

Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua

Ma. Guadalupe Aranda-Figueroa

g.aranda.iq@gmail.com

Estudiante, Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQEI), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

María Guadalupe Valladares-Cisneros

ORCID: [0000-0001-7676-2325/mg.valladares@uaem.mx](https://orcid.org/0000-0001-7676-2325/mg.valladares@uaem.mx)

Profesora-investigadora, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQEI), UAEM

Rosenberg J. Romero D.

ORCID: [0000-0003-2625-7464/rosenberg@uaem.mx](https://orcid.org/0000-0003-2625-7464/rosenberg@uaem.mx)

Profesor-investigador, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), UAEM

RESUMEN

La contaminación del agua se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves, por lo que es importante atender esta situación en todos los niveles. Algunas de las tecnologías o métodos para minimizar o eliminar los contaminantes presentes en aguas residuales son adsorción, coagulación química, tratamiento biológico (biodegradación), oxidación, entre otras. Debido a que las aguas residuales a tratar se encuentran en grandes volúmenes, para realizar los procesos de descontaminación se seleccionan aquellas tecnologías que resultan ser económicas, factibles y eficaces. La adsorción es una de las tecnologías que se posiciona con gran aceptación, debido a que su amplia gama de aplicación permite reducir significativamente la concentración de los contaminantes. Mediante esta técnica, se puede minimizar la presencia de colorantes y mejorarse el desempeño de procesos secundarios de tratamiento de las aguas residuales.

PALABRAS CLAVE

adsorción; adsorbente natural; contaminación del agua; remoción de contaminantes; colorantes

Introducción

Diariamente se vierten en los cuerpos de agua naturales, como barrancas, ríos, lagos y mares, diversos productos químicos y biológicos que se derivan de las actividades diarias del ser humano y que alteran la composición y naturaleza del agua, provocando su contaminación. Esto tiene como consecuencia el deterioro en la calidad del agua, haciéndola no útil y de riesgo para su reutilización en actividades de riego (jardines, viveros o agricultura), y para el uso doméstico y recreativo.

La contaminación del agua se ha convertido en uno de los problemas ambientales más importantes por atender. Las aguas residuales requieren de tratamiento para quedar libres de contaminantes o tener una reducción significativa de éstos para su posterior reutilización sin que se comprometa la flora y la vida acuática de ríos y mares.

Por la variedad de contaminantes que las aguas residuales pueden contener, se han propuesto diferentes métodos de tratamiento para disminuir la presencia de estas sustancias en ellas. Algunos de estos métodos se usan de forma combinada para eliminar eficientemente los contaminantes orgánicos persistentes (cop), como los plaguicidas.¹

Algunas de estas tecnologías o métodos de limpieza de aguas residuales son adsorción, coagulación química, tratamiento biológico (biodegradación), oxidación Fenton, oxidación electroquímica, ozonización, ultrafiltración y electrocoagulación (Cañizares, Martínez, Jiménez, Lobato & Rodrigo, 2006).

Entre las tecnologías de tratamiento de aguas residuales se prefieren las que resultan económicas, factibles y eficaces, por los grandes volúmenes de aguas residuales a tratar (De la Peña, Ducci & Zamora Plascencia, 2013, p. 12). Tan sólo en la Ciudad de México se producen 209.1 m³/s (Martínez Bustos, sf). En Morelos se tiene una capacidad instalada para tratar aguas residuales que totaliza 2 773 l/s. Respecto al caudal tratado, las plantas en operación tratan conjuntamente 1 414 l/s, lo que representa el 49% de la capacidad total instalada (ceagua, 2014).

Por su versatilidad y operación, en la década pasada la adsorción se destacó entre las tecnologías de tratamiento de aguas residuales; actualmente se posiciona con gran aceptación y su aplicación está emergiendo con gran auge. Esta tecnología puede reducir la concentración de contaminantes y removerlos, ya que tiene una amplia gama de aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, reduce significativamente el color (Robinson, Chandram & Nigam, 2002; Mittal, Kurup & Mittal, 2007).

Debido a que las aguas residuales pueden contener diferentes contaminantes y en distinta concentración, se debe poner mayor atención en aquellas sustancias que, en concentraciones inferiores que la concentración traza (menor de cien partes por millón), causan serios

¹ Son sustancias químicas que suponen una amenaza para la salud humana y el medio ambiente, porque su estabilidad química les confiere una prolongada permanencia en el ambiente y dificulta su degradación.

problemas a la salud (Gil, Soto, Usma & Gutiérrez, 2012; Valladares-Cisneros, Valerio-Cárdenas, De la Cruz-Burelo & Melgoza-Alemán, 2017).

