



Nuevas tecnologías de adsorción y factores de influencia para iones Cd (II) y Pb (II) – una revisión

Resumen

La contaminación por metales pesados es un problema de salud pública y ambiental; la contaminación por plomo (Pb) y cadmio (Cd) causa graves daños a la salud humana y a los ecosistemas, especialmente a los acuáticos. En vista de este problema, el estudio tiene como objetivo buscar en la literatura investigaciones relevantes sobre tecnologías de adsorción para iones Cd (II) y Pb (II), en aguas superficiales y efluentes industriales. La búsqueda de trabajos se realizó en las bases de datos Scopus, Web of Science, CAB, ScienceDirect e Engineering Village, utilizando los términos “Tecnologías de adsorción”, “Cd (II)”, “Pb (II)”, “Adsorción iónica”, “Medios de influencia” y “Adsorción de Cd (II) y Pb (II)”, y analizados con la ayuda del software Rayyan y el Microsoft Excel. El análisis de los estudios mostró una extensa diversidad de materiales con capacidad adsorbente, como nanocompuestos, aplicación de microorganismos y biomassas vegetales. Entre los materiales adsorbentes destacó el uso de bacterias del género *Bacillus* sp. y la aplicación de quitosano libre o asociado; los nanocompuestos basados en quitosano mostraron una capacidad de adsorción de hasta el 98% para el ion Pb (II). El uso del macrófita *Potamogeton malaisanus* permite obtener altos resultados en la adsorción de cadmio en agua; por medio de la fitorremediación la adsorción se produce rápidamente (2 h) y logra un equilibrio dinámico en menos de 72 h. La adsorción media para iones Cd (II) es del 94%, con una capacidad de adsorción en equilibrio de 6,29-6,97 mg/kg. Entre los medios de influencia, el pH, la temperatura, la dosis de adsorbente, el tiempo de contacto y la concentración de iones son los principales factores que interfieren en la actividad adsorbente.

Palabras clave: contaminación por metales pesados; tratamiento ambiental; tecnologías de adsorción; revisión.

New adsorption technologies and influence factors for ions Cd (II) and Pb (II) – A review

Abstract

Heavy metal contamination is a public and environmental health problem, lead (Pb) and cadmium (Cd) contamination cause serious damage to human health and ecosystems, especially aquatic. In view of this problem, the study aimed to search the literature for relevant research on adsorption technologies for Cd (II) and Pb (II) ions, in surface water and industrial effluents. The search for works took place in the databases Scopus, Web of Science, CAB, ScienceDirect and Engineering Village, using the terms “Adsorptive Technologies”, “Cd (II)”, “Pb (II)”, “Ion adsorption”, “Means of influence” and “Adsorption of Cd (II) and Pb (II)”, and analyzed with the help of Rayyan and Microsoft Excel software. The analysis of the studies showed an extensive diversity of materials with adsorbent capacity, such as nanocomposites, application of microorganism, and plant biomasses. Among the adsorbent materials highlighted the use of bacteria of the genus *Bacillus* sp. and application of chitosan freely or associated, nanocomposites based on chitosan showed adsorptive capacity of up to 98% for Pb ion (II). The use of the macrophyte *Potamogeton malaisanus* allows to obtain high results in the adsorption of cadmium in water, through phytoremediation, adsorption occurs quickly (2 h) and achieves a dynamic equilibrium in less than 72 h. The average adsorption for Cd (II) ions is 94%, with an equilibrium adsorption capacity of 6.29-6.97 mg/kg. Among the means of influence, pH, temperature, adsorbent dosage, contact time and ion concentration are the main factors that interfere in adsorbent activity.

Keywords: Contamination by heavy metals; environmental treatment; adsorptive technologies; review.

Novas tecnologias de adsorção e fatores de influência para íons Cd (II) e Pb (II) – uma revisão

Resumo

A contaminação por metais pesados é um problema de saúde pública e ambiental, contaminação por chumbo (Pb) e cadmio (Cd) provocam graves danos à saúde humana e aos ecossistemas, principalmente aquático. Em vista dessa problemática, o estudo objetivou buscar na literatura pesquisas relevantes sobre tecnologias de adsorção para íons Cd (II) e Pb (II), em águas superficiais e efluentes industriais. A busca por trabalhos se deu nas bases de dados Scopus, Web of Science, CAB, ScienceDirect e Engineering Village, com uso dos termos “Tecnologias adsorptivas”, “Cd (II)”, “Pb (II)”, “Adsorção de íons”, “Meios de influência” e “Adsorção de Cd (II) e Pb (II)”, e analisados com auxílio do software Rayyan e Microsoft Excel. A análise dos trabalhos demonstrou uma extensa diversidade de materiais com capacidade adsorvente, como nanocompósitos, aplicação de microrganismo e biomassas vegetais. Entre os materiais adsorventes de destaque a utilização de bactérias do gênero *Bacillus* sp. e aplicação de quitosana de forma livre ou associada, nanocompósitos a base de quitosana demonstraram capacidade adsorptiva de até 98% para íon Pb (II). O uso da macrófita *Potamogeton malaisanus* permite obter altos resultados na adsorção de cádmio em água, através da fitorremediação, a adsorção ocorre rapidamente (2 h) e atinge um equilíbrio dinâmico em menos de 72 h. A adsorção média para íons Cd (II) é de 94%, com uma capacidade de adsorção de equilíbrio de 6,29-6,97 mg/kg. Entre os meios de influência, o pH, temperatura, dosagem do adsorvente, tempo de contato e concentração de íons são os principais fatores que interferem na atividade adsorvente.

Palavras-chave : Contaminação por metais pesados; tratamento ambiental; tecnologias adsorptivas; revisão.



