



Tecnura

ISSN: 0123-921X

ISSN: 2248-7638

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Gómez Aguilar, Dora Luz; Esteban Muñoz, Javier Andrés; Baracaldo Guzmán, Deisy

Tecnologías no convencionales para la remoción de plomo
presente en aguas residuales: una revisión bibliográfica 2010-2019

Tecnura, vol. 24, núm. 64, 2020, Abril-Junio, pp. 97-116

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15849>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257064476008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UAEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Tecnologías no convencionales para la remoción de plomo presente en aguas residuales: una revisión bibliográfica 2010-2019

Unconventional technologies for the removal of lead present in wastewater: a 2010-2019 bibliographical review

Dora Luz Gómez Aguilar¹ , Javier Andrés Esteban Muñoz² ,
Deisy Baracaldo Guzmán³ 

Fecha de recepción: 01 de octubre de 2019 **Fecha de aceptación:** 05 de Febrero de 2020

Cómo citar: Gómez-Aguilar, D.L., Esteban-Muñoz, J.A. y Baracaldo-Guzmán, D. (2020). Tecnologías no convencionales para la remoción de plomo presente en aguas residuales: una revisión bibliográfica 2010-2019. *Tecnura*, 24(64). 97-116 <https://doi.org/10.14483/22487638.15849>

RESUMEN

Objetivo: El presente artículo de revisión tuvo como objetivo realizar una indagación bibliográfica de artículos científicos en revistas locales, nacionales e internacionales en el periodo de 2010 a 2019, con relación a las tecnologías no convencionales (biopolímeros, biorremediación y residuos agroindustriales) que se han empleado en la remoción de plomo (Pb), presente en aguas residuales sintéticas o industriales.

Metodología: La investigación adoptó un modelo investigativo de corte cualitativo, de tipo exploratorio. Los aspectos metodológicos

correspondieron a la indagación y elección de artículos científicos (para cada una de las tecnologías no convencionales seleccionadas) del periodo 2010-2019, teniendo como criterio palabras clave; posteriormente, se realizó un análisis de esos contenidos y se diligenciaron dos matrices realizadas en Excel.

Resultados: La revisión bibliográfica permitió observar que: en primer lugar, con relación a las tecnologías no convencionales con mayor tendencia en investigación, empleadas en la remoción de plomo, se encuentran los residuos agroindustriales, seguidos por la biorremediación y por último los biopolímeros, para lo cual se hal-

¹ Licenciada en Química, Magíster en Biología con énfasis en Fitoquímica, Doctora en Desarrollo Sostenible, Docente de la Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Contacto: dgomez@pedagogica.edu.co.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5722-9063>

² Tecnólogo en Química Aplicada a la Industria. Tecnólogo en Electricidad Industrial. Licenciado en Química. Candidato a Magíster en Docencia de la Química, Maestrante de la Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Contacto: dqu_aestebanm214@pedagogica.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1158-4091>

³ Magíster en Tecnologías de la Información Aplicada a la Educación. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Contacto: dbaracaldo@pedagogica.edu.co.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0866-6822>

laron y seleccionaron 19 para el primero, 13 para el segundo y 9 para el último. De igual forma, los países que han reportado resultados investigativos alrededor de las tecnologías no convencionales seleccionadas, corresponden a: China, Colombia, Corea, Egipto, España, Francia, India, Indonesia, Irán, Nigeria, Malasia, México, Perú, Rumania, Serbia, Singapur y Zimbabue; en contraste, las publicaciones seleccionadas se encuentran en su gran mayoría ubicadas a nivel internacional. Por último, los porcentajes de remoción más alto del orden del 100 % se presentaron con los residuos agroindustriales (para lo cual se han investigado 24); seguido del 98 %, con la biorremediación (donde se han investigado algas rojas y seis cepas de bacterias), y finalmente, los biopolímeros, con 95,32 % (donde el quitosano, el almidón, la queratina, las conchas de caracol y las plumas, se han investigado).

Conclusiones: Las tecnologías no convencionales con mayor tendencia en investigación y aplicación en matrices de aguas residuales industriales, de acuerdo con periodo 2010-2019, corresponden a los residuos agroindustriales; de igual forma, la mayoría de aguas residuales en las que han sido aplicados estos métodos corresponde a las sintéticas, lo que conlleva a exponer que estas deben comenzar a ser implementadas a nivel industrial o un pilotaje, para observar su eficiencia en la remoción de metales pesados, y de forma particular el plomo.

Financiamiento: La investigación llevada a cabo no recibió financiación.

Palabras clave: aguas residuales; plomo; remoción; tecnologías no convencionales.

ABSTRACT

Objective: The objective of this review article was to carry out a bibliographic inquiry at the level of scientific articles in local, national and

international journals in the period from 2010 to 2019, in relation to unconventional technologies (biopolymers, bioremediation, and agroindustrial waste) that they have been used in the removal of lead (Pb), present in synthetic and / or industrial wastewater.

Methodology: The research adopted a qualitative, investigative model of exploratory type. The methodological aspects carried out corresponded to the inquiry and choice of scientific articles (for each of the unconventional technologies selected) in the period from 2010 to 2019, based on keywords; subsequently, an analysis of their content was carried out and two matrices performed in Excel were filled out.

Results: The bibliographic review carried out allowed us to observe that: firstly, in relation to the unconventional technologies with the greatest tendency in research, used in the removal of lead, agroindustrial residues are found, followed by bioremediation and finally biopolymers, for which they found and selected 19 for the first, 13 for the second, and for the last nine. Similarly, the countries that have carried out and reported research results around the selected unconventional technologies correspond to: China, Colombia, Korea, Egypt, Spain, France, India, Indonesia, Iran, Nigeria, Malaysia, Mexico, Peru, Romania, Serbia, Singapore and Zimbabwe; in contrast, the selected publications are mostly located internationally. Finally, the highest removal percentages of the order of 100% were presented with agroindustrial wastes (for which 24 have been investigated), followed by 98% with bioremediation (where red algae and six strains of bacteria have been investigated) and finally, biopolymers, with 95.32% (where chitosan, starch, keratin, snail shells and feathers, have been investigated).

Conclusions: The unconventional technologies with greater tendency in research and application in industrial wastewater matrices, ac-

According to the 2010-2019 period, correspond to agroindustrial waste; In the same way, the majority of wastewater in which these types of methods have been applied correspond to the synthetic ones, which leads to exposing that these must begin to be implemented at an industrial level or a pilot, to observe their ef-

iciency in the removal of heavy metals, and particularly lead.

Financing: The investigation carried out did not receive funding.

Keywords: Wastewater; lead; removal; unconventional technologies.

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos del siglo XXI es mitigar el impacto ambiental producido por los metales pesados provenientes de actividades antropogénicas de sectores industriales, como: explotaciones mineras, fotografía, cerámicas, pinturas, galvanoplastia, electrónica y curtiembres, entre otras (León, Córdoba y Carreño, 2016; Gómez et al., 2019). Esto se debe a que dichos contaminantes inorgánicos no se biodegradan, se bioacumulan y se biomagnifican a lo largo de la cadena trófica, trayendo impactos negativos al ecosistema (Londoño-Franco, Londoño-Muñoz y Muñoz-García, 2016).