Metodología

Se realizó una revisión bibliométrica sobre los materiales adsorbentes de origen natural, así como sobre su aplicación en la remoción amigable de colorantes presentes en efluentes acuosos, considerando las dos últimas décadas.

En la búsqueda de información y los avances en el tema se emplearon los buscadores Scopus y Google Scholar (Google Académico), herramientas especializadas y orientadas a la literatura científico-académica (Martín-Martín, Orduna-Malea, Thelwall & López-Cózar, 2018). La selección de palabras clave se hizo en relación con temas como contaminación del agua, métodos de tratamiento de aguas residuales contaminadas por colorantes, adsorción y empleo de bioadsorbentes en la remoción de colorantes.

Análisis de las fuentes consultadas

Se eligió el material bibliográfico más pertinente para este trabajo: artículos científicos, reportes técnicos, tesis, libros, entre otros, de los que se recopilaron las ideas y datos que aportaran las bases y una visión global del tema (Ahmi & Mohamad, 2019). La información seleccionada fue organizada y analizada aplicando como criterio selectivo los trabajos realizados en los sistemas estacionario y agitado, con porcentajes de remoción altos (superiores al 60%). Se presentan los datos reportados en los estudios seleccionados y se concluye sobre el empleo de adsorbentes no convencionales de origen natural en la remoción de colorantes, con base en los resultados reportados por los diferentes autores.

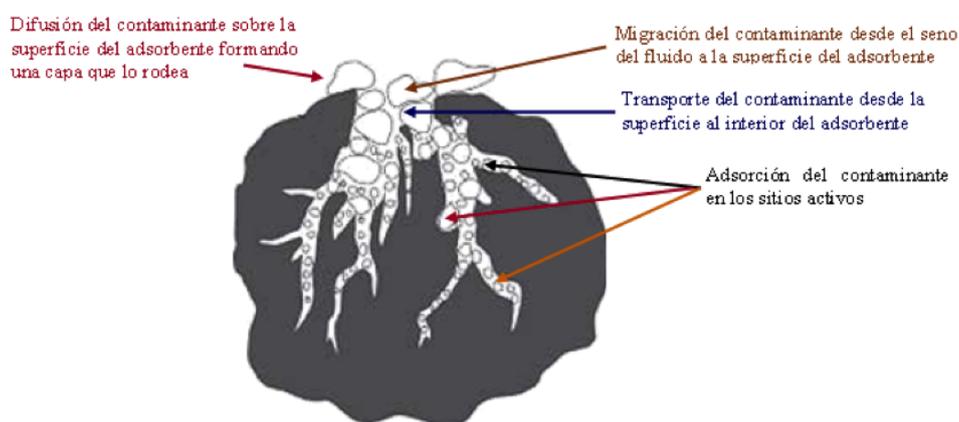
Discusión

Adsorción

El proceso de adsorción involucra, en términos generales, la participación de un adsorbente (soporte) y del adsorbato (sustancia química capaz de tener afinidad con el adsorbente, por lo que puede adsorberse). La adsorción ocurre a través de diferentes mecanismos o etapas: migración del contaminante desde el seno del fluido hasta la superficie del adsorbente; difusión del contaminante sobre la superficie del adsorbente formando una capa que lo rodea, con la intención de formar una película; transporte del contaminante desde la superficie hasta el interior del adsorbente para ocupar las cavidades (poros) a través de un proceso llamado *difusión en poros* o *difusión interpartículas*, y adsorción del contaminante en los

sitios activos de la superficie a través del intercambio iónico,² complejación o quelación (figura 1) (Crini & Badot, 2008).³

Figura 1
Representación de una partícula de adsorbente mostrando los sitios de interacción del adsorbato



Fuente: Lloyd, 2016

La eficiencia del proceso de adsorción es proporcional al área disponible total del adsorbente (Castro, Catano, Ferreiras, Padilha, Saeki, Zara, Martínes & Castro, 2011), lo que incluye la superficie y los espacios vacíos (huecos o poros). El proceso de adsorción depende de diferentes factores. Entre los principales se encuentran los siguientes (Pérez Marín, Ortuño, Aguilar, Meseguer, Sáez & Lloréns, 2010):

Dosis del adsorbente. La cantidad de adsorbente determina la extensión de los sitios de unión a la superficie disponibles para la adsorción. Por lo tanto, la eliminación porcentual de adsorbato aumenta con la dosificación de adsorbente. Después de alcanzar el equilibrio, no puede producirse ningún cambio adicional en la eliminación porcentual del adsorbato. Esto indica que cuando se utiliza la relación óptimo sólido/líquido, la cantidad de adsorbente es suficiente para la máxima eliminación de iones adsorbato de la solución en una concentración dada. Incluso si se utiliza más adsorbente no se afecta la eliminación.