Introducción

En las últimas décadas es motivo de preocupación que los recursos acuáticos corran un mayor riesgo de contaminación por contaminantes como los derivados de hidrocarburos, los desechos orgánicos y los metales pesados [1]. El desalojo de metales pesados de las industrias y las zonas urbanas aumenta constantemente y causa daños al medio ambiente y a la salud humana [2]. Los contaminantes inorgánicos se introducen diariamente en el medio ambiente a causa de actividades naturales como el vulcanismo, la erosión del lecho rocoso, el transporte atmosférico y la liberación por plantas y acciones antrópicas, debido a la industrialización, la actividad de exploración y la gestión de residuos [3], [4].

Entre los principales metales contaminantes en el suelo y el agua se encuentran el cadmio (Cd) y el plomo (Pb). El cadmio es uno de los elementos más tóxicos para el medio ambiente y la salud humana [5]. En medio acuoso, el cadmio ocurre comúnmente como el ion Cd (II), el cual es movilizado en condiciones ácidas. Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua potable restringen las dosis altas de cadmio como un valor de referencia de 3 µg/L de Cd; las dosis altas de cadmio se asocian con trastornos del metabolismo de la glucosa, cáncer de mama y pulmón, infarto cerebral e insuficiencia cardíaca [6], [7].

Entre los metales pesados, los iones metálicos Pb (II) se consideran uno de los más altamente tóxicos para el medio ambiente y los humanos, porque estos iones no se biodegradan y se acumulan en los ecosistemas [8], [9]. Múltiples fuentes pueden proporcionar liberación de Pb en el medio ambiente, como gasolina con plomo, pinturas, baterías, cerámica y desechos electrónicos destacados, que son fuentes de contaminación ambiental potencial [10]. La OMS tiene como valor de referencia para el plomo en el agua potable 10 µg/L [11]. Las dosis continuas de plomo pueden causar presión arterial sistólica en adultos e impactos en el aprendizaje de los niños [12], enfermedades cardiovasculares y provocar la muerte [13].

En vista de los impactos sobre el medio ambiente y la salud humana, varias investigaciones han vuelto a estudiar tecnologías para la adsorción de plomo y cadmio, principalmente sus iones 2+, porque son la forma más encontrada en los recursos hídricos y el suelo. Algunos estudios reportan la actividad adsorbente del carbón activado de *Cocos nucifera* contra iones 2+ de Pb, Cd, Ni, Mg y otros iones metálicos, libremente formados o asociados con conjuntos microbianos y ácidos orgánicos [14]-[16].

Además de las características del adsorbente elegido, factores como el tipo de adsorción, los niveles de concentración de contaminantes, la dosis del adsorbente, el pH, la temperatura y otras características fisicoquímicas pueden interferir con el proceso de adsorción de iones metálicos. Visualizando la complejidad de las tecnologías de adsorción y el daño causado por los iones Cd (II) y Pb (II), el presente estudio tiene como objetivo describir nuevas tecnologías adsorbentes y factores que pueden ayudar o dificultar la adsorción de estos iones, mediante un estudio bibliográfico sobre bases de trabajo relevantes dentro del tema en la última década.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo el estudio, se optó por realizar una revisión bibliográfica relacionada con las tecnologías descritas en la literatura con potencial de adsorción frente a iones Cd (II) y Pb (II), con el fin de recopilar información relevante, como capacidad, tiempo, curva de adsorción y aspectos fisicoquímicos que pueden influir en el proceso de adsorción. Al llevar a cabo la revisión, se abordaron los procedimientos y normas de Prisma (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

Procedimiento de búsqueda de artículos

Las bases de datos se utilizaron para buscar artículos de fuentes de investigación primarias, incluyendo Scopus, Web of Science, CAB, ScienceDirect e Engineering Village, y se accedió a las bases de datos a través del Portal de Periódicos Capes – MEC (Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior, una agencia vinculada al Ministerio de Educación de Brasil). Se analizaron artículos publicados en los últimos 10 años (2013-2023); con el objetivo de integrar la revisión, la elección del período sirve como instrumento para analizar las tecnologías más recientes aplicadas a la adsorción de iones Cd (II) y Pb (II) en aguas superficiales y efluentes industriales. Para la búsqueda en las fuentes de investigación se utilizaron los términos “Tecnologías de adsorción”, “Cd (II)”, “Pb (II)”, “Adsorción iónica”, “Medios de influencia” y “Adsorción de Cd (II) y Pb (II)”, junto con los operadores booleanos *AND* y *OR*; los términos fueron buscados en portugués, inglés y español.

Análisis de estudios

Los resultados obtenidos en las bases de datos tuvieron su RIS (Reference Manager) exportado y añadido al software libre Rayyan (<https://www.rayyan.ai/>) [17]; para la selección de artículos dentro del tema del estudio propuesto y la eliminación de duplicados, en caso de estudios duplicados, se dio preferencia a la inclusión del estudio encontrado por el primero, independientemente de la base de datos indexada. Se incluyeron estudios disponibles en su totalidad, dentro del tema de interés, en cualquier idioma. Se excluyeron los estudios incompletos, como el tema de investigación, tesis, dissertaciones, monografías, libros y capítulos de libros, carta al editor y resúmenes de eventos.

Los principales resultados obtenidos con el análisis de los artículos fueron dispuestos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para ser utilizados en la preparación del estudio. A fin de seleccionar los artículos que incluyen la revisión, inicialmente se excluyeron los estudios fuera del marco temporal; después de eliminar los duplicados en el software Rayyan, los estudios fueron seleccionados por medio de la lectura de resúmenes y palabras clave, luego de ser seleccionados nuevamente mediante la lectura completa, lo que resultó en la selección de los artículos que forman parte de la versión final de la revisión. Para la proyección de fórmulas y estructuras químicas, se utilizó el software ChemDraw 17.0.

