Evaluación de Factores para el tratamiento de remoción de metales pesados y contaminantes en aguas residuales industriales

Miguel Andres Luque colquehuanca[[1]](#footnote-1)

aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

En el presente artículo de revisión se realiza la evaluación de factores de tratamiento de remoción de metales pesados y contaminantes en aguas residuales industriales, con el objetivo proponer métodos para analizar diferentes factores, enfrentar los problemas ambientales causados por el alto índice de contaminación de los iones de metales pesados en las aguas residuales industriales. Las condiciones y diferentes tratamientos han presentado eficiencia en la remoción en aguas residuales industriales. La bioadsorcion permite la captación activa o pasiva de iones metálicos, esto se debe a la propiedad de diferentes biomasas vivas o muertas de diversas biomasas que poseen la capacidad de enlazar y acumular varios tipos de contaminantes como los residuos agroindustriales, también se emplean las diferentes técnicas de la remoción que corresponden al tratamiento de materiales pesados en aguas residuales depende de diferentes factores. Las fuentes revisadas para la obtención de materiales empleados como adsorbentes no convencionales han sido los residuos agroindustriales y especies vegetales, esto permite reducir la carga orgánica de un efluente contaminado con metales pesados, colorantes, pesticidas y algunos otros compuestos orgánicos. El proceso de bioadsorcion realizado con biomasas puede presentar una gran variedad de mecanismo para la acumulación de metales pesados, sin embargo, los biosorbentes pueden ser afectados por las altas concentraciones de contaminantes, provocando la muerte de la biomasa.La vigilancia y el control de los vertimientos industrial han representado un fortalecimiento evolutivo y han evidenciado un notable incremento en los controles sobre los metales pesados, debido al impacto de peligrosidad de estos residuos, la aplicación de materiales no convencionales para la adsorción y remoción de metales en el tratamiento de aguas residuales está en etapa inicial, existen varios reportes de capacidad adsortiva.

*Palabras clave:* Metales pesados; Aguas residuales; Adsorcion; ion metalico; biosorbentes, efluentes.

**Abstract**

In this review article, the evaluation of treatment factors for the removal of heavy metals in industrial wastewater is presented, with the objective of proposing methods to analyze different factors, face environmental problems caused by the high rate of contamination of ions of heavy metals in industrial wastewater. The conditions and different treatments have shown efficiency in the removal of industrial wastewater. Bioadsorption allows the active or passive uptake of metal ions, this is due to the property of different living or dead biomass of various biomasses that have the ability to bind and accumulate various types of pollutants such as agro-industrial waste, different techniques are also used of the removal corresponding to the treatment of heavy materials in wastewater depends on different factors.

The sources reviewed for obtaining materials used as non-conventional adsorbents have been agroindustrial waste and plant species, this allows reducing the organic load of an effluent contaminated with heavy metals, dyes, pesticides and some other organic compounds. The bioadsorption process carried out with biomass can present a great variety of mechanisms for the accumulation of heavy metals, however, biosorbents can be affected by high concentrations of pollutants, causing the death of the biomass.

The surveillance and control of industrial discharges have represented an evolutionary strengthening and have evidenced a notable increase in controls over heavy metals, due to the hazardous impact of these wastes, the application of non-conventional materials for the adsorption and removal of metals. In the treatment of wastewater it is in the initial stage, there are several reports of adsorptive capacity.

*Keywords:* Heavy metals; Sewage water; Adsorption; metal ion; biosorbents, effluents.

1. Introducción

En la actualidad, debido al aumento sustancial de índice de contaminación de las aguas residuales industriales provocado por los metales pesados como el gromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio, existen problemas preocupantes en todo el mundo, sustancias toxicas que tienden a existir en el agua de forma indefinida. El medio ambiente, atraves de su acumulación y su ingreso a la cadena del tráfico, no solo daña el bienestar de animales y plantas, sino que también daña a la salud de las personas.

Otro término en la clasificación de metales son los metales pesados, que se refieren a los metales que tienen un impacto en el medio ambiente por toxicidad. La característica principal es la densidad. Aproximadamente superior a 6/cm3, a excepción del Ti (Titanio) (4.5g/cc), pero también se considera un metal pesado; por lo tanto aun que es un no metálico, tiene una densidad alta de 5.7 g/cm3, la razón por la cual excepto, además de otras características ambientales, también se considera la causas de los metales pesados (Breird Peral , 2008).

El uso de metales en procesos industriales ha provocado la liberación de una gran cantidad de metales pesados potencialmente tóxicos a la atmosfera y al medio acuático y terrestre(Fu Wang, 2011). Los diversos efectos de los metales pesados en las plantas incluyen la necrosis de la punta de la hoja, la inhibición del crecimiento de las raíces y en peor de los casos, la muerte total de la planta. En los seres humanos, los metales pesados pueden incluso provocar una toxicidad grave al entrar en el cuerpo humano e incluso provocar la muerte.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) determina que la concentración máxima de iones de metales pesados en el agua debe estar en el rango de 0.01-1 ppm, pero según los informes, la concentración máxima actual de iones de metales pesados es de 450 ppm en las aguas residuales.

La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio ambiente, que a su vez depende de su forma química, persistencia y tendencia a acumularse o bioacumularse (Dominech y Peral, 2008). La dosis letal en la dieta humana y el nivel máximo de contaminación (NCM) establecido por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA) (Spiro Stigiliani, 2013). Esta investigación o revisión propone métodos para analizar diferentes factores para enfrentar los problemas ambientales causados por el alto índice de contaminación de los iones de metales pesados en las aguas residuales industriales.