² Unión puede entenderse como aquel conjunto de átomos que tiene una carga neta positiva (catión) o negativa (anión), por lo que un intercambio iónico es el fenómeno que ocurre cuando, en un proceso, se intercambian especies positivas por negativas y viceversa.

³ Se le llama *quelación* a la interacción atractiva que ejercen los grupos parcialmente negativos o los extremos parcialmente negativos de moléculas neutras polares sobre los cationes, dando lugar a la formación de nuevas asociaciones, que se denominan *complejos*.

Tamaño de partícula del adsorbente. El área superficial aumenta con una disminución en el tamaño de partícula. Un área superficial más alta da un mayor número de sitios de unión para la adsorción. El tamaño de partícula pequeño disminuye la fuerza motriz de transferencia de masa por unidad de área de partículas adsorbentes, lo que aumenta la capacidad de captación/saturación por unidad de masa de adsorbente.

Concentración y composición química del adsorbato. Son factores que deben estudiarse y establecerse para una adecuada adsorción de éste por el adsorbente.

Tiempo de contacto. Es el tiempo requerido para que el sistema alcance el equilibrio. Este sistema heterogéneo sólido/líquido frecuentemente experimenta diferentes etapas de transferencia de masa, algunas de las cuales podrían ser comparativamente lentas. Por lo tanto, es necesario determinar el tiempo de contacto para asegurarse de que se alcanza el equilibrio.

pH de la solución. Es el parámetro más importante en el proceso de adsorción. Afecta la actividad de adsorción funcional de grupos sobre la superficie del adsorbente y la composición del adsorbato. Como el pH varía de ácido a básico, mejora la eliminación de adsorción de colorantes básicos o metales catiónicos.

Temperatura. La adsorción aumenta con la temperatura ya que, a mayor temperatura, se favorece la cinética de los iones para ser adsorbidos y disminuye la viscosidad de la solución. Un estudio de temperatura ayuda a comprender los parámetros termodinámicos, como la entalpía, entropía y energía libre, involucrados en el proceso de adsorción.

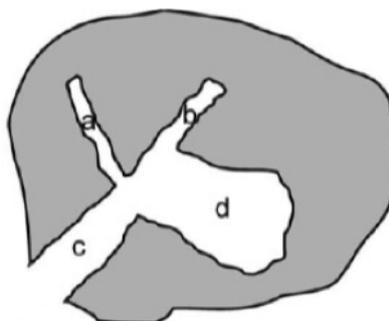
Velocidad de agitación. La velocidad de agitación permite que el adsorbato supere la resistencia de transferencia de masa de la capa límite. Algunos estudios demuestran que, a mayor velocidad de agitación, se incrementa la velocidad de adsorción.

Otros factores, como cargas parciales sobre la superficie del adsorbato, tipo de grupos funcionales (estereoquímica y existencia de pares de electrones libres), solubilidad del adsorbato, relación entre hidrofobicidad/hidrofilicidad, reactividad, afinidad relativa entre la solución y el adsorbente, termodinámica de la solución y, en el caso de contaminantes orgánicos, la disociación, también afectan la adsorción (Fomina & Gadd, 2014).

Porosidad del adsorbente

Los adsorbentes han sido útiles en la eliminación de contaminantes en agua y aire. En las aguas residuales, retienen en su superficie a las moléculas del contaminante, a través de fuerzas de interacción. Cuando las interacciones son débiles el proceso se denomina *fisisorción*, y cuando son fuertes se denomina *quimisorción*. En la adsorción, la naturaleza química y física de la superficie del adsorbente es el factor clave del proceso.

Figura 2
Representación de una partícula mostrando los poros que pueden existir en su interior



Poros pequeños (a, b), intermedio (c) y grande (d)

Una superficie porosa del absorbente es aquella que presenta cavidades (o vacíos), de acuerdo con el tamaño del adsorbente. La porosidad es una medida de la fracción vacía en un material. Los vacíos pueden ser *cerrados e inaccesibles* o *abiertos y conectados* a otros vacíos, y de allí al exterior del material (figura 2).