Resultados y discusión

En total se encontraron 1172 artículos, 612 en Scopus, 104 en Web of Science, 91 en CAB, 348 en ScienceDirect y 17 en Engineering Village; 831 artículos fueron excluidos porque no estaban en el marco de tiempo descrito para el estudio; 341 artículos pasaron para análisis y lectura duplicados. Usando el software Rayyan, se excluyeron 167 artículos porque estaban duplicados; la tasa de duplicación es alta debido a que las bases de datos Scopus y ScienceDirect son administradas por Elsevier y ambas agregan algunas de las mismas revistas del editor. Se leyeron a fondo los títulos, resúmenes y palabras clave de 174 estudios, y se excluyeron 111 artículos porque no estaban dentro del tema, porque informaban métodos de adsorción mecánica o porque trabajaban con otros iones que no son objeto del presente estudio. Se leyeron 63 artículos completos y se seleccionaron 9 artículos para componer la revisión final, gracias a que estaban dentro de todos los criterios de inclusión propuestos. La base de datos Scopus tuvo la mayor cantidad de artículos incluidos en la versión final de la revisión, con 4 artículos, seguida de ScienceDirect con 3, CAB con 1 y Web of Science con 1. En Engineering Village no se seleccionaron artículos.

Con el análisis de los estudios encontrados en las bases de datos, se identificaron aspectos de los principales materiales adsorbentes y se dispusieron para la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales adsorbentes más citados y factores de influencia.

Autor, año	Iones	Material adsorbente y dosaje	Factores influyentes	Matriz acuosa	Referencia
Todorava <i>et al.</i> , 2019	Cd (II) y Pb (II)	<i>Bacillus cereus</i> (2 g/L)	pH, temperatura y dosificación	Aguas superficiales	[18]
Park <i>et al.</i> , 2019	Cd (II) y Pb (II)	Posos de café (0,1 g/L)	pH	Efluentes industriales	[19]
Mathivaran <i>et al.</i> , 2021	Cd (II) y Pb (II)	<i>Bacillus cereus</i> (25 mg/L)	pH y dosificación de adsorbentes	Aguas superficiales	[20]
Igberase <i>et al.</i> , 2020	Cd (II) y Pb (II)	Quitosano (3,9 mmol/L)	Concentración inicial y velocidad de agitación	Aguas superficiales	[21]
Mohapatra <i>et al.</i> , 2019	Cd (II) y Pb (II)	Posos de café (1 g/L)	Tiempo de inmersión, fuerza iónica y pH	Efluentes industriales	[22]
Akhtar <i>et al.</i> , 2022	Cd (II) y Pb (II)	<i>Bacillus cereus</i> (10 mg/L)	Concentración de solución y pH	Aguas superficiales	[23]
Quiroga-Flores <i>et al.</i> , 2020	Cd (II)	Nanotubos de silicato-titanato en gránulos de quitosano (0,56 mg/L)	pH	Aguas superficiales	[24]
Zhang <i>et al.</i> , 2022	Cd (II) y Pb (II)	Quitosano/relaves amino oro (20 mg/L)	Dosis de adsorbente, tiempo de contacto	Aguas superficiales	[25]
Chwastowski <i>et al.</i> , 2020	Cd (II) y Pb (II)	Posos de café (0,5 g/L)	pH, dosis de adsorbente y tiempo de contacto	Aguas superficiales	[26]

Adsorción de iones Pb (II) y Cd (II) utilizando productos naturales

La literatura retrata diferentes especies vegetales con actividad adsorbente para iones Pb (II) y Cd (II), como para otros iones; se demostró la acción adsorbente del polvo foliar, cáscaras, raíces y tallo frente a iones metálicos en medio acuoso, así como la biomasa de diversas plantas, algas y microalgas, con la aplicación en diferentes medios, como la fitorremediación.

Varios estudios reportan la acción adsorbente de varias plantas y sus diferentes partes contra iones Pb (II) y Cd (II); se identificó la acción adsorbente de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) [27], hojas de espino de Cristo (*Ziziphus spina-christi*) [28], cáscaras de rambutón (*Nephelium lappaceum* Linn.), maracuyá (*Passiflora laurifolia* Linn.), pitaya (*Hylocereus costaricensis*) [29], biomasa de phytolaca (*Phytolacca americana* Linn.) [30], entre otras varias especies vegetales.

Al-Onazi *et al.* [31] verificaron la acción de iones de adsorción de Cd (II) y Pb (II) con el uso de carbón activado de cáscaras de *Punica granatum* (granada) y cáscaras de *Phoenix dactylifera* (dátil). Las cáscaras fueron molidas y tamizadas para obtener polvo fino con un promedio de $<120\text{ }\mu\text{m}$, para la activación H_3PO_4 y ZnCl_2 en una proporción de 1:1 durante 24 h. A fin de calcular la adsorción de Cd (II) y Pb (II), evaluaron en un rango de pH de 2,5 – 7 con 100 mg/L de concentración de metal, tiempo de contacto de 90 min y dosis de adsorbente de 0,5 g/L para granada y 1 g/L para dátil. Los resultados demuestran la capacidad de adsorción de los carbonos evaluados; la tasa máxima de eliminación para Pb (II) fue del 91,1% para el carbón activado de granada (CAR) y del 88,8% para el carbón activado con dátil (CAT) a pH 6. La tasa máxima de eliminación para Cd (II) fue del 92,5% para CAR y del 87,3% para CAT a pH 6,5. Debido al proceso de protonación y la formación de óxidos hidratados protonados, las dosis de adsorbente son ineficientes en soluciones de pH bajo (1,3).

Un estudio demostró que el uso del macrófito *Potamogeton malayanus* permite obtener altos resultados en la adsorción de cadmio y plomo en agua; por medio de la fitorremediación, la adsorción se produce rápidamente (2 h) y logra un equilibrio dinámico en menos de 72 h. La adsorción media para los iones Pb (II) y Cd (II) es del 94%, con una capacidad de adsorción en equilibrio de 6,29-6,97 mg/kg. El estudio también reveló que los iones metálicos se concentran en hojas (12,44-38,15 mg/kg) y raíces (10,32-26,10 mg/kg); la espectroscopía infrarroja muestra que la acción $\text{C} = \text{N}$ puede estar involucrada en la capacidad de adsorción de la especie [32].