De acuerdo con lo anterior, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) son trece los metales pesados con mayor incidencia en la salud y en el ambiente, entre los cuales se encuentran: Hg, Pb, Cr, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, As, Cd, Ni, Sn y Fe. Por esta razón, universidades como Columbia y Yale, desde 1999, han desarrollado sistemas de evaluación de desempeño ambiental, entre los cuales se encuentra el indicador de desempeño ambiental (EPI, por su sigla en inglés), el cual permite medir las políticas ambientales de 180 países, los cuales deben relacionarse con las metas propuestas de los Objetivos del Desarrollo

lo Sostenible, promulgados en la Agenda 2030 (Ojeda, Spoor y Estrada, 2017).

Por esta razón, los metales pesados se han convertido de uno de los 24 indicadores del EPI, que forman parte del objetivo y de la política de salud ambiental; de ellos, el único metal que se tiene referenciado por su alto grado de toxicidad y por las repercusiones en la salud, en contraste con los trece catalogados por la OMS, corresponde al plomo. Esto se debe a que, dicho contaminante inorgánico ha sido clasificado como una amenaza ambiental (por su prevalencia en el agua, suelo y aire) y la salud de mujeres embarazadas y niños (Wendling et al., 2018), y la medición en la exposición a este metal se emplea el número de años de vida ajustados por discapacidad estandarizados por edad (AVAD) que se pierden por cada 100 000 personas, debido a este riesgo. Teniendo en cuenta este último aspecto, y lo mencionado anteriormente, la población infantil es sensible a esta sustancia, dado que puede absorber de cuatro a cinco veces más que un adulto, lo cual puede ocasionar problemas cognitivos como retraso mental, dificultades de aprendizaje, trastornos de conducta, anemia, daño en los riñones y el cerebro, debilidad muscular. Para el caso de las mujeres en etapa de embarazo, puede llevar a malformaciones fetales, nacimientos prematuros e, incluso,

a producir abortos espontáneos (Abadin et al., 2007; Wendling et al., 2018).

El plomo (Pb) es un metal de número atómico 82, masa atómica 207,20 g/mol, ubicado en el grupo 14, el cual tiene 38 isótopos, 2 estados de oxidación usuales, 2+ y 4+ y 514 minerales a nivel de la corteza terrestre que contienen este elemento en su composición química (Barthelmy, 2014). A nivel de sus aplicaciones se encuentran: baterías, metalurgia, industria farmacéutica, pigmentos, tuberías (ATSDR, 2007).

En cuanto a las repercusiones a la salud que puede ocasionar una exposición prolongada al plomo se encuentran: daño en los riñones, el sistema nervioso central (SNC) y el esperma, hemorragias retinianas y neuritis del nervio óptico, abortos espontáneos, y efectos negativos sobre el aprendizaje y el comportamiento en los niños (ATSDR, 2007; Abadin et al., 2007). En contraste, una de las enfermedades profesionales desarrollada por este metal, y que en el contexto de Colombia se encuentra contemplada en el Decreto 2566 de 2009, corresponde al saturnismo.

Con relación a los límites máximos permisibles (LMP - mg/L Pb), para el caso de las aguas residuales, se tienen establecidos particularmente para las industrias de curtiembres a nivel de algunos países del continente suramericano, así: Guayaquil y Guatemala (0,2) (Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente de Guayaquil, 2004; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, 2005); Perú (0,5) (Sedapal, 2009); para Colombia, Venezuela y Brasil no se contempla en las regulaciones correspondientes.

Para el caso de EE. UU., el LMP es de 0,10 mg/L Pb (U.S. Environmental Protection

Agency, 2014); en el continente europeo, Finlandia, Grecia e Indonesia no lo contemplan en sus regulaciones, a diferencia de Madrid y Bangladesh que exponen un LMP de 1,0 y 0,1, respectivamente (Consejería de Presidencia y Portavocía del Gobierno Comunidad de Madrid, 2005; UNEP, 1999).

En complemento, atendiendo al EPI, cabe indicar que de acuerdo con la métrica de 2018 dada por la Universidad de Yale, los países que lideran el manejo adecuado de la contaminación producida por el plomo están: Suecia, Alemania, Japón y Finlandia; esto se debe a que han mejorado las regulaciones y mecanismos de monitoreo en la salud humana y ambiental, a diferencia de países como Afganistán, Haití, Pakistán y Bangladesh, que se encuentran catalogados como rezagados en la exposición a Pb, dado que en sus actividades industriales continúan empleando este metal, sin implementar políticas rigurosas que conlleven al aseguramiento de la salud de las personas expuestas, así como el manejo de los residuos generados y que incorporen dicho metal (Wendling et al., 2018).

Por otra parte, entre los métodos de remoción reportados para el Pb se encuentran las tecnologías convencionales, como: adsorción con carbón activado, precipitación química (en soluciones alcalinas, precipitando como $Pb(OH)_4$) y coagulantes inorgánicos. De igual forma, las tecnologías avanzadas empleadas son: filtración por membrana, ultrafiltración, microfiltración, electrodiálisis, electrocoagulación, ósmosis inversa, intercambio iónico y cementación (Caviedes et al., 2015; García V., García U. de Plaza, 2016). Estas dos técnicas, aunque son muy eficientes, presentan también ciertas desventajas como: alto costo en su

implementación y mantenimiento en sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), generan una cantidad considerable de lodos contaminados con el metal removido y, a su vez, no son asequibles económicamente para las diferentes industrias que empleen este metal en sus procesos.

Por esta razón, la presente investigación se enfocó en realizar una revisión bibliográfica entre el periodo de 2010 a 2019, con relación a las tecnologías no convencionales (también conocidas como verdes o limpias, (Amaringo y Hormaza, 2018), que se han empleado

para la remoción de Pb (II), presente en aguas residuales sintéticas o industriales. El interés de los autores por indagar estas técnicas se debe a que, en comparación con los métodos anteriormente mencionados, son de fácil adquisición, implementación y mantenimiento en los STAR, no generan un volumen de lodo considerable y a su vez son biodegradables, lo cual permite que sean reutilizados como compostaje; entre los métodos no convencionales indagados se encuentran: biopolímeros, biorremediación y residuos agroindustriales; esto con el fin de analizar su aplicación en matrices reales.