En el medio hidrosferico se aprecia, cantidades cercanas a 109 Kg/año de metales traza, que se han vertido durante el año, siendo las aguas residuales de origen domésticas, las plantas térmicas, las fundiciones y las acerías, las principales fuentes de emisión (Tabla 1); en un orden de flujos de emisión o cargas contaminantes de metales a la hidrosfera corresponde a Mn > Zn > Cr > Pb (Plomo) > Ni ≈ Cu > Se (Selenio) ≈ As (Arsénico) > Sb (Antimonio) > V ≈ Mo ? Cd (Cadmio) > Hg (Mercurio) (Dominech & Peral, 2008)

**Tabla 1.***Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Industria** | **Metales** | **Contaminación derivada** |
| Minería de metales ferrosos | Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn | Drenaje de ácido de mina, relaves, escombreras |
| Extracción de minerales | As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn | Presencia en los menas como en los subproductos |
| Fundición | As, Cd, Pb, Tl | Procesado en mineral para obtención de metales |
| Metalúrgica | Cr, Co, Mn, Pb, Sb, Zn | Procesado térmico de metales |
| Aleaciones y aceros | Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn | Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escorial |
| Gestión de residuos | Zn, Cu, Cb, Pb, Ni, Cr , Hg, Mn | Incineración de residuos o en lixiviados. |
| Corrosión metálica | Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn | Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente. |
| Galvanoplastia | Cr, Ni, Zn, Co | Los efluentes líquidos de proceso de recubrimiento. |
| Pinturas y pigmentos | Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn | Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja |
| Baterías | Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg | Luido de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. |
| Electrónica | Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn | Residuos metálicos acuosa, y sólida desde el proceso fabricación y reciclaje. |
| Agricultura y ganadería | Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu | Contaminación de escorrentía, agua superficiales y subterráneas, la bioacumulacion planta. |

*Nota.* Se tomó en cuanta la tabla 1, para las cargas contaminantes de metales, a la hidrosfera. ((Domenech & Peral, 2014)

1. Tratamiento para la remoción de metales pesados en aguas residuales.

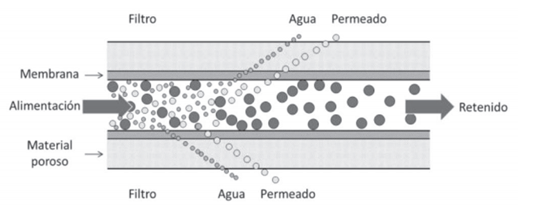
La clasificación de las tecnologías de tratamiento de metales pesados en aguas residuales depende de diferentes factores. En la encuesta se clasifican como tecnologías convencionales que se refiere a las tecnologías que se utilizan actualmente para eliminar los contaminantes de metales pesados en las aguas residuales y los contaminantes no convencionales, que suelen corresponder al proceso de eliminación de metales de las aguas residuales de origen industrial.

* 1. **Técnicas convencionales.**
     1. Filtración por membrana.

Esta tecnología tiene una alta eficiencia, requiere poco espacio, no es selectiva ya fácil de operar, pero producida una gran cantidad de lodos que contienen metales. Se utiliza en el proceso de tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y en menos medida aguas residuales domésticas. La membrana se puede clasificar de acuerdo con diferentes características, como su peso molecular de corte, el material de la membrana (polímero natural sintético o modificado, acoplamiento estructuración), la permeabilidad y solubilidad de solutos y disolventes en la membrana, la superficie y espesor activo. La carga sobre la película y su superficie (Taylor Wiesner , 2004). En la teoría , todo los procesos de separación de membranas tienden hacer de bajo consumo de energía, pero en la práctica este no este el caso. Operan atraves de un mecanismo diferente a otros métodos de separación, por lo que presentan ventajas y desventajas únicas ( Crisostomo Ramirez Solis, 2017). La separación de membranas se usa comúnmente para tratar y reciclar sales metálicas en desechos producidos en procesos de galvanoplastia, recuperación de aceite usado, producción de alimentos, bebidas y extracción de hidrocarburos (Nemerow N, 1998).

* + 1. Electrodiálisis.

Proceso de membrana que separa los iones cargados mediante la aplicación de un campo eléctrico. Entre los diferentes proceso con membranas, la UF es un excelente tipo de proceso utilizado para separar la principal proteína del suero. Por lo tanto se han realizado muchas investigaciones para encontrar las condiciones óptimas de proceso para mejorar el rendimiento y la capacidad del sistema ( Crisostomo Ramirez Solis, 2017). Es una tecnología de descontaminación que puede eliminar componentes iónicos de soluciones acuosas utilizando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante (Guastalli y Llorens, 2005). Esta tecnología puede eliminar iones de impurezas cargados de hasta 0,0001µm, atraves de placas porosas o placas de técnica de intercambio iónico con baja permeabilidad relativa al agua(Taylor Wiesner , 2004). Tabla 2.



*Figura 1.* Esquema de la separación con membrana.

**Tabla 2**.

*Condiciones de la electrodiálisis en diferentes estudios como técnica para la eliminación de metales pesados.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ESPECIE** | **CONDICIONES** | | | | | **% Eficiencia de remoción** | **Ref.** |
| **pH** | **Concentración Inicial** | **tTr** | **Temperatura C°** | **Método y Complemento** |
| Cu+2 | 7 | 0,12,g/L;0,11 | 2h | 25 | Electrodiálisis de intercambio iónico hibrido, con un DVB entrecruzado grado variable de 2,4 y 8% | 41,33 y 31 | Mahuad el al; 2012 |
| Co+2 | 6 | 0,06-3,0 g/L | 3h | 25 | Membrana liquido Hybrid de 20 – 30 Um.Electrodialisis – proceso de electrolisis | >75 | Sadybaeva, 2014 |
| Cu+2Fe+2 | NA | 9.0g/L | 4 y 24h | 25 | Electrodiálisis para la separación de metales compartimiento de 5 celdas de 14 mm de espesor | 96, y 99,5 | Cifuentes et al; 2009 |
| Mo | 3-8 | 0,3 g/L | 1. 39 min | 25 | Separación de especies de molibdeno por electrodiálisis | 45,2 – 66.6 | Cifuentesm, et al; 2011 |

* + - 1. Osmosis Inversa.

La solución se concreta eliminando agua, el tamaño de este método esta entre 5 y 15 A, y se puede obtener un retenido con un contenido de solidos de hasta el 30%. Se trata de un proceso de premiación atraves de una membrana que se puede separar por difusión controlada, solo se puede seleccionar elementos de 0.0001mm, que tiene una amplia gama de capacidades de procesamiento (Nmerow y Dasgupta, 2015). En la tabla 3 se registran las condiciones observadas en estudios en que se emplea la osmosis inversa.