El uso de carbón activado de cáscaras de melón (*Cucumis melo*) con un tamaño entre 75 y 125 μm actúa como material absorbente de iones Cd (II) y Pb (II), así como Cr (IV) y Ni (II). Todas las pruebas fueron a la concentración de 250 mg de adsorbente en 100 mL de solución acuosa a concentraciones iniciales (100, 200, 300, 400 mg/L). Las curvas de adsorción mostraron que la concentración de 100 mg/L es la más eficiente en la eliminación de iones Pb (II) y Cd (II) en todos los períodos evaluados (40, 80, 120, 160, 200 min); para ambos iones fue posible la adsorción de 100 mg después de 200 min [33]. Otro estudio que utilizó carbón activado de cáscaras de melón también retrató la actividad adsorbente contra los iones de plomo. La tasa de adsorción alcanza el 94,88% para los iones Pb (II), mientras que la isoterma de adsorción ajustada al modelo de Langmuir alcanzó 0,0830 mg/g. La espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDX) relaciona el intercambio iónico y la microprecipitación como los principales mecanismos relacionados con la adsorción [34].

La optimización de la adsorción de iones Pb (II) y Cd (II) con el uso de carbón activado de vainas de *Acacia senegal* en solución ternaria acuosa es un método viable. La actividad adsorbente puede estar relacionada con la presencia de grupos funcionales $-\text{OH}$ y $-\text{C} = \text{C}-$, que fueron identificados por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, además de la diversidad de tamaños de poro de carbón, identificados con la ayuda de microscopía electrónica de transmisión. El carbón activado con H_3PO_4 mostró una tasa de adsorción de 98,54 y 99,96% para Cd y Pb, respectivamente, a una concentración de 145,06 y 63,83 mg/L, y un tiempo de contacto de 8 min [35].

Investigadores describen que la biomasa de múltiples especies actúa como material adsorbente. Phaenark *et al.* [36] informan que el bagazo de caña de azúcar y la pluma de maíz tienen acción adsorbente para los iones Pb (II) y Cd (II) en agua contaminada; sufren influencia directa del pH y la dosificación en la eficiencia de eliminación. Con el aumento de la dosis de Pb (II) y Cd (II) la eliminación también aumentó, en relación con el pH, las soluciones de Pb (II) con pH 7, y presentan menores tasas de adsorción con un pH óptimo entre 5 y 6, con una tasa de hasta el 98%; para soluciones de Cd (II) el pH no muestra influencia en la curva de adsorción.

Adsorción iónica Pb (II) y Cd (II) con hongos y bacterias

Investigadores visualizan en bacterias y hongos nuevas tecnologías para la biorremediación de diversos compuestos contaminantes del medio ambiente. El uso de bacterias y hongos ya es conocido en la biorremediación de metales pesados y otros productos químicos en el suelo. En el caso de la adsorción de iones metálicos en soluciones acuosas, se vio en la literatura que el género *Bacillus* sp. es ampliamente estudiado como tecnología adsorbente.

Wang y Sun [37] estudiaron la capacidad adsorbente de una especie mutante de *Bacillus subtilis* (B38), que en una investigación anterior ya había presentado una resistencia cuatro veces mayor que la de las soluciones de cadmio [38]. Los estudios de Wang y Sun utilizaron concentraciones de 56 mg/L de Cd y 104 mg/L de Pb, preparadas con agua destilada y concentración de 5×10^8 células/mL, 2-100 mL/L de material adsorbente, en un rango de pH 3 a 9. *Bacillus subtilis* (B38) tiene afinidad por los iones metálicos catiónicos y presenta tasas de sorción de equilibrio de 210,6 y 420,9 mg/g para Cd (II) y Pb (II), respectivamente, lo que muestra a la especie mutante como un biosorbente prometedor.

Otra especie del género *Bacillus* sp. también mostró buenos resultados en la adsorción de Cd (II). En labiomasa muerta de *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628), la capacidad máxima de adsorción se midió a partir del modelo de Langmuir, definido por la ec. (1):

$$R_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (1)$$

C_0 es la concentración inicial de vehículos metálicos (mg/L) y b la constante de Langmuir (mg/L). Las isotermas de adsorción muestran la eficiencia a todas las temperaturas evaluadas para la adsorción de Cd (II), por biomasa de *B. laterosporus*, con tasas de 84,03, 85,47 y 86,20 mg/g, a 20, 30 y 40 °C, respectivamente. Los resultados revelan que el aumento de la temperatura influye en la adsorción de cadmio por la biomasa de *B. laterosporus* [39].

La aplicación de bacterias mutantes o recombinantes ha sido un campo de estudio para la adsorción de iones metálicos. Jia *et al.* [40] utilizaron la especie bacteriana gramnegativa *Rhodopseudomonas palustris* recombinante. El plásmido pSCMT (Kana) se utilizó para la expresión de metalotioneína (MT) llamada ShMT, originada del cangrejo de agua dulce *Sinopotamon honanens*. Mediante electroporación del plásmido se obtuvo *R. palustris*/pSCMT recombinante. *R. palustris*/pSCMT alcanzó el balance de biosorción después de 30 min; luego de alcanzar el equilibrio los niveles permanecieron estables. *R. palustris*/pSCMT mostró una capacidad máxima de adsorción de 225,19 mg/g para Cd (II); comparando las tasas de adsorción de *R. palustris*/pSCMT y la de *R. palustris* salvaje, se observa que la cepa recombinante es más eficiente, ya que la cepa salvaje mostró una capacidad máxima de adsorción para iones cadmio de 147,48 mg/g.

