneas y del suelo.
Baterías	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluido residual de la pila, la contaminación las aguas subterráneas y del suelo.
Gestión de Residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados. Contaminación atmosférica, de las aguas superficiales, subterráneas y del suelo.
Corrosión Metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento. Contaminación hídrica.
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras. Generación de lodos.
Agricultura y Ganadería	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas. Producción de agroquímicos, la bioacumulación vegetal y animal.
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosos y sólidos desde el proceso de fabricación y reciclaje. Contaminación atmosférica e hídrica.
Servicios y otras Actividades	Cd, Cr, Hg, Ag, Pb, Zn, Sn, Fe, Ni, Mo, V, Mn, Co.	Atención a servicios de salud, Pompas fúnebres y actividades relacionadas. Generación de energía eléctrica.
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como en los subproductos. Contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y del suelo.

Fuente: (Caviedes, Delgado y Olaya, 2016, p.128)

Anexo 4: Ficha de registro N° 1 y validación del instrumento

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			FICHA DE REGISTRO N° 1 : ASPECTOS GENERALES				
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN			Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021.				
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN			Calidad y gestión de los recursos naturales				
INVESTIGADORES			Cossio Vilchez Ayme Stefany		León Lloclla Cristian David		
ASESOR			Dr. Cabrera Carranza Carlos Francisco				
	INFORMACIÓN GENERAL			ESPECTOS GENERALES			
CODIFICACIÓN	AUTOR (ES)	TÍTULO	AÑO DE PUBLICACIÓN	BIOADSORBENTE UTILIZADO	METAL PESADO REMOVIDO	TÉCNICA DE ANÁLISIS	OBSERVACIONES


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450


 Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
 CIP. 46572
 DNI.17402784

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°1: Aspectos generales
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.									X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.									X				
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.									X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.									X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.									X				

III. OPINION DE APLICABILIDAD

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- ✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X
80%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Lima 16 de junio del 2021



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25430

FIRMA DEL EXPERTO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I.
II.DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Cabrera Carranza Carlos Francisco
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°1: Aspectos generales
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

III.ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.											X		

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

SI
90 %

Lima 16 de junio del 2021



FIRMA DEL EXPERTO
DNI. 17402784
CIP. 46572
FONO. 945509179

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordoñez Galvez, Juan Julio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°1: Aspectos generales
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

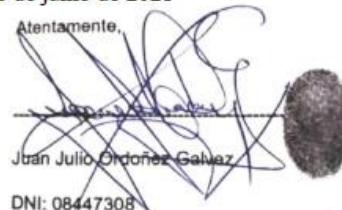
- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- ✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
90 %

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Lima 16 de junio de 2021


Atentamente,



Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

Anexo 5: Ficha de registro N° 1 y validación del instrumento

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE REGISTRO N° 2 : VARIABLES DE INVESTIGACIÓN
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021.
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de los recursos naturales
INVESTIGADORES	Cossio Vilchez Ayme Stefany León Lloclla Cristian David
ASESOR	Dr. Cabrera Carranza Carlos Francisco

* : Parámetros en referencia a la cantidad removida más eficiente.

		PARÁMETROS					V1: REMOCIÓN DE METALES PESADOS		V2: USO DE BIOADSORBENTE		
CÓDIGO	AUTOR (ES)	BIOADSORBENTE UTILIZADO	* CANTIDAD DE METAL INICIAL	* CANTIDAD DE BIOADSORBENTE UTILIZADO	* pH (1-14)	* TEMPERATURA (°C)	* TIEMPO DE REMOCIÓN (HORAS)	CANTIDAD REMOVIDA (%)	BIOMASA VIVA / BIOMASA MUERTA	MICROORGANISMO / PLANTA / RESIDUO ORGÁNICO	TIPO / ESPÉCIMEN



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450



Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784

Atentamente,



Juan Julio Ordoñez Galvez
DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
IV. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Acosta Suasnabar Eusterio Horacio
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°2: Variables de investigación
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

V. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.									X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.									X				
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.									X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.									X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.									X				