**Tabla 3.**

*Condiciones de la técnica de osmosis inversa en distintos estudios.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ESPECIE** | **CONDICIONES** | | | | | **% Eficiencia de remoción** | **Ref.** |
| **pH** | **Concentración Inicial** | **tTr** | **Temperatura C°** | **Método y Complemento** |
| B | 9 | 7000 – 15000 mg/L | NA | 25 | Ósmosis inversa en aplicaciones de desalación de agua de mar. Menbrana | 25 | Tu, et al; 2012 |
| Fe-2 | 5,5 – 8,5 | 20 mg/L | 4h | 12 – 29 | Ósmosis inversa (membrana AG2521TF 10 um) y la oxidación del concentrado por energía solar fotoFenton | 30 – 40 | Ioannou, et al; 2013 |
| Ni, Co | 7 | 240 mg/L | NA | 25 | Proceso de separación por membrana Dow Chemical | 99,6 | Guerreo, et al; 2006 |

* + - 1. Nanofiltración.

Este es un método de tratamiento de agua relativamente nuevo que puede separar partículas con un diámetro de poro de menos 0.001µm (1nm) y requiere una presión de funcionamiento de 10-50 bar en el lodo. La nano filtración puede detener sustancias neutras con peso molecular (Gnzalez M, y otros, 2006).

Estas características recomiendan la nanofiltración como una tecnología innovadora que puede ser ampliamente aplicada en el agua potable y el tratamiento de efluentes industriales. En la tabla 4 se presenta tres estudios de remoción de metales pesados mediante esta técnica.

**Tabla 4.**

*Técnicas de nanofiltración en diferentes estudios.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Esspecie** | **Condiciones** | | | | | **%Eficiencia de remoción** | **Refc** |
| **Ph** | **Concentración inicial** | **tTr** | **Temperatura** | **Método y complemento** |
| Pb2+ | 5,8 | 150 mg/L, 40 mg/L | 10h | 25 | Nanofitración recubrimiento de poliamida aromática en sustrato de polisulfato con poros 0,262 nm. | 98,5 – 96 | Gherasim, et al; 2013 |
| Fe, Al, Mg | 6-7 | 4920 mg/L, 3050 mg/L, 3400mg/L | 36h | 25 | Purificacipon de acido fosfórico por nanofiltracipon. Membrana de DS5 DL 0,5 nm. | 98 – 96 | González, el al; 2006 |
| Cd2+, Zn+2 | 2 – 11 | 80 mg/L | 4 – 24h | >20 -22 | Tartatro de sodio de potasio (PST) en un prceso de nanofiltracipon con membrana GE Osmosnic en poliamida aromatica | 95,5 – 98 | Liu – et al; 2012 |
| Mg2+, Li+ | 6 – 7 | 2000, 8000 mh/L | NA | 20 | Recuperación del Li con alta realacion de salmera con membrana NF 90 | 80,1 – 85 | Bi, et al; 2014 |

* + - 1. Ultrafiltración.

La ultrafiltración es un proceso de fraccionamiento selectivo que utiliza presiones de hasta 145 psi (10 bar). La ultrafiltración se usa ampliamente para la separación del suero y la separación de proteínas.

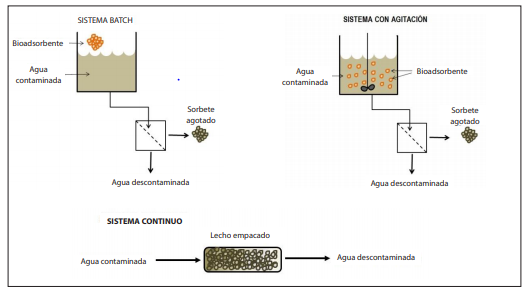
Concentrar sólidos en suspensión y solutos con un peso molecular 1000 µmas. . El permeado contiene solutos y sales orgánicos de bajo peso molecular (Alka M, Kulkarni S, & Mungray A, 2012). Tabla 5

***Tabla 5****.* Ultrafiltración en diferentes estudios para remover metales pesados.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **% Eficiencia de remoción** | **Ref** |
| **pH** | **Concentración Inicial** | **tTr** | **Temperatura** | **Métodos y complementos** |
| Cd2+¸Fe2+, Cu2+, Zn2+, Ni2+ | 6,5 | 20mM | 2,5h | Ambiente | Nanofiltracion micelar mejorada con nanoxictileno RO90 en contraste con dodecilsulfato de sodio (SDS) | >95 | Schwarze, et al; 2015 |
| Cd2+, Cu2+ | 3,5 – 4,5 | 0,4 - 0,7 mg/L, 0,4 – 0,6 mg/L | NA | 25 | Separación de Cd y Cu de aguas ricas en fosforo por ultrafiltración micela mejorada, membrana Amicon 8400 stirred cell, Millipore | 84,3 y 75,0 | Landaburu*, et al; 2011* |
| Cd2+ | 2 – 13 | 50 mg/L | NA | 5 – 45 | Evaluación de micelar mejorada ultrafiltración con agentes tensoactivos mixtos | 98 | Huang, *et al*; 2014 |

* + 1. Bioabsorción.

Se trata de un proceso físico y químico, que incluye la adsorción de moléculas e iones. Este método poco connacional busca principalmente eliminar .os metales pesados de las aguas residuales de la RA industrial mediante el uso de materiales de diferentes fuentes biológicos (Vivos o muertos) como adsorbentes, tales como: algas, hongos, bacterias, cascaras, productos agrícolas y cierto tipo de biopolímeros, este material alternativo requiere de materiales de bajo costo y se encuentra en mayor cantidad en la naturaleza. Además, se transforma el proceso de ser un biosorbente no es complicado y costoso.



***Figura 3.*** *Representación esquemática de tres sistemas para la descontaminación de agua residual empleando bioadsorbentes.*

El proceso de biosorción involucre una fase solida (biomasa) y una fase liquida (agua), que contienen la sustancia objetivo. (Iones de metales pesados en este caso que serán adsorbidas y disueltas. Para que el proceso de biosorcion se desarrolle con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y los contaminantes, pues los contaminantes deben ser adsorbidas por el sólido y combinados a través de diferentes mecanismos(Tejada Tovar, Villabona Ortiz, & Garces Jaraba, 2014). En la tabla 6, se establecen algunas ventajas y desventajas que presentan las biomasas vivas y muertas en el proceso de adsorción de metales pesado.