Los hongos también han sido una alternativa para la adsorción de iones metálicos en el agua y el suelo. Las especies fúngicas se utilizan de forma recombinante, junto con una biomasa o de forma aislada. Varios hongos demostraron ser viables en la adsorción de iones Pb y Cd; entre ellos se encuentran *Aspergillus flavus* (TISTR 3637), *Aspergillus gracilis* (TISTR 3638), *Aspergillus penicillioides* (sp. 1) (TISTR 3639), *Aspergillus penicillioides* (sp. 2) (TISTR 3640), *Aspergillus restricted* (3641) y

Sterigmatomyces halophilus (TISTRA 5926), con tasas de eliminación entre el 50 y el 93% para los iones de cadmio y entre el 40 y el 87% para los iones de plomo [41].

La especie *Trametes pubescens* (MB 89) probó la adsorción de iones metálicos de cadmio; las esporas se inocularon inicialmente en solución tampón de citrato de fosfato al 20%, pH 4,5 y resistencia al cadmio investigada a través del crecimiento radial en medio de agar dextrosa de papa. Las pruebas de adsorción se realizaron en Erlenmeyer de 250 mL llenos con 100 mL de medio líquido y diferentes concentraciones de Cd (II) (0, 5, 10, 50 y 100 mg/L). Para calcular las tasas de adsorción de Cd (II) se utilizó la ecuación de Xu *et al.* [42], Ec. (2):

$$q_e = \frac{V(C_i - C_e)}{W} \quad (2)$$

q_e es la adsorción de Cd (mg Cd/kg biomasa); V es el valor de la solución metálica en mL; C_i y C_e son las concentraciones iniciales y de equilibrio de cadmio en la solución, en mg/L; y W el peso del micelio seco en g. La eliminación de Cd por *T. pubescens* en solución acuosa viable, a una concentración de 100 mg/L de adsorción, fue de 6,565 mg/g, la más alta reportada en el estudio. La tasa máxima de adsorción fue del 53,13%, para la concentración inicial de 10 mg/L de Cd [43].

La especie fúngico-macroscópica *Pleurotus ostreatus*, probada por Kocaoba y Arisoy [44] contra iones metálicos de plomo y cadmio, fue una de las variedades fúngicas que mostró acción adsorbente. En soluciones de 2,5 - 25 µg de Cd (II) y Pb (II) en 100 mL, se evaluó la actividad adsorbente de la biomasa de *P. ostreatus* en una columna de corriente descendente. En la menor cantidad de material adsorbente (0,1 g) ya ha presentado recuperación de ambos iones por encima del 80%, con el aumento de la cantidad de adsorbente, consiguiendo un equilibrio en la dosis de 0,3 g con una tasa de recuperación del 100%.

Adsorción por nanocomuestos químicos y asociados

Los nanocomuestos son estructuras en las que al menos una partícula tiene un tamaño nanométrico. Su uso ha sido generalizado porque tiene una mayor eficiencia en comparación con los materiales compuestos. La literatura describe nanocomuestos de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MnO}_2$ [45], quitosano con ácido polimetacrílico reticulado y nanotubo de haloíta (Cs-PMA/HNT) [46], nanocomuestos híbridos de hidroxifosfato e hidroxisulfato férrico asociados con el hongo *Aspergillus niger* (n-HFP + n-HFS)@An) [47], como algunos entre la diversidad de nanocomuestos que pueden actuar como material adsorbente de iones Cd (II) y Pb (II).

Un nanocomuesto superparamagnético basado en el poli(*N*-vinilpirrolida-co-anhídrido maleico) enrejado (PNVPMA) en reacción con ácido 3-aminobenzoico se identificó como un agente modificador de reticulación. A través de un sistema discontinuo, se probó la capacidad de adsorción del nuevo nanocomuesto contra Pb (II) y Cd (II), y se observó la influencia de múltiples factores en la adsorción, incluido el pH de la solución y la dosificación del nanocomuesto. Los resultados de las isotermas de adsorción son similares a las isotermas de adsorción de Langmuir; el nanocomuesto presentó una capacidad máxima de adsorción de 312,5 y 32,78 mg/g para iones de plomo y cadmio, respectivamente [48].

Nanocomuesto LH-MH a base de Polyphepan (lignina hidrolítica conífera comercial) y solución de hidróxido de sodio obtenida por agitación magnética fue evaluado por Ponomarev *et al.* [49] como material adsorbente, en soluciones madre catiónicas de concentración de 0,1 mol/L y 2 g/L de solución de Cd y Pb, respectivamente a pH 6,5. La capacidad de adsorción (q_{exp}) fue determinada por la ec. (3): v

$$q_{exp} = \frac{C_i - C_e}{m} \quad (3)$$

C_i es la concentración inicial de cationes (mmol/L), C_e la concentración de cationes después de la eliminación (mmol/L), m la masa del material granular (mg) y V el volumen de la solución (mL). El pH interfiere activamente en la adsorción de plomo y cadmio; debido a la interacción electrostática del pH por debajo de 6,7 para lignina y 10,6 para LH-MH, favorece la adsorción de iones metálicos. LH-MH muestra mayor capacidad de adsorción para iones Pb (II), con una tasa de adsorción de 1,24 mmol/g, atribuida a su menor hidratación, que ayuda en la fijación en la superficie. Para los iones Cd (II), LH-MH mostró una tasa menor de 0,94 mmol/g.

El polisacárido de quitosano (Figura 1) es uno de los compuestos más identificados para la preparación de material adsorbente de iones Cd y Pb. Se preparó y evaluó un nuevo nanocomuesto basado en quitosano, llamado Gd/SrFe@SBCs, mediante microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM), espectro dispersivo de energía de rayos X (EDS) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y, posteriormente, se evaluó la capacidad de adsorción. El estudio relaciona la capacidad de adsorción con la estructura química del quitosano, lo que facilita la captura de iones metálicos; debido a su estructura permiten la porosidad del elemento, visualizado en microscopía electrónica de barrido, que puede fijar los iones metálicos y eliminarlos de la superficie acuosa.