Tabla 1. Biopolímeros empleados en la remoción de plomo presentes en aguas residuales (2010-2019)

Año	Revista	País	Autor	Tipo de bio polímero	Fuente	Ref.
2019	Royal Society of Chemistry	India	Manzoor K, Ahmad M, Ahmad S, Ikram S	Quitosano modificado	Manzoor et.al. (2019)	[4]
2019	AIP Conference Proceedings	Malasia	Nurul Huda Baharuddin, Nik Meriam Nik Sulaiman, Mohamed Kheireddine Aroua, Mohd Ghazali Mohd Nawawi, Mohd Azraai Kassim, Mohd Roslee Othman, y Irvan Dahlan	Almidón	Baharuddin et al. (2019)	[1]
2019	Sustainable Environment Research	Morocco	Ablouh E, Hanani Z, Eladlani N, Rhazi M, Taourirte M	Microesferas de quitosano con alginato de sodio	Ablouh et al. (2019)	[7]
2014	Chemical Engineering Journal	China	Kong J, Yue Q, Sun S, Gao B, Kan Y, Li Q, Wang Y	Residuos de Queratina	Kong J et al. (2014)	[5]
2016	Environmental Technology & Innovation	India	Anantha R, Kota, S.	Plumas Dromaius novaehollandiae (DNF) y Quitosano	Anantha y Kota (2016)	[8]
2016	Scientific Reports	China	Li B, Zhou F, Huang K, Wang Y, Mei S, Zhou Y, Jing T	Polietilenimina	Li et al. (2016)	[9]
2012	2nd International Conference on Environment and BioScience	Singapur	Michelle Castañeda, Ma. Stalin Mirasol, Lora Elaine Raymundo, Judilyn Solidum	Conchas de caracol de agua dulce Melanoides tuberculata Muller (Family Thiaridae)	Castañeda et al. (2012)	[2]
2010	African Journal of Biotechnology	Nigeria	Bamgbose J. T, Adewuyi S, Bamgbose O. y Adetoye A. A.	Quitosano	Bambose et al. (2010)	[3]
2010	Journal Environmental Sciences	Malasia	Wan Ngah W, Fatinathan S	Quitosano y derivados	Wan Ngah y Fatinathan (2010)	[6]

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Variables óptimas de remoción para plomo presente en aguas residuales empleando biopolímeros

Tipo de biopolímero	Metal pesado	Especie química	Tipo de agua residual	Volumen agua residual (ml)	Concentración inicial del contaminante (mg/l)	pH óptimo (unidades de pH)	pH PCC	Tiempo de contacto óptimo (min.)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Dosis biopolímero (g/l)	Agitación (rpm)	Modificación química	Modelo cinético	Isoterma de absorción
Almidón no modificado	Pb	II	Sintética	250	10	2,0 a 5,0	NA	NE	26	NE	0,5	NE	NA	NE	NE
Conchas de caracol	Pb	II	Sintética	100	2	5,5	NA	480	27 a 30	0,25 mm	50	NE	NA	Pseudosegundo orden	NA
Quitosano	Pb	II	Sintética	25	100 a 1000	4,5	NA	NE	25	0,35 – 0,5 mm	4	180	NA	NE	Themkin
Quitosano modificado	Pb	II	Sintética	NE	50	6,5	NA	60	42	NE	NE	NE	Con modificación química	Pseudosegundo orden	Langmuir
Residuos de queratina	Pb	II	Sintética	NE	25 - 150	5,5	NA	NE	NE	50 - 60 malla	1	160	Con modificación química	Pseudosegundo orden	Langmuir
Quitosano y derivados	Pb	II	Sintética	50	10	4,5	7,29	100	NE	0,3269 m ² /g Sup.	1	400	Con modificación química	NE	Langmuir y Freundlich
Quitosano modificado	Pb	II	Sintética	NE	300	3 a 5	6,6	NE	20 - 55	área	NE	NE	Con modificación química	NE	Langmuir
	Pb	II	Sintética	50	20	4,0	NA	70	30	NE	6	180			
Plumas <i>Dromaius novaehollandiae</i> (DNF) y Quitosano	Pb		Sintética				NA						Con modificación química	Pseudosegundo orden	Freundlich
Gelatina con Polietilenimina	Pb	II	Sintética	20	10 a 50	6,0	NA	720	NE	NE	10	200	Con modificación química	Pseudosegundo orden	Langmuir

*NA: no aplica

**NE: no específica

Fuente: elaboración propia.

Metodología: La investigación llevada a cabo fue de tipo exploratoria-cualitativa, dado que los autores realizaron una revisión bibliográfica.

Los criterios de búsqueda de artículos tuvieron presentes las siguientes palabras clave: tecnología no convencional, plomo, absorción, remoción, biopolímeros, biorremediación y residuos agroindustriales. Posteriormente, se elaboraron dos matrices en Excel para analizar los contenidos de acuerdo con los escritos seleccionados; para la primera matriz, se observó año del artículo, revista, país, autor(es), tipo de tecnología no convencional, fuente bibliográfica; por último, para la segunda matriz, los aspectos a analizar correspondieron a: tipo de tecnología no convencional, especie química, tipo y volumen de agua residual, concentración inicial del contaminante, pH óptimo de remoción, tiempo de contacto óptimo, temperatura, tamaño de partícula, dosis, agitación, modificación química, modelo cinético e isoterma de adsorción, capacidad máxima de adsorción y porcentaje de eficiencia.

RESULTADOS

Biopolímeros empleados en la bioadsorción de Plomo

De conformidad con lo expuesto, en la tabla 1 se observa que los países que han reportado más investigaciones en torno a los biopolímeros, como tecnologías no convencionales en la remoción de plomo presente en aguas residuales, corresponden a India, Malasia, China, Singapur y Nigeria; de igual forma, los

reportes investigativos se han expuesto en revistas internacionales.

De acuerdo con los resultados expuestos en las [tablas 1 y 2](#), y según la revisión bibliográfica realizada entre 2010 y 2019, correspondiente a artículos científicos relacionados con la remoción de Pb empleando biopolímeros, se seleccionaron nueve documentos.

Dentro de los biopolímeros que se han investigado, de esos nueve, se encuentran cinco artículos relacionados con quitosano; tres de ellos con modificación química donde la eficiencia de remoción osciló entre 95 % a 95,3 %, mientras que el quitosano sin modificación química la eficiencia fue del 80 %, lo que indica que las modificaciones químicas mejoraron la eficiencia por encima de un 15%.

Adicionalmente, las capacidades de máxima adsorción fueron más altas también con el quitosano modificado entre 182,5 a 189 mg/g.

Por otro lado, dos artículos, de los nueve seleccionados, relacionaron a la queratina con porcentajes de remoción del 93,5%, con una capacidad de máxima adsorción entre 32,36 y 70,42 mg/g; los valores difirieron, dado que las dosis empleadas del bioadsorbente fueron de 1 g/l y 6 g/l, respectivamente.

Por último, los dos artículos restantes hacen referencia a dos biopolímeros como el almidón y la gelatina con polietilenimina, cuyos porcentajes de remoción corresponden al 80 % y 89,9 %, respectivamente, y la capacidad de máxima adsorción solo fue reportada en la gelatina modificada con un valor de 80,6 mg/g.

Biorremediación empleada en la bioadsorción de plomo

Tabla 3. Algas, levaduras, hongos y bacterias empleadas en la bioadsorción de plomo presente en aguas residuales (2010-2019).