**Tabla 6.**

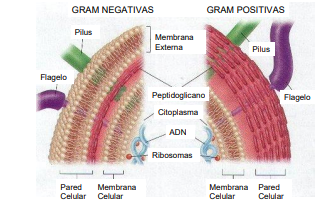
*Principales ventajas y desventajas del uso de biomasa vivan y muerta en el proceso de adsorción.*

|  |
| --- |
| Biomasa Inerte |
| Biomasa Viva |

|  |  |
| --- | --- |
| **Ventajas** | **desventajas** |
| No necesita nutrientes | Rápida saturación |
| Proceso de gobernados por limitaciones metabólicas | El secuestro por adsorción es sensible al pH |
| La selección de técnica de inmovilización no está gobernada por limitaciones de toxicidad | El estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente |
| Los metales pueden ser liberados fácilmente y recuperados | Las especies organometalicas no son susceptibles de degradación |
| Procesos rápidos y eficientes en la retirada de metales, la biomasa se comporta como un intercambiador de iones | La mejora de estos procesos biológicos es limitada, ya que las cellas no efectúan un metabolismo; la producción de agentes adsorbentes ocurre durante la etapa de crecimiento |
| Las células pueden llegar a saturarse, el sistema se autorrestablese debido al crecimiento | Se necesita nutrientes para el crecimiento |
| Los metales se depositan en un estado químico alterado | En necesario alimentar los flujos bajo condiciones fisicoquímicamente permisibles  Solo se pueden tratar los metales abajas concentraciones |
| Forma económica de lograr cambios en estado de valencia o degradar compuestos organimetalicos | Los productos metabólicos pueden formar complejos con los metales, impidiendo la precipitación |
| Se pueden mejorar las cepas por medio de aislamiento de mutantes o la manipulación genética, debido a que estas es una propiedad microbiana más que un producto bajo explotación | La recuperación de los metales por desorción es limitada, debido a que pueden formar uniones intracelulares  El modelo de un sistema no definido representa a grandes dificultades matemáticas |
| Se pueden emplear dos o más organismo de manera sinérgica | La deposición de los productos metabólicos y los nutrientes no consumidos |

* + - * 1. Gran positiva y Gran negativa.

En el reino bacteriano se pueden distinguir dos tipos de paredes celulares que, según el método de tinción Gram, pueden dividirlos organismos en bacterias Gram positivos y Gram negativo. En las bacterias Gran-positivas, la pared está compuesta por estructura de peptidoglicano, formando un material rígido, poroso y amorfo compuesto por ácido disacárido N-acetilglucisamina a-b-1,4-N-aacetilurico compuesto por cadena lineales. El peptidoglicano está unido covalentemente al acido higroscópico y el ácido teururonico, que contribuye a la naturaleza anionica de la pared. La proporción de los dependen de las condiciones de fosfato, se ha demostrado la capacidad de capturar los metales de estos ácidos, pero su función fisiológica es aportar magnesio a la membrana plasmática. La pared celular de las bacterias Gram positivas tiene un ancho de 50 a 150 nm y está compuesto principalmente por un 40 a 90% de peptidoglicano (Cloirec P & Andrés Y, 2005). Las paredes celulares de las bacterias Gram negativa parecen ser más delgadas, por lo general de 30 a 80 nm de espesor, y solo el 10% de material esta hecho de peptidoglican. La membrana más externa está compuesto de lipopolisacarido (LPS), fosfolípidos y una capa externa de proteína. La superficie altamente negativa de LPS(Volesky B & May-Phillips H, 1995).



**Figura 4.** Diferencias de composición en la pared celular Gran positiva y Gran negativa

Bioacumulacion: adsorción de las especies metálicos mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasas vivas.

*Bioadsorcion***:** adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico precipitación complejación o atracción electrostática.

En la tabla 7 se registran algunos de los principales materiales usados en diferentes investigaciones para la remoción de metales pesados en medios acuosos.

**Tabla 7*.***

*Materiales bioabsorbentes usados para la absorción de metales pesados.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo de absorbente** | **Biosorbente** |
| Organismos vivos | Penicillium  Aspergillus Rizopus  Paecilomyces |
| Biomasas | Cascara de tamarindo  Cascara de naranja  Cascara y semilla de manzana  Cebada (Hordecum vulgare) |
| Biopolímeros | Bentonita – Quitosano  Quitosano Epiclorhidrinatrifosfato |
| Carbones activados | Carbón activado a partir de Escherichia coli y carbón activado a partir de Arthrobacter viscous  Carbón activado a partir de cascara de naranja  Carbón activado a partir de cascara de coco |
| Modificaciones Químicas | Biomasa reticulada con glutaraldehido  Biomasa reticulada con cloruro de calcio  Biomasa modificada con ácido cítrico |
| Otros materiales | Arena  Zeolita  Cenizas volantes |

Se realizaron investigaciones donde diversos materiales orgánicos e inorgánicos fueron estudiados con el propósito de evaluar su potencial de absorción de materiales pesados en efluentes industriales, las microbianas (hongos, bacterias y algas) y los residuos agroindustriales (cascaras de frutas cítricas, cascara de manzana cascara de tamarindo entre otros) son los más estudiados hasta el momento.

El proceso de bioacumulación implica una primera etapa que es la bioabsorción, luego la siguiente otra etapa permiten el transporte de los contaminantes atreves de un sistema de transporte activo que permite el consumo de energía al interior de la célula, en la tabla 8 se pueden observar las ventajas y desventajas de ambos procesos.