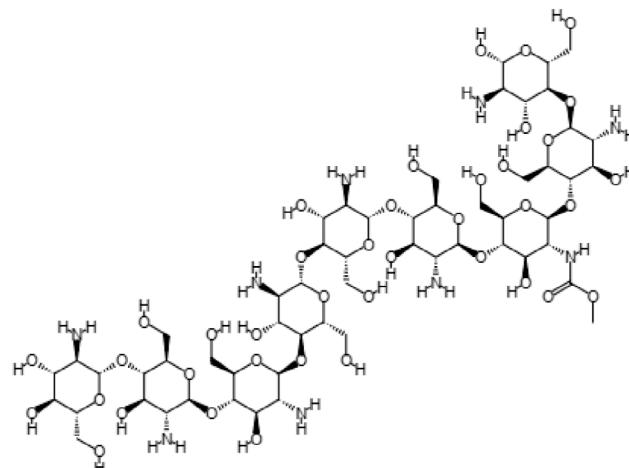


Figura 1. Estructura química del quitosano ($\text{C}_{56}\text{H}_{103}\text{N}_9\text{O}_{39}$).

Gd/SrFe@SBCs ensayado en la adsorción de Iones Pb (II) y Cd (II) en solución acuosa presentó eficiencia del 98% para ion Pb (II) y del 78% para ion Cd (II); en las mejores condiciones la capacidad máxima de adsorción alcanza valores de 146,2 y 183,7 mg/g para Pb (II) y Cd (II), respectivamente [50].

Conclusiones

Con el análisis de los artículos que componen el estudio fue posible observar una diversidad de nuevos compuestos que se utilizan como materia adsorbente de iones Pb (II) y Cd (II). Los estudios dentro de este tema son relevantes para discutir e investigar nuevas tecnologías para el tratamiento de suelos y aguas contaminadas con metales pesados. Diferentes estudios informan de la posible capacidad adsorbente de estos materiales frente a otros iones metálicos, como níquel, manganeso, zinc y aluminio. Deberían realizarse más estudios para reforzar el tema y buscar nuevas tecnologías alternativas para la adsorción de iones de plomo y cadmio.

Las altas tasas de adsorción de plomo y cadmio en aguas superficiales y efluentes industriales, como las de Acacia senegal (98,54 y 99,96% para Cd y Pb), granada (91,1 y 92,5% para Cd y Pb) y dátil (88,8 y 87,3% para Cd y Pb), demuestran que la biomasa vegetal puede ser utilizada como alternativa en la eliminación de iones de plomo y cadmio.

Este artículo contribuye a la profundización y desarrollo de nuevas reflexiones sobre la adsorción de iones 2+ de plomo y cadmio, con el fin de proporcionar una base bibliográfica de apoyo científico para otros estudios dentro del área.

Agradecimientos

El autor agradece a la Fundación Cearense de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico (Funcap).