Año	Revista	País	Autor	Tipo de bio polímero	Fuente	Ref.
2018	PLOS ONE	China	Feng C.L., Li, J., Li, X., Li, K.L., Luo, K., Liao, X.S.	<i>Verticillium insectorum</i> J3	Feng et al. (2018)	[14]
2018	Cremosphere	China	Wen, X., Du, C., Zeng, G., Huang, D., Zhang, J., Yin, L., Tan, S., Huang, L., Chen, H., Yu, G., Hu, X., Lai, C., Xu, P., Wan, J.	<i>Bacillus licheniformis</i>	Wen et al. (2018)	[17]
2017	Biotechnology Reports	India	Kalita, D. y Joshi, S.	<i>Pseudomonas</i> sp. W6	Kalita D. y Joshi S. (2017)	[16]
2016	Int. J. Pharm. Sci	India	Das, M. y Kumari, N.	<i>Enterobacter</i> sp. y <i>Klebsiella</i> sp.	Das M. y Kumari N. (2016)	[11]
2016	Int. J. Environ.	India	Ojoawo, S.O., Rao, C.V. y Goveas, L.C.	<i>Brevibacterium</i> sp.	Ojoawo, S.O., Rao, C.V y Goveas, L.C. (2016)	[13]
2015	BioMed Research International	España	Muñoz, A., Espínola, F., Moya, M., Ruiz, E.	<i>Klebsiella</i> sp.	Muñoz et al. (2015)	[10]
2015	Indian Journal of Geo-Marine Sciences	India	Kumar, D., Santhanam, S., Jayalakshmi, T., Nandakumar, R.S., Ananth, A., Shenbaga, D., Balaji, P.	<i>Chlorella marina</i>	Kumar D. et al. (2015)	[22]
2015	Water Science & Technology	China	Ye, J., Xiao, H., Xiao, B., Xu, W., Gao, L., Lin, G.	<i>Alga roja Porphyra leucosticta</i>	Ye et al. (2015)	[18]
2014	Advances in Chemistry	Egipto	Hassan, H.H., Ali El-Shaar, Essam Khamis y El-Sayed Mansour	<i>Enteromorpha algae and its silicates bonded material</i>	Hammud et al. (2014)	[21]
2014	Ciencia e Ingeniería Neogranadina	Colombia	Lisette Vizcaíno Mendoza y Natalia Fuentes Molina	<i>Algas rojas</i>	Vizcaino y Fuentes (2014)	[12]
2012	J. Environ Biol.	India	Kumar, J.I. y Oammen, C.	<i>Algas Spirogyra hyalina</i>	Kumar y Oommen (2012)	[20]
2011	Journal of Medicinal Plants Research	Irán	Imani, S., Rezaei-Zarchi, S., Hashemi, M., Borna, H., Javid, A., Mohamad, Z., Hossein, A.	<i>Alga Dunaliella</i>	Imani et al. (2011)	[19]

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Variables óptimas de bioadsorción para plomo, empleando algas, levaduras, hongos y bacterias en aguas residuales.

Tipo de biopolímero	Metal pesado	Especie química	Tipo de agua residual	Volumen agua residual (ml)	Concentración inicial del contaminante (mg/l)	pH óptimo (unidades de pH)	Tiempo de contacto óptimo (min)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Dosis biopolímero (g/l)	Agitación (rpm)	Modificación química	Modelo cinético	Isotherma de absorción
<i>Klebsiella sp.</i>	Pb	II	Sintética	50	25	5		30	NA	0,4	200	NA	Pseudosegundo orden	Langmuir
<i>Enterobacter sp.</i> / <i>Klebsiella sp.</i>	Pb	II	Sintética	100	200	4	2880	33 a 37	NA	NE	180	NA	NE	NE
<i>Algas rojas</i>	Pb	II	Sintética	100	2,2	4,5	180	28	NA	50	200	NA	NE	NE
<i>Brevibacterium sp.</i>	Pb	II	Sintética	2000	NE	6,5 - 6,8	1440	37	NA	1,0 - 8,0	120	NA	NE	NE
<i>Verticillium insectorum</i> J3	Pb	II	Sintética	1000	250	4	4320 - 11520	30	NA	2	120	NA	NE	NE
<i>Pseudomonas sp.</i> W6	Pb	II	Sintética	5	20	NE	720	25	NA	NE	120	NA	NE	NE
<i>Bacillus licheniformis</i>	Pb	II	Sintética	100	200	6	720	30	NA	0,7	150	NA	Pseudosegundo orden	Langmuir
<i>Alga roja Porphyra leucosticta</i>	Pb	II	Sintética	50	10	8	120	30	NA	15	150	NA	NE	NE
<i>Alga Dunaliella</i>	Pb		Sintética	100	40	NE	240	30	NA	NE	NE	NA	NE	NE
<i>Algas Spirogyra hyalina</i>	Pb	II	Sintética	NE	20 - 80	NE	120	NE	NA	NE	180	NA	NE	Freundlinch
<i>Alga Enteromorpha</i>	Pb	II	Sintética	25	300	3	120	25	NA	12	200	NA	Pseudosegundo orden	Langmuir
<i>Chlorella marina</i>	Pb	II	Doméstica	1000	0.198	4	NE	25	NA	NE	NE	NA	NE	NE

Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que las metodologías investigativas dilucidadas en los reportes muestran su aplicación en matrices de aguas residuales sintéticas. En la [tabla 3](#), se observa que los países que han reportado más investigaciones en torno a la biorremediación, como tecnologías no convencionales en la remoción de plomo presente en aguas residuales, son: India, China, Colombia, Corea, Egipto, España, Irán; de igual forma, los reportes investigativos se han expuesto en revistas internacionales y una nacional.

De acuerdo con los resultados de las [tablas 3 y 4](#), de la revisión bibliográfica realizada entre 2010 y 2019,

correspondiente a artículos científicos relacionados a la remoción de plomo empleando la biorremediación, se seleccionaron doce. De estos, seis hacen referencia a investigaciones con algas rojas, cinco a bacterias y los restantes a levaduras y hongos.

En cuanto a las eficiencias reportadas en algas, se encontró que estas oscilan entre el 87 % y 97,3 %, mientras que a nivel de las bacterias el intervalo se encuentra entre el 0 % al 98 %, donde cero se reportó con la especie *Brevibacterium* sp. y el 98 % con la *Bacillus licheniformis*.

Tabla 5. Residuos agroindustriales que se han empleado en el tratamiento de aguas residuales que contienen plomo (2010-2019).