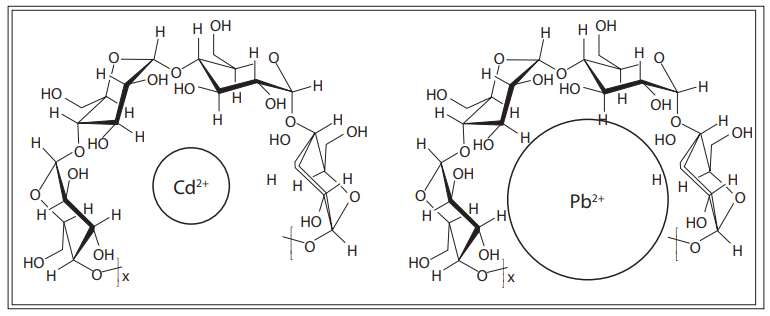
**Tabla 8.**

*Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos.*

|  |  |
| --- | --- |
| **Bioadsorción** | **Bioacumulación** |
| Proceso pasivo | Proceso activo |
| Biomasa sin vida | Biomasa con vida |
| Metales unidas a la superficie de la pared celular | Metales unidas a la superficie de la pared celular y acumulados en el interior de la célula |
| Proceso reversible | Proceso particularmente reversible |
| No requiere nutrientes | Requiere nutrientes |
| Rápido | Lento |
| No es controlado por el metabolismo | Controlado por el metabolismo |
| No se ve afectado por el efecto toxico de los contamines | Se ve afectado por el efecto toxico de los contaminantes |
| No hay crecimiento celular | Implica crecimiento celular |
| Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes mediante un proceso de desorción | Los metales no pueden recuperarse |
| La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción | La biomasa o puede recuperarse |

* + - 1. **Absorción (convencional).**

La dicha tecnología tiene las características de eliminar múltiples contaminantes, de alta capacidad, cinética rápida y posibles contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posible (J - s Kwon, Yun J , Lee S, Kim H, & Jo Y, 2010). El carbón activado, la zeolita, las perlas de arpillera, los desechos vegetales o lignocelulosicos son iguales adsorbentes generalmente con varios métodos de modificación química.

Suele utilizarse para eliminar colorantes iónicos, metales pesados, sustancias radiactivas y otros contaminantes orgánicos producidos por diferentes industrias(Osei Boamah, y otros, 2015).

**Figura 5.** *Adsorción de metales pesados por fragmentos de biopolímero a través de interacciones entre hidroxilos y los iones metálicos*

* + - 1. Carbón activado.

Un adsorbente eficaz que se utiliza para eliminar diversos contaminantes orgánicos del medio acuático. Debido a su área de superficie porosa que varían de 500 a 1.500 m2/g, la pretendencia de una amplia gama de superficies funcionales, se pueden utilizar diferente (Karnib M, Kabbani A, Holail H, & Olama Z, 2014). La tabla 9 muestra las condiciones de os tres estudios realizados con este método.

**Tabla 9.**

*Condiciones experimentales de algunos carbonos.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **%Eficiencia de remoción** |
| **Ph** | **Concentración Incial** | **tTr** | **Temperatura °C** | **pH** |
| Pb2+, Zn2+, Cu2+, Cd2+ | 5 | 10-180 mg/L | 24h | 20 | Carbono mesoporoso ordenado .CMK-3 | Desde 29 mg/g de Zn2+ a 177 mg/g de Pb2+ |
| Cr | 7,8 | 0,12 mg/L | 2min | Ambiente | Fe-BC (hierro a base de carbón de bambú) | >0.05 mg/L |
| Pb2+ | 4 | 100 Mg/L | 6h | Ambiente | Carbón activado procedente de huesos de vaca | 50% |
| Cu2+, Ni2+, Zn2+ | 5,5 | 10-100 mg/L | 5min – 20h | 20 - 40 | Carbón activado producido a partir de piedras tunecinas | 18.68 mg/g de Cu, 16,12 mg/g de Ni y 12,19 mg/g de Zn |

* + 1. **Intercambio iónico**.

Este es el proceso de transferir iones en la solución al sustrato sólido, y luego libera diferentes tipos de iones con la, misma carga. El intercambio de iones es un proceso de separación física en el que los iones intercambiados no cambian el valor del metal, la selectividad, produce una pequeña cantidad de lodo y cumple con la estrictas regulaciones de emisión (Zewail, T & Yousef N, 2015) . la tabla 10 muestra las condiciones de los tres estudios realizados con métodos químicos. La principal ventaja del intercambio iónico es la recuperación de metales.

**Tabla 10.**

*Condiciones experimentales de intercambio iónico a través de resinas.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Especie | Condiciones | | | | | % Eficiencia de remoción |
| pH | Concentración Inicial | tTr | Temperatura C° | Método y complemento |
| Fe2+, Cu2+, Zn2+, Cd2+Pb2+ | 4,5 | 24 – 58 mg/L | 4h | 25 | Resina THQA sintetizada por reacción de epoxi propil acido 8- hidroxiquinolina – 5- sulfonico | 60 - 90 |
| Cd2+ | 3 | 30mg/L | 26 | 26 | Adsorción y desorción de Cd (II) con resina D001 | 185.8 mg/g |
| Cr3+, Ni2+, Cu2+.Cd2+,Co2+ | 5 – 6 | 0,5 – 20 mM | 24h | 26 | Resina sintetizado en la reacción de polimetil vinil éter alt anhídrido maleico (MVE-alt – MA) , polímero con una base de Schiff | En un rango de 29,95 – 157,25 mg/g |

* + 1. **Nanotubos de carbón**.

Como nuevo tipo de adsorbente, ha recibido una gran atención debido a su excelente capacidad para eliminar diversos contaminantes inorgánicos y orgánicos en los radionúclidos de una gran cantidad de aguas residuales. Ciertas condiciones y propiedades del uso de nanotubos de carbón están relacionadas con la adsorción de diversos metales pesados en soluciones (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodriguez, & Sandoval, 2015). En la tabla 11resume algunas condiciones en que se han empleado los nanotubos de carbono y sus propiedades relacionadas con la adsorción de diversos metales pesados en soluciones acuosas.

**Tabla 11.**

*Condiciones experimentales de nanotubo de carbono con otros complementos*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **%eficiencia de remoción** |
| **pH** | **Concentración inicial** | **tTr** | **Temperatura C°** | **pH** |
| Co2+, Ca2+, Mg2+, Zn2+, Fe3+ | 6 | 0,8 mg/L, 4omg/L, 23mg/L, 0,2mg/\_L, 0,32mg/L respectivamente | 10 min | Ambiente | Diatomita tierra compuesto por el método de deposición de vapor químico | 91,3 |
| Zn2+ | 10 | 1,1 mg/L | 120 min | Ambiente | NCT (nanotubos de carbon funcionalizad) y BM (biocarbon magnética) | 99 NCT Y 75 BM |
| Zn,Cu, Ni | 5 | 60 mg/L Zn, 50 mg/L Cu, 40 mg/L Ni |  | Ambiente | Nanotubos de csrnono de pared multiple (MWCNT) impregnado con di –(2-etil hexilo ácido fosfórico) (D2EHPA) y oxido de fosfina de tri – n – octilo (TOPO) | Capacidad de absorción 4,9ng/g Cu, 4,78mg/g Ni, 4,8ng/g Zn |

tTr: Tiempo de tratamiento.