Referencias

- [1] A. A. Sthanadar, I. A. Sthanadar, A. Muhammad, P. A. Ali, M. Shah, M. Zahid, and M. Yousaf, "Bioaccumulation profile of heavy metals in the liver tissues of *Wallago attu* (MULLEY) from Kalpani River Mardan, Khyber Pakhtunkhwa Pakistan", *Int. J. Biosci.*, vol. 3, no. 11, pp. 92-103, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.11.92-103>
- [2] D. Zhou, M. Yu, J. B. Yu, Y. Z. Li, B. Guan, X. H. Wang, Z. K. Wang, Z. B. Lv, F. Z. Qu, and J. S. Yang, "Impacts of inland pollution input on coastal water quality of the Bohai Sea", *Sci. Total Environ.*, vol. 765, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142691
- [3] M. S. Sankhla, M. Kumari, M. Nandan, R. Kumar, and P. Agrawal, "Heavy metals contamination in water and their hazardous effect on human health - a review", *Int. J. curr. microbiol. appl. Sci.*, vol. 5, no. 10, pp. 759-766, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijemas.2016.510.082>
- [4] A. K. Krishna, M. Satyanarayanan, and P. K. Govil, "Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India", *J. Hazard. Mater.*, vol. 167, pp. 366-373, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.131>
- [5] D. H. Nies, "Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes", *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 27, pp. 313-339, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00048-2)
- [6] A. Kubier, R. T. Wilkin, and T. Pichler, "Cadmium in soils and groundwater: a review", *Appl. Geochemistry*, 108, 104388, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
- [7] M. A. Khan, S. Khan, A. Khan, and M. Alam, "Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments", *Sci. Total Environ.*, vol. 601, pp. 1591-1605, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030>
- [8] O. P. Kumar, M. Ahmad, M. A. Nazir, A. Anum, S. S. Jamshaid, A. M. Shah, and A. Rehman, "Strategic combination of metal-organic frameworks and C3N4 for expeditious photocatalytic degradation of dye pollutants", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 23, pp. 35300-35313, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-17366-w
- [9] K. Shahzad, S. Hussain, M. A. Nazir, M. Jamshaid, A. ur Rehman, A. S. Alkorbi, and N. A. Alhemiary, "Versatile Ag2O and ZnO nanomaterials fabricated via annealed Ag-PMOS and ZnO-PMOS: An efficient photocatalysis tool for azo dyes", *J. Mol. Liq.*, vol. 356, 119036, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119036>
- [10] H. Nakata, S. M. Nakayama, J. Yabe, K. Muzandu, A. Kataiba, A. Ikeda-Araki, and M. Ishizuka, "Narrative review of lead poisoning in humans caused by industrial activities and measures compatible with sustainable industrial activities in Republic of Zambia", *Sci. Total Environ.*, 157833, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157833>
- [11] *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization, 4th ed., 2017.
- [12] P. Levallois, P. Barn, M. Valcke, D. Gauvin, and T. Kosatsky, "Public health consequences of lead in drinking water", *Curr. Environ. Health Rep.*, vol. 5, pp. 255-262, 2018. DOI: 10.1007/s40572-018-0193-0
- [13] B. P. Lanphear, S. Rauch, P. Auinger, R. W. Allen, and R.W. Hornung, "Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study", *Lancet Glob. Health.*, vol. 3, no. 4, pp. e177-e184, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(18)30025-2)
- [14] P. Baskaran and M. Abraham, "Adsorption of cadmium (Cd) and lead (Pb) using powdered activated carbon derived from Cocos Nucifera waste: A kinetics and equilibrium study for long-term sustainability", *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 53, p. 102709, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102709>
- [15] J. Chwastowski and P. Staroń, "Influence of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells immobilized on Cocos nucifera fibers for the adsorption of Pb (II) ions", *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 632, p. 127735, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127735>
- [16] C. O. Asadu, E. C. Anthony, O. C. Elijah, I. S. Ike, O. E. Onoghrarite, and U. E. Okwudili, "Development of an adsorbent for the remediation of crude oil polluted water using stearic acid grafted coconut husk (Cocos nucifera) composite", *Appl. Surf. Sci.*, vol. 6, p. 100179, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100179>
- [17] M. Ouzzani, H. Hammady, Z. Fedorowicz, and A. Elmagarmid, "Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews", *Syst. Rev.*, vol. 5, no. 210, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- [18] K. Todorova, Z. Velkova, M. Stoytcheva, G. Kirova, S. Kostadinova, and V. Gochev, "Novel composite biosorbent from *Bacillus cereus* for heavy metals removal from aqueous solutions", *Biotechnol. Biotechnol. Equip.*, vol. 3, no. 1, pp. 730-738, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1610066>
- [19] M. H. Park, S. Jeong, G. Lee, H. Park, and J. Y. Kim, "Removal of aqueous-phase Pb (II), Cd (II), As (III), and As (V) by nanoscale zero-valent iron supported on exhausted coffee grounds", *Waste Manag.*, vol. 92, pp. 49-58, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.017>
- [20] K. Mathivanan, J. U. Chandirika, T. Mathimani, R. Rajaram, G. Annadurai, and H. Yin, "Production and functionality of exopolysaccharides in bacteria exposed to a toxic metal environment", *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 208, pp. 111567, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111567>
- [21] E. Igberase and P. O. Osifo, "A comparison study of the adsorption of metal ions by chitosan derivatives in aqueous solution", *Desalination Water Treatm.*, vol. 188, pp. 31-44, 2020. DOI: 10.5004/dwt.2020.25391
- [22] R. K. Mohapatra, P. K. Parhi, S. Pandey, B. K. Bindhani, H. Thatoi, and C. R. Panda, "Active and passive biosorption of Pb (II) using live and dead biomass of marine bacterium *Bacillus xiamensis* PbRPSD202: Kinetics and isotherm studies", *J. Environ. Manage.*, vol. 247, pp. 121-134, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.073
- [23] N. Akhtar, S. Khan, S. U. Rehman, E. S. Rha, and M. Jamil, "Combined Effect of Zinc Oxide Nanoparticles and Bacteria on Osmolytes and Antioxidative Parameters of Rice (*Oryza sativa* L.) Plant Grown in Heavy Metal-Contaminated Water", *Adsorp. Sci. Technol.*, pp. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/4148765>
- [24] R. Quiroga-Flores, A. Noshad, R. Wallenberg, and L. Önnby, "Adsorption of cadmium by a high-capacity adsorbent composed of silicate-titanate nanotubes embedded in hydrogel chitosan beads", *Environ. Technol.*, vol. 41, no. 23, pp. 3043-3054, 2020. DOI: 10.1080/09593330.2019.1596167
- [25] Y. Zhang, M. Haris, L. Zhang, C. Zhang, T. Wei, X. Li, and X. Li, "Amino-modified chitosan/gold tailings composite for selective and highly efficient removal of lead and cadmium from wastewater", *Chemosphere*, vol. 308, p. 136086, 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.136086
- [26] J. Chwastowski, D. Bradlo, and W. Żukowski, "Adsorption of cadmium, manganese and lead ions from aqueous solutions using spent coffee grounds and biochar produced by its pyrolysis in the fluidized bed reactor", *Materials*, vol. 13, no. 12, p. 2782, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13122782>
- [27] M. Aschalea, F. Tsegayeb, and M. Amdec, "Potato peels as promising low-cost adsorbent for the removal of lead, cadmium, chromium and copper from wastewater", *Desalin. Water Treat.*, vol. 222, pp. 405-415, 2021. DOI: 10.5004/dwt.2021.27108