Año	Revista	País	Autor	Tipo de bio polímero	Fuente	Ref.
2010	Revista de la Sociedad Química del Perú	Perú	Carmencita Lavado Meza, María del Rosario Sun Kou, Salvador Bendezú	Astillas de eucalipto (carbón activado)	Lavado, Sun y Bendezú (2010)	[28]
2010	Journal of Applied Sciences and Environmental Management	Irán	Asrari, E., Tavallali, H. y Hagshenas, M.	Cascarilla de arroz	Elham, Hossein y Mahnoosh (2010)	[33]
2011	Chemical Engineering Journal	México	J. Cruz-Olivares, C. Pérez-Alonso, C. Barrera-Díaz, R. Natividad, M.C. Chaparro-Mercado	Pimienta de Jamaica (residuo obtenido de la	Kalita D. y Joshi S. (2017)	[16]
hidrodestilación del aceite)	Cruz et al. (2011)	[30]	Das, M. y Kumari, N.	Enterobacter sp. y Klebsiella sp.	Das M. y Kumari N. (2016)	[11]
2013	American Journal of Analytical Chemistry	Zimbabwe	Mambo Moyo, Linda Chikazaza	Biomasa de borla de maíz	Moyo y Chikazaza (2013)	[41]
2014	Revista de la Sociedad Química del Perú	Perú	María del Rosario Sun-Kou, Daniel Obregón Valencia, Ángela Pinedo Flores, Ana Lucía Paredes, Javier Aylas Orejón	Semillas de aguaje	Sun et al (2014)	[26]
2014	African Journal of Environmental Science and Technology	Nigeria	I.E. Agbozu y F.O. Emoruwa	Cáscara de coco	Agbozu y Emoruwa (2014)	[31]
2014	American Journal of Environmental Protection	Nigeria	Nwankw Ogonna Daniel, Ewuim Sylvanus Chima, Mogbo Tochukwu Chinedu	Cáscara de melón	Nwankw, Ewuim y Mogbo (2014)	[37]

Fuente: elaboración propia.

2015	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers	Serbia	Marija Petrović, Tatjana Šoštarić, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Marija Stanojević, Slavka Stanković	Raw corn Silk	Petrović et al.(2015)	[23]
2015	Prospect	Colombia	Candelaria Tejada Tovar, Erika Ruiz Paternina, Jorge Gallo Mercado, Jason Moscote Bohorquez	Bagazo de palma africana	Tejada et al. (2015)	[24]
2015	Revista Acta Agronómica	Colombia	Jose Herney Ramirez Franco y Maryeni Karina Enríquez Enríquez	Pseudotallo de plátano (Lignina)	Ramírez y Enríquez (2015)	[27]
2011	Journal of Medicinal Plants Research	Irán	Imani, S., Rezaei-Zarchi, S., Hashemi, M., Borna, H., Javid, A., Mohamad, Z., Hossein, A.	Alga Dunaliella	Imani et al. (2011)	[19]
2015	Microporous and Mesoporous Materials	Francia	L. Largitte, T. Brudey, T. Tant, P. Couespel Dumesnil, P. Lodewyck	Semillas de Guayaba (Carbón activado)	Largitte et al. (2015)	[32]
				Cáscaras de almendras tropicales (Carbón activado)		
				Piedras de Dindé (Carbon activado)		
2015	Journal of Industrial and Engineering Chemistry	Zimbabwe	Mambo Moyo, Upenyu Guyo, Grace Mawenyiyo, Ngceboyakwethu P.Zinyama, Benias C.Nyamunda	Cáscara de semilla de marula (Sclerocarya birrea)	Moyo et al. (2015)	[35]
2015	World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering	Nigeria	W. E. Igwegbe, B.C. Okoro y J.C. Osuagwu	Tronco leñoso de papaya (Carica papaya)	Igwegbe, Okoro y Osuagwu (2015)	[40]
2017	New Biotechnology	Romania	Irina Morosan, Carmen Teodosiu, Carmen Padurar, Dumitrita Ibanescu, Lavinia Tofan	Biomasa de colza (Brassica napus L.)	Morosan et al. (2017)	[36]
2018	Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial	Colombia	Candelaria Tejada Tovar, Jorge Gallo Mercado, Jeison Moscote, Ángel Villabona, Diofanor Acevedo Correa	Bagazo de palma africana	Tejada et al. (2018)	[25]
				Cáscaras de ñame		
2018	Applied Water Science	India	Poonam, Sushi Kumar Bharti y Narendra Kumar	Bagazo de la caña de azúcar (Biochar)	Poonam, Kumar y Kumar (2018)	[29]
2018	Journal of Environmental Chemical Engineering	Indonesia	Eddy Herald, Witri Wahyu Lestari, Diah Permatasari, Devita Dwi Arimurti	Residuos del jugo de manzana	Herald et al. (2018)	[34]
				Residuos de tomate		
2018	International Journal of Engineering and Technology (IJET)	Colombia	Candelaria Tejada Tovar, Angel Villabona Ortiz, Diofanor Acevedo Correa, Norida Pajaro Gómez, María Otero Amor	Cáscara de limón (Citrus limonum)	Tejada et al. (2018)	[38]
2019	Chemical Engineering Transactions	Malasia	Abdul Rahman Abdul Rahim, Nurul Ekmi Rabat, Khairirahanna Johari, Norasikin Saman y Hanapi Mat	Residuos de coco desecados	Abdul et al. (2019)	[39]

Tabla 6. Variables óptimas del proceso de remoción de plomo, empleando residuos agroindustriales

Tipo de residuo agrícola	Metal pesado	Especie química	Tipo de agua residual	Volumen agua residual (ml)	Concentración inicial del contaminante (mg/l)	pH óptimo (unidades de pH)	pH PCC (punto de carga cero)	Tiempo de contacto óptimo (min)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Dosis biopolímero (g/l)	Agitación (rpm)	Modificación química	Modelo cinético	Isoterma de adsorción	Capacidad de máxima adsorción (q máx.) (mg/g)	% de eficiencia	Ref.
Raw corn silk	Pb	II	Sintética e Industrial (Minería)	250	200	200	6.0	120	25	1.357 m ² /g	1.0	250	N/A	Pseudosegundo orden	Freundlinch	90	88,5	[23]
Bagazo de palma africana	Pb	II	Sintética	NE	100	100	N/A	10	25	1 mm	5.0	150	Ácido cítrico	Elovich	Langmuir	461	99.56	[24]
Bagazo de palma africana	Pb	II	Sintética	500	100	100	N/A	150	25	0.5 mm	20.0	200	Ácido cítrico	Thomas	Langmuir	62.63	98.04	[25]
Cáscara de ñame	Pb	II														44.56	99.20	
Semillas de aguaje	Pb	II	Sintética	20	2-80	2-80	2.55	240	25	2.6 nm			H3PO4	Pseudosegundo orden	Redlich Peterson	74.80	NE	[26]
Pseudotallo de plátano (lignina)	Pb	II	Sintética	NE	124 - 207	124 - 207	N/A	30	25	0.30 cm ³ /g	2.5	NE	H2SO4	NE	BET	23.27	55.25	[27]
Astillas de eucalipto (Carbón activado)	Pb	II	Sintética e Industrial	50	50-500	50-500	3.0	180	25	761.1 m ² /g	1.0	500	H3PO4	Pseudosegundo orden	Langmuir	142.10	99.70	[28]
Bagazo de la caña de azúcar (Biochar)	Pb	II	Industrial fabricación de bacterias	10000	2.393 ± 0.030	2.393 ± 0.030	N/A	140	25±3	12.628 ± 0.30 m ² /g	5.0	120	Pirólisis 300°C/2.5h	Pseudosegundo orden	Langmuir	12.741	75.38	[29]
Pimienta de Jamaica (Pimenta dioica L. Merrill)	Pb		Sintética	NE	25	25	N/A	90	35	0.836 mm	1.0	200	N/A	Pseudosegundo orden	Langmuir	22.37	95.50	[30]
Cáscara de coco	Pb	II	Sintética	50	0.09	0.09	N/A	60	25	120 mm	24.0	NE	N/A	NE	Langmuir	0.00039	81.10	[31]
Semillas de guayaba (Psidium Guajava)	Pb	II	Sintética Doméstica				9.60							Pirólisis 800 °C/2h	Elovich	96		
Cáscaras de almendras tropicales (Acrocomia karukerana)	Pb	II		1000	90	90		6000	30	1000 m ² /g	0.5	NE		Bangham	Khan	112	100	[32]