* 1. **Técnicas No Convencionales.**

Diversos estudios han demostrado que es posible desarrollar materiales con suficiente capacidad de adsorción a partir de fuentes naturales, reduciendo o eliminado los contaminantes metálicos y orgánicos contenidos en las aguas residuales.

Los adsorbentes no convencionales (verdes o bioadsorbentes) se producen mediante el uso de materiales de desecho de la alimentación y la agricultura; estos son residuos de frutas, residuos vegetales, y planta (Valladares, Valerio, Cruz, & Melgoza, 2016).

* + 1. Adsorbentes de bajo Costo y nuevas adsorbentes.

La adsorción es un proceso de trasferencia de masa mediante el cual las sustancias se transfieren de la basce liquida a la superficies sólidas.

El proceso de adsorción en realidad describe un conjunto de procesos, que incluyen relaciones de adsorción y precipitación .recientemente, la adsorción se ha convertido en una de las tecnologías de tratamiento alternativas para las aguas residuales que contienen metales pesados El (Wan Nagah, Teong L, & Hanafiah M, 2011). Se utiliza una amplia gama de materiales biológicos, especialmente bacterias, algas levaduras y hongo. Estos materiales biológicos han atraído la atención de del reciclaje de metales pesados por su buen rendimiento, bajo costo y gran disponibilidad (Anastopoulos I & Kyzas G, 2015).

* + 1. Adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industrias.

El proceso de adsorción ha sido ampliamente utilizado por varios investigadores para eliminar metales pesados. Las corrientes de desechos y el carbón activado se utilizan a menudo como adsorbentes. En los últimos años, la demanda de métodos seguros y económicos para eliminar metales pesados del agua contaminada requerido investigación para producir alternativas de bajo costo disponibles comercialmente. En la tabla 11 se destacan 3 métodos de remoción por catálisis y absorción o eliminación de metales pesados, utilizando residuos industriales, desechos agrícolas y minerales. Igualmente se destacan 2 métodos de remoción por fotocatálisis y absorción para eliminación simultánea.

Por lo tanto, existen una necesidad urgente de explorar todas las posibles fuentes de adsorbentes de bajo costo basados en la agroindustria, y sede estudiar en detalles la factibilidad de eliminar metales pesados (Ahmed, 2013).

***Tabla 11*.**

*Adsorción o eliminación de metales pesados, utilizando residuo industrial, desechos agrícolas y minerales.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **% Eficiencia de remoción** |
| **pH** | **Concentración final** | **tTr** | **Temperatura C°** | pH |
| Cr3, Cu2, pb2+, Zn2 | 5 | 110 mg/L; 110mg/L; 80 mg/L; 80 mg/L | 45 min | Ambiente | Utilización de residuos industriales de celulosa y papel “lodo de cal y cenizas de caldera” | 93; 99; 96; 99 |
| Fe, Pb,Cu,Ni | 6 a 7 | 60 mg/L | 2h | Ambiental | Desecho agrícolas como adsorbentes “cascarilla de arroz” | 99,25;67,917; 98,177; 98,954 |
| Cr3+ , Zn2+, Pb2+ | 4,05; 6,93; 3,86 | 30mg/L; 30mg/L; 80mg/L; 10mg/L | 2h | Ambiente | Vermiculitas y el efecto de la precipitación | 100; 99,7; 99,1; 98,38 |

* + 1. Fitorremediación.

Se basa en el uso de plantas para degradar o convertir diversos tipos de contaminantes orgánicos (como los hidrocarburos) en sustancias menos toxicas. Utilizando plantas y microrganismo del suelo relacionados para reducir la concentración. O los efectos toxico de contaminantes en el medio ambiente. Esta una tecnología relativamente nueva que se considera rentable, eficiente, ecológica y tecnología solar, estos son ampliamente reconocidos por el público.

* + - 1. Fitovolatización. **Algunas plantas pueden evaporar ciertos contaminantes del suelo, las sed o el agua, como el mercurio y el selenio. Dichos contaminantes se adsorben, metabolizan, transportan desde la raíz hasta la parte superior y se liberan a la atmosfera en forma volátiles, menos toxica o peligrosa en comparación con u forma oxidada.**

**Tabla 12.1*.***

*Ventajas y desventajas de la fitorremediacion (Polorasert, 1996; Raskin y Ensley, 2000). (corregir a tabla)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Ventajas** | | **Desventajas** | |
| Es una tecnología sustentable.  Es eficiente para tratar diversos tipos contaminantes *in situ*  Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.  Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía  Es poco perjudicial para el ambiente.  No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho  Tiene una alta posibilidad de ser aceptada por el publico, ya que es estéticamente agradable | | Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como arboles o arbustos)  Es dependiente de las estaciones  El crecimiento de la vegetación puede estar limitada por extremos de la toxicidad ambiental  Los contaminates acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño(especies perennes)  Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión  No todas las plantas son tolerantes a acumuladoras. |

Estas tecnologías de planta tienen muchas ventajas sobre los métodos físicos y químicos ultimados actualmente, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo(Delgadillo A, Gnzalez C, Prieto F, Villagomez J, & Acevedo O, 2011). La tabla 13 resume una descripción general de las tecnologías de fitorreacción utilizadas para restaurar las aguas residuales contaminadas.

***Tabla 13.*** Condiciones experimentales con diversos fitoplánctones.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Especie | Condiciones | | | | | % eficiencia de remoción |
| pH | Concentración Inicial | tTr | Temperatura | pH |
| Pb2+,Cd2+, Zn2+ | 4.84 | No se midio concentración inicial | 3h | Ambiente | Biomasa de *Eichhornia crassipes* | Capacidad de sorción 26, 32mg/g Pb12, 60mg/g Cd 12,55mg/g Zn |
| Cd2+, Pb2+ | 5 | 5,0g/L | 12h | Ambiente | Jacinto de agua seca-raíces | 75%para Cd y más de 90% plomo |
| Ni, Zn | - | 10g – 3 cada uno | 12h | Ambiente | Corriente de productos de pirolisis. *Sorghum bicolor (L)* | 99%Ni y 98% Zn |
| Cu, Cd, Cr, Ni, Fe, Pb, Zn | 9 - 11 | 3 a 7,2 mg/L | 14 días | Ambiente | *P. australis* y *T*. *latifolia* en microcosmo | 78Cu, 60 Cd, 68,1 Cr, 73.8 Ni, 80 Fe, 61 Pb, y 61 Zn |
| Cd2+ | 8 | - | 10 días | Ambiente | Fitoplaton marino Chateeros alitrans | 1. g |

* + 1. Biopolímeros.