- [28] S. A. Yousif and S. Al-Mosawi, “Adsorptive separation of dissolved cadmium from aqueous solution using (*Ziziphus Spina-Christi*) leaves as an adsorbent”, *S. Afr. J. Chem. Eng.*, vol. 42, pp. 12-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.07.002>
- [29] A. Wattanakornsiri, P. Rattanawan, T. Sanmueng, S. Satchawan, T. Jamnongkan, and P. Phuengphai, “Local fruit peel biosorbents for lead (II) and cadmium (II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study”, *S. Afr. J. Chem. Eng.*, vol. 42, pp. 306-317, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.008>
- [30] G. Wang, S. Zhang, P. Yao, Y. Chen, X. Xu, T. Li, and G. Gong, “Removal of Pb (II) from aqueous solutions by *Phytolacca americana* L. biomass as a low cost biosorbent”, *Arab. J. Chem.*, vol. 11, no. 1, pp. 99-110, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.011>
- [31] W. A. Al-Onazi, M. H. Ali, and T. Al-Garni, “Using pomegranate peel and date pit activated carbon for the removal of cadmium and lead ions from aqueous solution”, *J. Chem.*, vol. 2021, pp. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5514118>
- [32] R. Lyu, B. Gu, T. Zhang, and Z. Yang, “Simultaneous removal of Cd (II), Ni (II), and Pb (II) from water by a submerged macrophyte pondweed (*Potamogeton malaianus*)”, *WER*, vol. 93, no. 11, pp. 2637-2647, 2021. DOI: [10.1002/wer.1617](https://doi.org/10.1002/wer.1617)
- [33] M. Manjuladevi, R. Anitha, and S. Manonmani, “Kinetic study on adsorption of Cr(VI), Ni(II), Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from *Cucumis melo* peel”, *Appl Water Sci*, vol. 8, no. 36, 2018. DOI: [10.1007/s13201-018-0674-1](https://doi.org/10.1007/s13201-018-0674-1)
- [34] N. Othman and S. M. Asharuddin, “Utilization of *Cucumis Melo* rind as Fe and Pb ions biosorbent”, *Режим доступа*, pp. 1-15, 2015.
- [35] A. A. Adetokun, S. Uba, and Z. N. Garba, “Optimization of adsorption of metal ions from a ternary aqueous solution with activated carbon from *Acacia senegal* (L.) Willd pods using Central Composite Design”, *J. King Saud Univ. Sci.*, vol. 31, no. 4, pp. 1452-1462, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.12.007>
- [36] C. Phaenark, T. Jantrasakul, P. Paejaroen, S. Chunchob, and W. Sawangproh, “Sugarcane bagasse and corn stalk biomass as a potential sorbent for the removal of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solutions”, *Trends in Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 6621, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6221>
- [37] T. Wang and H. Sun, “Biosorption of heavy metals from aqueous solution by UV-mutant *Bacillus subtilis*”, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 20, no. 10, pp. 7450-7463, 2013. DOI: [10.1007/s11356-013-1767-x](https://doi.org/10.1007/s11356-013-1767-x)
- [38] C. Jiang, H. Sun, T. Sun, Q. Zhang, and Y. Zhang, “Immobilization of cadmium in soils by UV-mutated *Bacillus subtilis* 38 bioaugmentation and NovoGro amendment”, *J Hazard Mater*, vol. 167, no. 1, pp. 1170-1177, 2009. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.01.107](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.107)
- [39] R. Kulkarni, K. V. Shetty, and G. Srinikethan, “Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by bacillus laterosporus (MTCC 1628)”, *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 45, no. 4, pp. 1628-1635, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.11.006>
- [40] Q. Jia, C. Chen, B. Li, and L. Wang, “Construction and characterization of an engineered recombinant *rhodopseudomonas palustris* to remove Cd²⁺, Zn²⁺ and Cu²⁺”, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107698>
- [41] A. Bano, J. Hussain, A. Akbar, K. Mehmood, M. Anwar, M. S. Hasni, and I. Ali, “Biosorption of heavy metals by obligate halophilic fungi”, *Chemosphere*, vol. 199, pp. 218-222, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.043>
- [42] X. Xu, L. Xia, Q. Huang, J. D. Gu, and W. Chen, “Biosorption of cadmium by a metal-resistant filamentous fungus isolated from chicken manure compost”, *Environ. Technol.*, vol. 33, pp. 1661-1670, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.641591>
- [43] J. Liu, P. Fu, L. Wang, X. Lin, and N. Enayatizamir, “A fungus (*trametes pubescens*) resists cadmium toxicity by rewiring nitrogen metabolism and enhancing energy metabolism”, *Front Microbiol*, vol. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1040579>
- [44] S. Kocaoba and M. Arisoy, “Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solutions using *pleurotus ostreatus* immobilized on bentonite”, *Sep. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 11, pp. 1703-1710, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1442477>
- [45] Q. Li, F. Yang, J. Zhang, and C. Zhou, “Magnetic Fe₃O₄/MnO₂ core-shell nano-composite for removal of heavy metals from wastewater”, *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 8, 2020. DOI: [10.1007/s42452-020-3182-5](https://doi.org/10.1007/s42452-020-3182-5)
- [46] J. Maity and S. K. Ray, “Chitosan based nano composite adsorbent—Synthesis, characterization and application for adsorption of binary mixtures of Pb (II) and Cd (II) from water”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 182, pp. 159-171, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.086>
- [47] Q. Liao, G. Tu, Z. Yang, H. Wang, L. He, J. Tang, and W. Yang, “Simultaneous adsorption of As (III), Cd (II) and Pb (II) by hybrid bio-nanocomposites of nano hydroxy ferric phosphate and hydroxy ferric sulfate particles coating on *Aspergillus niger*”, *Chemosphere*, vol. 223, pp. 551-559, 2019. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2019.02.070](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.070)
- [48] E. N. Zare, M. M. Lakouraj, and M. Masoumi, “Efficient removal of Pb (II) and Cd (II) from water by cross-linked poly (N-vinylpyrrolidone-co-maleic anhydride)@ eggshell/Fe₃O₄ environmentally friendly nano composite”, *Desalin. Water Treat.*, vol. 106, pp. 209-219, 2018. DOI: [10.5004/dwt.2018.22104](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22104)
- [49] N. Ponomarev, O. Pastushok, E. Repo, B. Doshi, and M. Sillanpää, “Lignin-based magnesium hydroxide nanocomposite. Synthesis and application for the removal of potentially toxic metals from aqueous solution”, *Applied Nano Materials*, vol. 2, no. 9, pp. 5492-5503, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsm.m.9b01083>
- [50] S. A. Jasim, W. K. Abdelbasset, K. Hachem, M. M. Kadhim, G. Yasin, M. A. Obaid, and Z. H. Mahmoud, “Novel Gd₂O₃/SrFe₁₂O₁₉@ Schiff base chitosan (Gd/SrFe@ SBCs) nanocomposite as a novel magnetic sorbent for the removal of Pb (II) and Cd (II) ions from aqueous solution”, *JCCS*, vol. 69, no. 7, pp. 1079-1087, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/jccs.202200013>

Citación del artículo:

A. R. da Silva Pereira Rodrigues, “Nuevas tecnologías de adsorción y factores de influencia para iones Cd (II) y Pb (II) – una revisión”, *Rev. Colomb. Quim.*, vol. 51, no. 3, pp. 53-59, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v51n3.107361>