VI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- ✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X
80%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Lima 16 de junio del 2021



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

FIRMA DEL EXPERTO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
V. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. Cabrera Carranza Carlos Francisco
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°2: Variables de investigación
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.											X		

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

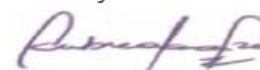
- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- ✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

SI

90 %

Lima 16 de junio del 2021



 FIRMA DEL EXPERTO
 DNI. 17402784
 CIP. 46572
 FONO. 945509179

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

IV. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro N°2: Variables de investigación
- 1.4. Autor(A) del instrumento: Cossio Vilchez Ayme Stefany, León Lloclla Cristian David

V. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulada con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. INTERNACIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	Las estrategias responden una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método científico.											X		

VI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- ✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

SI
90 %

Atentamente,



Juan Julio Ochoa Galvez
DNI: 08447308

Anexo 6: Lista de verificación Newcastle-Ottawa modificada, completa

LISTA DE VERIFICACIÓN NECASTLE - OTTAWA MODIFICADA									
#	AUTOR (ES)	SELECCIÓN		COMPARABILIDAD		RESULTADOS		TOTAL	CALIDAD
		Representatividad	Control	Parámetros operacionales	Estudios cinéticos y termodinámicos	Cantidad adsorbida	Porcentaje de Remoción		
1	Zheng et al. (2021)	1	1	0	1	0	1	4	Excluido
2	Al-Onazi, Ali y Al-Garni (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
3	Ivanovska et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
4	Wang et al. (2021)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
5	Jayakumar et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
6	Azam et al. (2021)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
7	Satya et al. (2021)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
8	Shen et al. (2021)	1	1	0	0	0	1	3	Excluido
9	Tejada et al. (2021)	1	1	0	1	1	0	4	Excluido
10	Jonas Bayuo (2021)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
11	Gomez et al. (2021)	1	0	1	1	1	1	5	
12	Jaafar et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
13	Rehan, Zahir y Asif (2021)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
14	Thabet et al. (2020)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
15	Mahmoodi , Aghaie y Fazaeli (2020)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
16	Prasad, Kumar y Bahadur (2020)	1	1	0	0	0	1	3	Excluido
17	Rozman et al. (2020)	1	1	0	1	0	1	4	Excluido
18	Mukherjee et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	6	
19	Kim y Kim (2020)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido
20	Salman et al. (2020)	1	1	0	1	1	0	4	Excluido
21	Satya et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
22	Faisal, Gani y Muslim (2019)	1	1	0	1	1	1	5	
23	Zhanga et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
24	Bhateria y Dhaka (2019)	1	1	1	0	0	1	4	Excluido
25	Luo et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
26	Pakdel, Zad y Akbari (2019)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
27	Liu et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
28	Noli, Kapashi y Kapnisti (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
29	Vera et al. (2019)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
30	Zheng, Peng y Meng (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
31	Amro y Abhary (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
32	Villarante, Tumpalan y Sumalapao (2019)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido

33	Brígida et all. (2018)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
34	Zheng, Peng y Meng (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
35	Zhang et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
36	Amin et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
37	Huang et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
38	Aditya y Hossain (2018)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
39	Saraeian et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
40	Nishikawa, Carlos y Adeodato (2018)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
41	Roşca et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
42	Li et al. (2018)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
43	Li et al. (2018)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
44	Shen et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
45	Aghababaei, Chaker y Sillanpää (2017)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
46	Verma, Kumar y Kumar (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
47	Min et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
48	Ruthiraan et al. (2017)	1	1	0	1	1	1	5	
49	Basua, Guhab y Raya (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
50	Satya et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
51	Sharma et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
52	Asuquo y Martin (2016)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
53	Krika , Azzouz y Chaker (2016)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
54	Khan,Rehman y Hussain (2016)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
55	Tran, You y Chao (2016)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
56	Zhou, et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
57	Ince, et al. (2016)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
58	Bulgariu y Bulgariu (2016)	1	1	1	1	1	1	6	
59	Zhang et al. (2016)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido
60	Al-Homaidan et al. (2015)	1	1	1	0	1	1	5	
61	Hossain, Ranjan y Aditya (2015)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
62	Moubarik y Grimi (2015)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido
63	Grudić, Šćepanović y Bošković (2015)	1	1	1	0	1	1	5	
64	Young et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
65	Hajati, Ghaedi y Yaghoubi (2015)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
66	Guo et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
67	Tolian, Ali y Zarei (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
68	Kushwaha et al. (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
69	Xia,et al. (2015)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
70	Chand et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
71	Martins, Vilar y Boaventura (2014)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido
72	Huang et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	6	