Pueden reducir la concentración de iones metálicos y se utilizan ampliamente biopomeros naturales 100% biodegradables muy ecológicos que pueden eliminar una variedad de contaminantes. Suspensión y disolución (orgánica e inorgánica) que se encuentra en las corrientes de AR (ya sea debido de la industria provocada por el agua de la lluvia o el tratamiento de aguas residuales). Tienen hidroxilo y aminas, que aumentan la evidencia de absorción de iones metálicos. Tabla 14

**Tabla 14.**   
Condiciones experimentales para remover iones de metales pesados empleando biopolímeros.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **% Eficiencia de remoción** | **Ref.** |
| **pH** | **Condiciones Inicial** | **tTr** | **Temperatura °C** | **pH** |
| Zn2+, Cu2+,Cd2+,Pb2+ | 5,5 a 6,5 | 0,05g de adsorbente y 50ml de sln de iones de metal en concentraciones de 100 a 1000mg/L | 30min | 25 – 30 | Biopolímeros celulósico injerto a copolimeros | 38,44,46 y 48 respectivamente | Singha & Guleria, 2014 |
| Cr3+, Cr6+ | 2 | 50 ppm Cr y 0,1g absorbente / 50m L sln | 6h | Ambiente | Lignina- quitosano alcalino | 88 - 95 | Nair *et al;*2014 |
| Cd2+, Cu2+, As5+ | 6,5 a 7,5 | 50ppm | 1 a 2h | Ambiente | Quitosano Reticulado | Capacidad de absorción de 150,164 y 230 mg/g | Crini.2005 |
| Cd2+, Cu2+,Ni2+ | 5 a 6 | 5g absorbente en sln 30ppm de metales | 10h | Ambiente | Aserrín injertado a poliacrilamida carboxílada | 98, 98 y 97 | Gaey, *et al*; 2010 |

* + 1. **Hidrogeles**.

Son polímeros reticulados hidrófilos que pueden expandir su volumen debido debido a su alta hinchabilidad en el agua y se utilizan ampliamente en la purificación de aguas residuales.

Se han sintetizado barios hidrogeles y también se ha estudiado comportamiento de adsorción de metales pesados. El uso de residuos a base de colágeno representa otra opción para producir hidrogeles compuestos con propiedad de absorción mejoradas (Barakat, 2011). En la tabla 15 se presenta 3tres casos de estudios**.**

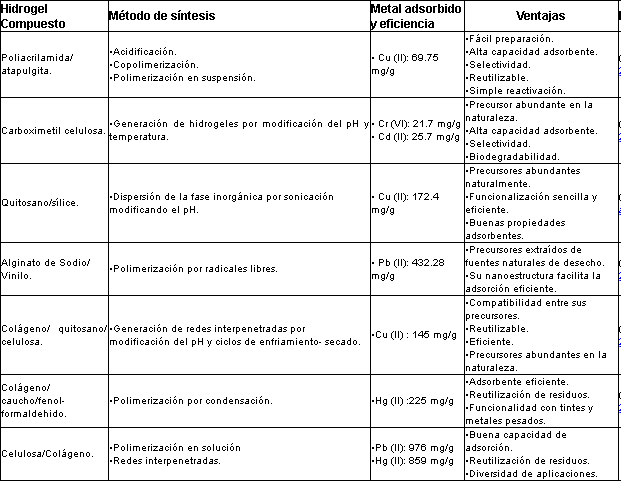
**Tabla 15.**

*Empleo de hidrogeles para remover metales pesados y sus condiciones.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Especie** | **Condiciones** | | | | | **%Eficiencia de remoción** | **Ref.** |
| **pH** | **Concentración inicial** | **tTr** | **Temperatura °C** | **pH** |
| Cu2+, Pb2+, Cd2+, Cr3+ | 4 a 6 | 100 ppm | 24h | 22 | Hidrogel funcionalisado con sulfrido | Capacidad de absorción 9.3,31.3,17.7,5.2 mg/g respectivamente | Hua & Li, 2014 |
| Cu2+, Cd2+, Pb2+,Ni2+, Cr3+ | 7 | 0,2 tramos de nano absorbente en uso de iones metálicos a 50 ppm | 2h | Ambiente | Incorporación de thiacalix areno tetrasufnato y Fe3O4 en nano partículas de alginato de sodio (Nanogel) | 90.5,94.5, 99. 8, 75,67.4 y 79.2% respectivamente | Mansour, et al, 2014 |
| Cu2+, Zn2+, Fe3+, Cd2+, Cs+ | 5 a 6 | 2 – 80 mM CuSO4 | 3 días | Ambiente | Hidrogel de celulosa preparada utilizando disolvente LiOH/ urea | 98%, 200, 100, 110 y 130 mg/g respectivamente | Isobe, et al, 2013 |

La red polimérica del Sistema de hidrogel está conectada por enlaces de hidrogeno, de modo que estos biopolímeros pueden conformarse para formar un hidrogel compuesto. Los precursores tienen una amplia compatibilidad. El porcentaje máximo de absorción de estos materiales es 0.47 mmol/g. sin embargo, a partir de este estudio, se puede determinar que al aumentar la porción de colágeno de 1/1/1 a 2/1/1, el rendimiento de adsorción de iones de Cu se ha mejorado significativamente, por lo tanto los iones metálico presentes en el colágeno con la alta capacidad de adsorción, abriendo la posibilidad de aplicar materiales basados en este biopolímero a aplicaciones industriales

**Figura 6.**

*Hidrogeles compositos para la eliminación de metales en agua.*

1. Conclusiones.

Debido a los efectos peligrosos de estos residuos y al incremento de estas fuentes de agua, el monitoreo y control de las emisiones industriales se presentan un avance evolutivo y demuestra que el control de metales pesados a aumentado significativamente. El tratamiento de varios componentes permite eliminar eficazmente los metales pesados. Se espera el desarrollo de tecnología y nuevos materiales, mejore la eficiencia del proceso de adsorción y absorción con el fin de reducir los costos de energía, haciéndolo efectivo y sostenible. Los biosorbentes pueden ser materiales de flora microbiana, algas, plantas y productos agrícolas industriales.