Fuente: elaboración propia.

Tipo de residuo agrícola	Metal pesado Especie química	Tipo de agua residual	Volumen agua residual (ml)	Concentración inicial del contaminante (mg/l)	pH óptimo (unidades de pH)	pH PCC (punto de carga cero)	Tiempo de contacto óptimo (min)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Dosis biopolímero (g/l)	Agitación (rpm)	Modificación química	Modelo cinético	Isoterma de absorción	Capacidad de máxima adsorción (q máx.) (mg/g)	% de eficiencia	Ref.
Piedras de Dindé (Terminalia Catappa)	Pb					6.80								Langmuir-Freundlinch	50		[33]
Cascarilla de arroz	Pb	II Industrial (lácteos)	30	0.05	9.0	N/A	60	25±1	NE	33.0	NE	N/A	NE	Langmuir	0.6216	96.80	[34]
Residuos del jugo de manzana	Pb	II Sintética	25	20 - 100	4.0	N/A	60	25	100 mm	4.0	120	NaOH	Pseudosegundo orden	Langmuir	108	94.00	[35]
Residuos del tomate	Pb						90								152		
Cáscara de semilla de marula (Sclerocarya birrea)	Pb	II Sintética e Industrial (fabricación de celdas redondas)	50	1000	5.0	N/A	60	20	150 µm	10.0	4000	N/A	Pseudosegundo orden	Langmuir	20	97.40	[36]
Biomasa de colza (Brassica napus L.)	Pb	II Sintética e Industrial	1000	1000	5.2	4.0	180	NE	0.1-0.2 mm	12.0	NE	N/A	Pseudosegundo orden	Langmuir	21.29	94.47	[37]
Cáscara de melón (Citrullus colocynthis)	Pb	II Sintética	1000	1000	NE	N/A	10	25	250-500 µm	0.5	150	H2SO4	Pseudosegundo orden	Langmuir	NE	100	[38]
Cáscara de limón (Citrus limonum)	Pb	II Sintética	1000	100	6.0	N/A	310		0.500 mm		200	Ácido cítrico	Pseudosegundo orden	Freundlinch	19.56 1.21	97.78 93.83	
Residuos de coco desecados	Pb	II Sintética	25	50	6.0	N/A	1440	30	150 - 300 µm	1.0	200	N/A	Pseudosegundo orden	Langmuir	55.86	NE	[39]
Tronco leñoso de papaya (Carica papaya Linnaeus)	Pb	II Sintética	100	50	5.9	N/A	180	25	2.50 mm	10.0	160	N/A	N/E	N/E	NE	NE	[40]
Biomasa de borla de maíz	Pb	II Industrial y Sintética	100	10	5.4	N/A	60	25±1	100 - 300 µm	1.2		H2SO4	Pseudosegundo orden	Langmuir	37.31	93.9	[41]

Por último, con relación al parámetro de capacidad de máxima absorción el que reportó un mayor valor fue con la bacteria *Klebsiella* sp con 140,19 mg*g⁻¹. Cabe resaltar que las metodologías investigativas dilucidadas en los reportes investigativos muestran su aplicación en matrices de aguas residuales sintéticas.

En la [tabla 5](#), se observa que los países que han reportado más investigaciones en torno a los residuos agroindustriales, como tecnologías no convencionales en la remoción de plomo presente en aguas residuales, corresponden a Colombia, Nigeria, Perú, India, Indonesia, Francia, Irán, Malasia, México, Rumania, Serbia y Zimbabue. De igual forma, los reportes investigativos se han expuesto en revistas internacionales y nacionales, y que este tipo de tecnologías son las de más tendencia en investigación según la indagación realizada, donde son 24 residuos agroindustriales los que se han investigado, y que su aplicación se ha dado tanto en aguas residuales sintéticas y industriales (para algunos).

Con relación a las [tablas 5 y 6](#), ha sido amplio cada uno de los residuos agrícolas empleados para la remoción de plomo, entre los cuales se encuentran desde semillas, cáscaras de diferentes frutas, bagazo, pseudotallo de plátano, astillas de un material vegetal, residuos de diferentes jugos, entre otros. A su vez, con respecto a las variables óptimas de adsorción se presenta que los residuos agrícolas de mayor eficiencia con un 100 % se reportan las semillas de guayaba y cáscara de melón y alrededor del 98 % al 99 % se encuentran las astillas de eucalipto, la cáscara de ñame y el bagazo de palma africana.

CONCLUSIONES

1. Al realizar un comparativo entre los tres tipos de tecnologías no convencionales (biopolímeros, biorremediación y residuos agroindustriales) se observa que las publicaciones que más se han reportado son las de los residuos agroindustriales con respecto a las demás. A su vez, es importante indicar que los porcentajes de mayor eficiencia con un 100 % corresponden a las semillas de guayaba y la cáscara de melón, seguidas de las técnicas de biorremediación con porcentajes del 98 % y la de biopolímeros entre el 80 % al 95 %.
2. Es importante indicar que, para obtener los porcentajes altos de remoción para los metales pesados, es necesario optimizar cada una de las variables en las técnicas no convencionales como el pH, la temperatura, el tamaño de partícula, el tiempo de contacto, la cantidad de biomasa, el tiempo de agitación y la concentración inicial de la solución del contaminante.
3. Las cinéticas de adsorción que se reportaron en las tres técnicas no convencionales se encuentran las de pseudosegundo orden, Elovich, Thomas y Bangham.
4. Las isotermas de adsorción que se reportaron en las tres técnicas no convencionales se encuentran las de Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Themkin y Khan.
5. Al llevar a cabo este tipo de revisiones, se pretende que las industrias que viertan plomo en sus aguas resid-

uales apliquen este tipo de tecnologías, por sus altos porcentajes de remoción, de fácil adquisición, económicos y, lo más importante, cumplan las normas ambientales y que no generen más impactos negativos al ecosistema.