73	Sulaymon , Mohammed y Al-Musawi (2013)	1	1	1	0	1	1	5	
74	Li ,Chai y Qin (2012)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
75	Moussous et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
76	Plaza et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
77	Xing et al. (2012)	1	1	1	0	1	0	4	Excluido
78	Vázquez et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
79	Yen et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
80	Leyva et al. (2012)	1	1	1	0	1	0	4	Excluido
81	Gupta y Nayak (2012)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
82	Tálos et al. (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
83	Zavvar y Seyedi (2011)	1	1	1	1	1	1	6	
84	Mahmoud et al. (2011)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
85	Ogata et al. (2011)	1	1	0	1	0	1	4	Excluido
86	Chay et al. (2011)	1	1	1	0	1	1	5	
87	Haris et al. (2011)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
88	Lu et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
89	Tejada et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
90	Khajavian et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	
91	Tap et al. (2019)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
92	Schwantes et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
93	Han et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
94	Sharifard et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
95	Hashim et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
96	Manasia, Rajesh y Rajesh (2018)	1	1	0	1	1	1	5	
97	Luo et al. (2018)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
98	Shamsi, Esmaeili y Foroutan (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
99	Sen et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
100	Sun et al. (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
101	Song et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
102	Birungi y Chirwa (2017)	1	1	0	1	1	1	5	Excluido
103	Xu et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	6	
104	Ammari et al. (2015)	1	1	0	1	1	1	5	
105	Alidoust et al. (2015)	1	1	0	1	1	0	4	Excluido
106	Beltrán et al. (2015)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
107	Ebrahimia, Ehteshamib y Dahrazma (2015)	1	1	1	1	1	1	6	
108	Grudic, Scepanovic y Boskovic (2015)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
109	Sardella et al. (2015)	1	1	0	0	1	1	4	Excluido
110	Ammari (2014)	1	1	1	1	1	1	6	
111	Kulkarni, Shetty y Srinikethan (2014)	1	1	1	1	1	1	6	

112	Gao (2013)	1	1	1	0	1	1	5	Excluido
113	Gupta y Nayak (2012)	1	1	1	1	1	1	6	Excluido
114	Al Othman, Hashem y Habila (2011)	1	1	1	1	1	0	5	Excluido
115	Çelekli y Bozkurt (2011)	1	1	0	1	1	0	4	Excluido

REPRESENTATIVIDAD	La muestra (recolectada o simulada) representa aguas contaminadas con Cd.
CONTROL	Los bioadsorbentes y la solución de Cd fueron caracterizados mediante técnicas de análisis (FTIR, SEM, FESEM, ICP-OES, EDX o AAS) antes y/o después de la experimentación.
PARÁMETROS OPERACIONALES	Evalúa las condiciones operacionales (cantidad inicial de Cd, dosis de bioadsorbente, pH, temperatura y tiempo de contacto).
ESTUDIOS CINÉTICOS Y TERMODINÁMICOS	Evalúan los procesos mediante isothermas (Lamguir y/o Freundlich) y modelos cinéticos (pseudo primer o segundo orden).
CANTIDAD ADSORBIDA	Muestra la cantidad iones adsorbidos por unidad de masa de adsorbente
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	Muestra la eficiencia de remoción del adsorbente.

VALORACIÓN	1 = cuando cumple todo
	0 = cuando no cumple todo

CALIDAD	1 y 2	calidad baja	
	3 y 4	calidad media	
	5 y 6	calidad buena	