La aplicación de materiales no convencionales en el tratamiento de aguas residuales, para la adsorción y remoción de metales no ferrosos aún están en la etapa inicial. Existen muchos informes sobre la capacidad de adsorción de tejidos vegetales, como semillas, troncos de árboles, hoja y tallos. La naturaleza y la característica de la superficie de los materiales naturales depende varios aspectos como la fuente o el tipo de fuente, la época de recolección o cosecha, el estado de madurez, la calidad y el tratamiento previo del material, puede evitar la generación de residuos potencialmente tóxicos, como su ex :3

Cuando se aumenta la biodisponibilidad de los metales pesados mediante la adición de combustores o extractantes (formando compuestos solubles que son fácilmente absorbidos por las plantas), se puede optimizar el proceso de fitorremediacion, como parte de la estrategia de resistencia o decodificación, las plantas pueden reducir, eliminar, mineralizar, complicar, redistribuir y acumular metales; los agentes quelantes más importantes son la fitoquelatina y la metalotioneina, que juegan un papel en la homeostasis y decodificación de los metales.

# **Referencias**

Crisostomo Ramirez Solis. (2017). Separacion de especies de molibdeno por electrosialisi. En C. R. Solis, *Chemical Engineering Communications.* (págs. 198-805-814). España.

Ahmed, H. (2013). Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. *HBRC Journa*, 9,276-282.

Alka M, A., Kulkarni S, S., & Mungray A, A. (2012). Removal of heavy metals from wastewater using micellar enhanced ultrafiltration technique. *a review. Central European Journal of Chemistry*, 10 (1), 27 - 46.

Anastopoulos I, A., & Kyzas G, C. (2015). Progress in batch biosorption of heavy metals onto algae, Journal of Molecular Liquids. 209, 77-86.

Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry* , 4. 361 - 377.

Breird Peral . (2008). Quimica Ambiental. Editorial Reverte. *University of Western Ontario*, 622.

Caviedes Rubio, D., Muñoz Calderon, R., Perdomo Gualtero, A., Rodriguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. (2015). Tramiento para la remocion de metales esados comunmente presentes en aguas residuales industriales . *Ingenieria y Region*, 73 - 90.

Cloirec P, & Andrés Y. (2005). Bioremediation of heavy metals using microorganisms. En: Bioremediation of Aquatic and Terrestrial Ecosystem. *Science Publishers. India.*, 97 - 140.

Delgadillo A, Gnzalez C, Prieto F, Villagomez J, & Acevedo O. (2011). fitorremedacion: una alternativa para eliminar la comtaminacion . *tropical and Agroecosystems*, 597 - 612.

Dominech y Peral. (2012). Quimica ambiental de sisteamas terrestres. En D. y. Peral, *Quimica ambiental de sisteamas terrestres* (pág. 239). Barcelona, Esapaña.

Fu Wang. (2011). Removal of heavy metal ions from wasterwaters. En *Journeal of Environ mental Management.* españa.

Gnzalez M, M., Navarroa R, K., Saucedoa I, C., Avilaa M, F., Pradanosb P, F., Palaciob L, F., . . . Hernandez A, A. (2006). Effect of phosphoric and hydrofluoric acid on the charge density of a nanofiltration membrane. *Desalination*, 200,362 - 363.

Guastalli y Llorens. (2005). Trends in Electrochemistry and Corrosion the Beginning of the 21st Century. En *Application of Electrodialysis on Recovering Phosphoric Acid From an Industrial Rinsecwatwe.* (pág. 220). barcelona.: universidad de barcelona.

J - s Kwon, P., Yun J , H., Lee S, O., Kim H, Z., & Jo Y, H. (2010). Removal of divalent heavy metals (Cd,Cu, Pb, and Zn) and arsenic (III) from aqueous solutions using scoria: kinetics and equilibria of sorption. *J. Hazard. Mater*, 1-3, 307- 13.

Karnib M, M., Kabbani A, S., Holail H, H., & Olama Z, S. (2014). Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia*, 113-120.

Nemerow N, J. (1998). *Tratamiento de Vertidos Industriales Peligrosos.* Madrid.

Nmerow y Dasgupta. (2015). Tratamiento de vertidos Industriales peligrosos. En N. y. Dasgupta, *Tratamiento de vertidos Industriales peligrosos.* (pág. 822). Madrid: Dias de Santos.

Osei Boamah, P., Huang Y, R., Hua M, M., Zhang L, S., Wu J, Q., Onumah J, P., . . . Osei P, P. (2015). Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivatives—A mini-review. *Ecotoxicologyand Environmental Safety*, 16, 113 - 120.

Spiro Stigiliani. (2013). Quimica Medioambiental. En Spiro, *Quimica Medioambiental* (pág. 504). 2° Edicion, pearson Prentice Hall.

Taylor Wiesner . (2004). Manual de suministros de agua Comunitaria. En T. y. Wiesner, *Calidad y Tratamiento de Agua.* (págs. 707-779). McGraw Hill. Madri.

Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A., & Garces Jaraba, L. (2014). Adsorcion de metales pesados en aguas residuales usand materiales de origen biologico. *Tecno Logicas*, 109 - 123.

Valladares Cisnero, M., Valerio Cardenas, C., Cruz Burelo, P., & Melgoza Aleman, R. (2016). Adsorventes no - Convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residules. *Universidad de Medellin*, 1- 19.

Volesky B, & May-Phillips H. (1995). Biosorption of heavy metals by Saccharomyces cerevisiae. *Applied Microbiology y Biotechnology*, 797 -806.

Wan Nagah, A., Teong L, B., & Hanafiah M, P. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites. *A review, Carbohydrate Polymers*, 83, 1446 - 1456.

Zewail, T, T., & Yousef N, J. (2015). Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. *Alexandria Engineering Journal*, 54,83 - 90.

1. [↑](#footnote-ref-1)