FINANCIAMIENTO

La presente investigación no recibió financiamiento.

REFERENCIAS

- Abadin, H., Ashizawa, A., Stevens, Y.W. et al. (2007). Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Statement. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158768/>
- Abdul Rahim A.R., Rabat N.E., Johari K., Saman N. y Mat H. (2019). Removal of lead (ii) ions from aqueous solution using desiccated coconut waste as low-cost adsorbent. *Chemical Engineering Transactions*, 72, 169-174 DOI: 10.3303/CET1972029
- Ablouh, E., Hanani, Z., Eladlani, N. et al. (2019). Chitosan microspheres/sodium alginate hybrid beads: an efficient green adsorbent for heavy metals removal from aqueous solutions. *Sustainable Environment Research*, 29. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0004-9>
- Agbozu, I.E. y Emoruwa, F. (2014). Batch adsorption on heavy metals (Cu, Pb, Fe, Cr and Cd) from aqueous solutions using coconut husk. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 8(4). <https://doi.org/10.5897/AJEST2013.1577>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2007). Toxicological profile for lead (Update). Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Anantha, R. K., & Kota, S. (2016). Removal of lead by adsorption with the renewable biopolymer composite of feather (*Dromaius novaehollandiae*) and chitosan (*Agaricus bisporus*). *Environmental Technology & Innovation*, 6, 11–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.04.004>
- Amaringo, F. y Hormaza A. (2018). Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica. *Revista Tecnura*, 22(56), 13-28. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12961>
- Asrari, E., Tavallali, H. y Hagshenas, M. (2010). Removal of Zn (II) and Pb (II) ions Using Rice Husk in Food Industrial Wastewater. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(4), 159-162. <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view-File/63306/51190> DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v14i4.63306>
- Baharuddin, N.H, Meriam, N., Sulaiman, N., Aroua, M.K., Ghazali, M., Nawawi, M., Kassim, M.A., Othman, M.R. e Dahlan, I. (2019). Starch as novel water soluble biopolymer in removal mixtures heavy metal ions via polymer enhanced ultrafiltration. *AIP Conference Proceedings* 2124, 030012. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5117134>

- Bamgbose, J.T., Adewuyi, S., Bamgbose O. y Adetoye A.A. (2010). Adsorption kinetics of cadmium and lead by chitosan. *African Journal of Biotechnology*, 9(17), 2560-2565.
- Barthelmy, D. (2014). Webmineral database. Recuperado de: <http://www.webmineral.com/chem/Chem-Pb.shtml#.Xi3T0U9KgY0>
- Castañeda, M., Mirasol, M., Raymundo, L. y Solidum, J. (2012). Biosorption and Desorption of Lead (Pb+2) from Simulated WasteWater Using Freshwater Snail Shells, *Melanoides tuberculata* Muller (Family Thiaridae). 2nd International Conference on Environment and BioScience IPCBEE, (44). DOI: <https://doi.org/10.7763/ipcbee>
- Caviedes Rubio, D.I., Muñoz Calderón, R.A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D. y Sandoval Rojas, I.J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una Revisión. *Revista de Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Consejería de Presidencia y Portavoz del Gobierno Comunidad de Madrid (2005). Ley 10/1993, sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento. Madrid. Recuperado de: http://www.madrid.org/wleg_public/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf?opcion=VerHtml&nmnorma=374&cdestado=P#no-back-button
- Cruz-Olivares, J., Pérez-Alonso, C., Barrera-Díaz, C., Natividad, R. y Chaparro-Mercado, M.C. (2011). Thermodynamical and analytical evidence of lead ions chemisorption onto Pimenta dioica. *Chemical Engineering Journal*, 166(3), 814-821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.041>
- Das, M. y Kumari, N. (2016). A microbial bioremediation approach: Removal of heavy metal using isolated bacterial strains from industrial effluent disposal site. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 38(1), 111-114. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/c4ad/b17bd924bb31d-185f86a6883a4cff2fdd0f7.pdf>
- Feng, C., Li, J., Li, X., Li, K., Luo, K. y Liao X.S. et al. (2018). Characterization and mechanism of lead and zinc biosorption by growing *Verticillium insectorum* J3. *PLoS ONE*, 13(12), e0203859. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203859>
- García Vaca, M. C., García Ubaque, C. A., y de Plaza Solórzano, J. S. (2016). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación. *Revista Tecnura*, 20(47), 107-117. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a09>
- Gómez, D. L., Rodríguez, J. P., Esteban, J. A., y Betancur P., J. F.. (2019). Coffee Pulp: A Sustainable Alternative Removal of Cr (VI) in Wastewaters. *Processes*, 7(403), 1-12. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr7070403>
- Hammud, H.H., El-Shaar, A., Khamis, E. y Mansour, E.S. (2014) Estudios de adsorción de plomo por algas *deromante* y sus materiales unidos de silicatos.

- Avances en Química, 2014, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/205459>
- Heraldry, E., Lestari, W.W., Permatasari, D. y Arimurti, D.D. (2018). Biosorbent from tomato waste and apple juice residue for lead removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 1201-1208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.026>
- Igwegbe, W.E., Okoro, B.C. y Osuagwu, J.C. (2015). Use of Carica papaya as a bio-sorbent for removal of heavy metals in wastewater. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 9(12), 1400-1404.
- Imani, S., Rezaei-Zarchi, S., Hashemi, M., Borna, H., Javid, A., Mohamad, Z. y Hossein, B.A. (2011). Hg, Cd and Pb heavy metal bioremediation by Dunaliella alga. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(13), 2775-2780.
- Kalita, D. y Joshi, S.R. (2017). Estudio sobre biorremediación de plomo por exopolisacárido productor de bacteria metalofílica aislada de hábitat extremo. *Biotechnology Reports*, 16, 48-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.11.003>
- Kong, J., Yue, Q., Sun, S., Gao, B., Kan, Y., Li, Q. y Wang, Y. (2014). Adsorption of Pb(II) from aqueous solution using keratin waste – hide waste: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies. *Chemical Engineering Journal*, 241, 393-400. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.070>
- Kumar Dinesh, S.P., Santhanam, T., Jayalakshmi, R., Nandakumar, S., Ananth, A., Shenbaga, D. y Prasath, B. (2015). Excessive nutrients and heavy metals removal from diverse waste waters using marine microalga Chlorella marina (Butcher). *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 44(1), 97-103X-XX.
- Largitte, L., Brudey, T., Tant, T., Dumesnil, P.C. y Lodewyckx, P. (2016). Comparación de la adsorción de plomo por carbonos activados de tres precursores lignocelulósicos. *Materiales Microporosos y Mesoporosos*, 219, 265-275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.07.005>
- Lavado Meza, C., Sun Kou, M. y Bendezú, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(2), 165-178.
- Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente de Guayaquil (2004). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Guayaquil. Recuperado de: <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/ReformaAnexo28feb2014FINAL.pdf>
- León A., A., Córdoba R., J.C. y Carreño S., U.F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), 141-153. DOI: [10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10)
- Li, B., Zhou, F., Huang, K., Wang, Y., Mei, S., Zhou, Y. y Jing, T. (2016). Highly efficient removal of lead and cadmium during wastewater irrigation using a polyethylenimine-grafted gelatin

- sponge. *Scientific Reports*, 6(1). DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33573>
- Londoño Franco, L.F., Londoño Muñoz, P.T. y Muñoz García, F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. DOI: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Manzoor, K., Ahmad, M., Ahmad, S. y Ikram, S. (2019). Removal of Pb(ii) and Cd(ii) from wastewater using arginine cross-linked chitosan-carboxymethyl cellulose beads as green adsorbent. *RSC Advances*, 9(14), 7890-7902. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9RA00356H>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (2005). Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores: Acuerdo Gubernativo No. 66-2005. Guatemala.
- Morosanu, I., Teodosiu, C., Paduraru, C., Ibanescu, D. y Tofan, L. (2017). Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapeseed biomass. *New Biotechnology*, 39, 110-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.08.002>
- Moyo, M. y Chikazaza, L. (2013). Bioremediation of Lead(II) from Polluted Wastewaters Employing Sulphuric Acid Treated Maize Tassel Biomass. *American Journal of Analytical Chemistry*, 4(12), 689-695. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajac.2013.412083>
- Moyo, M., Guyo, U., Mawenyiyo, G., Zinyama, N.P. y Nyamunda, B.C. (2015). Marula seed husk (*Sclerocarya birrea*) biomass as a low cost biosorbent for removal of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 126-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.12.026>
- Muñoz, A.J., Espínola, F., Moya, M. y Ruiz, E. (2015). Biosorption of Pb(II) Ions by *Klebsiella* sp. 3S1 Isolated from a Wastewater Treatment Plant: Kinetics and Mechanisms Studies. *BioMed Research International*, 2015, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/719060>
- (II) Ions by *Klebsiella* sp. 3S1 Isolated from a Wastewater Treatment Plant: Kinetics and Mechanisms Studies. *BioMed Research International*, 2015, 1-12. DOI: 10.1155/2015/719060 <https://doi.org/10.1155/2015/719060>
- Ngah, W.S.W. y Fatinathan, S. (2010). Pb(II) biosorption using chitosan and chitosan derivatives beads: Equilibrium, ion exchange and mechanism studies. *Journal of Environmental Sciences*, 22(3), 338-346. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60113-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60113-3)
- Nwankwo, D., Sylvanus Chima, E. y Tochukwu, M. (2014). Comparative study of the Bioadsorption of Cadmium and lead from industrial waste water using melon (*citrullus colocynthis*) husk activated with sulphuric acid. *American Journal of Environmental Protection*, 1(1), 1-8. DOI: 10.11648/j.ajep.s.20140101.11.
- Ojeda Suárez, R., Spoor, M. y Estrada, M.E. (2017). El índice desempeño ambiental y la resiliencia social en los ecosistemas. *Universidad y Sociedad*, 9(1), 6-12. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

- Ojoawo, S.O., Rao, C.V. y Goveas, L.C. (2016). Bioremediation of Zn, Cu, Mg and Pb in Fresh Domestic sewage by *Brevibacterium* sp. *International Journal of Environmental Research*, 10(1), 139-148. Recuperado de https://ijer.ut.ac.ir/article_56896_d7732aa160eec0aaab0d6c5ef32e698c.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2011). Adverse health effects of heavy metals in children. Recuperado de https://www.who.int/ceh/capacity/heavy_metals.pdf
- Petrović, M., Šoštarić, T., Stojanović, M., Milojković, J., Mihajlović, M., Stanojević, M. y Stanković, S. (2016). Removal of Pb 2+ ions by raw corn silk (*Zea mays* L.) as a novel biosorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 407-416. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.06.025>
- Poonam, Bharti, S.K. y Kumar, N. (2018). Kinetic study of lead (Pb2+) removal from battery manufacturing wastewater using bagasse biochar as biosorbent. *Applied Water Science*, 8(4), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0765-z>
- Ramírez Franco, J.H. y Enríquez Enríquez, M.K. (2015). Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del pseudotallo de plátano. *Acta Agronómica*, 64(3), 209-213. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43488>
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima Perú (Sedapal) (2009). Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas. Perú. Recuperado de: <http://www.sedapal.com.pe/documents/10154/fedf8405-1bc2-428e-9d8d-a1c2ad009f53>
- Sun-Kou, M.R. y Obregón-Valencia, D., Pinedo-Flores, Á., Paredes-Doig, A.L. y Aylas-Orejón, J. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 225-236. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3719/371937640002> <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i4.159>
- Tejada, C., Ruiz, E., Gallo, J. y Moscote, J. (2015). Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución. *Prospectiva*, 13(1), 59-67. DOI: <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.360>
- Tejada, C., Villabona, A., Acevedo, D., Pajaro, N. y Otero, M. (2018). Lead (II) remotion in solution using lemon peel (*Citrus limonum*) modified with citric acid. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 10(1), 117-122. Recuperado de www.eng-gjournals.com/ijet/docs/IJET18-10-01-046.pdf <https://doi.org/10.21817/ijet/2018/v10i1/181001046>
- Tejada-Tovar, C., Gallo-Mercado, J., Moscote, J., Villabona, A. y Acevedo-Correa, D. (2018). Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 52-61. DOI: [10.18684/BSAA.v16n1.624](https://doi.org/10.18684/BSAA.v16n1.624). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(16\)52-61](https://doi.org/10.18684/BSAA(16)52-61)

- United Nations Environment Programme (UNEP) (1999). Environmental impacts of trade liberalization and policies for the sustainable management of natural resources. Uganda.
- U.S. Environmental Protection Agency (2014). Global effluent guidelines. Estados Unidos. Recuperado de <http://www.levistrauss.com/wp-content/uploads/2014/01/Global-Effluent-Guidelines.pdf>
- Vizcaíno Mendoza, L. y Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretartada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25(1), 43-60. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf> <https://doi.org/10.18359/rcin.432>
- Wen, X., Du, C., Zeng, G., Huang, D., Zhang, J., Yin, L., ... Wan, J. (2018). Un nuevo biosorbente preparado por *Bacillus licheniformis* inmovilizado para la eliminación de plomo de las aguas residuales. Chemosphere, 200, 173-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.078>
- Wendling, Z.A., Emerson, J.W., Esty, D.C., Levy, M.A., De Sherbinin, A. et al. (2018). Índice de desempeño ambiental 2018. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Ye, J., Xiao, H., Xiao, B., Xu, W., Gao, L. y Lin, G. (2015). Biorremediación de solución acuosa contaminada de metales pesados mediante el uso de algas rojas *Porphyra leucosticta*. Ciencia y Tecnología del Agua, 72(9), 1662-1666. DOI: 10.2166/wst.2015.386 <https://doi.org/10.2166/wst.2015.386>