De acuerdo con su tamaño, los poros también se pueden clasificar como microporos, mesoporos o macroporos. A continuación se describe cada uno:

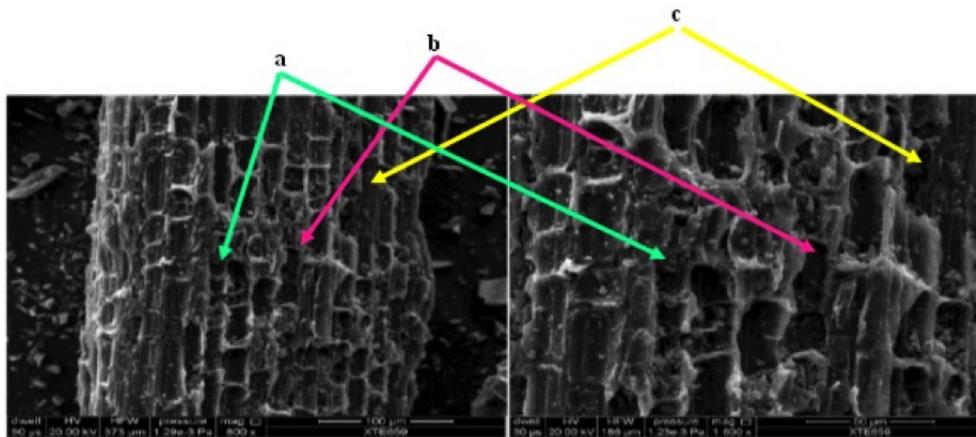
Microporo. Puede tener un diámetro de poro de 0.5 a 8 nm. La International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) lo define como un poro < 2 nm. Los métodos analíticos radiantes a través de los cuales se pueden estudiar son TEM o SANS.

Mesoporo. Se considera así a los poros con diámetros entre 0.8 nm a 0.8 μ m. La IUPAC los define como poros entre 2 y 50 nm. Son analizados a través de métodos analíticos como SEM, AFM, TEM y SANS.

Macroporo. Son los poros con diámetros comprendidos entre 0.8 a 100 μ m. La IUPAC los define como > 50 nm. Pueden ser analizados físicamente con microscopía óptica SEM, AFM, TEM y SANS.

Para cada tipo de poro se puede estimar el diámetro y su volumen; con lo que se determina el grado o extensión de la difusión de las moléculas contaminantes a través de los poros. El grupo de Kibami muestra la caracterización de carbón activado producido de material de desecho. Las interesantes micrografías que realizaron a este material, en dos magnificaciones diferentes, permiten distinguir diferentes tipos de poros (figura 3) (Kibami, Pongener, Rao & Sinha, 2017).

Figura 3
Micrografía SEM de *Bambusa vulgaris* tratada con H_3PO_4



Magnificaciones: izquierda 800X, derecha 1600X

Fuente: Castro, 2011

Adsorbentes

Uno de los ejemplos de adsorbentes más antiguos y comunes es el carbón activado, que ha sido utilizado principalmente para la eliminación de contaminantes en la última etapa de purificación de agua, particularmente en la eliminación de color. Sin embargo, su aplicación en la decoloración de efluentes contaminados o residuales ha resultado en procesos de alto costo.

Por ello se han buscado alternativas para la producción de adsorbentes distintos químicamente del carbón activado pero con cercana, igual o mejor capacidad adsorptiva. Por ejemplo, los contaminantes que se han logrado remover eficientemente con el uso de adsorbentes son los metales pesados, como Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Manganeso (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plutonio (Pu), Hierro (Fe), Cobre (Cu), entre otros (Uddin, 2017; Zou, Wang, Khan, Wang, Liu, Alsaedi, Hayat & Wang, 2016; Bouhamed, Elouear & Bouzid, 2012). Asimismo, se ha observado que es posible remover eficientemente algunos colorantes sintéticos tóxicos, incluyendo los colorantes tipo azo (Kausar, Iqbal, Javed, Aftab, Nazli, Bhatti & Nouren, 2018).

Las actividades industriales que pueden disponer metales pesados al ambiente son la aeroespacial, la minería, la metalurgia, el acabado de metales, la producción de aleaciones, la industria automotriz y la producción de pinturas y baterías. Los colorantes sintéticos de tipo azo se usan y disponen en cuerpos de agua por actividades industriales textiles, producción de papel, producción de cosméticos e industrias procesadoras de alimentos.

La presencia de metales pesados en medios acuosos altera la bioquímica celular y la existencia de colorantes impide el paso de la luz solar, lo que reduce las reacciones fotosintéticas e inhibe el crecimiento de la biota acuática.

Adsorbentes naturales

La necesidad de remover o eliminar el color de efluentes residuales favorece la reducción de la carga de materia orgánica y mejora la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Una ventaja que hace versátil el acoplar el proceso de adsorción en las plantas de tratamiento es que el adsorbente puede ser de origen mineral, orgánico o biológico (Crini, Lichtfouse, Wilson & Morin-Crini, 2018), por lo que se han desarrollado varios sistemas exitosos basados en esta técnica, aunque algunos de ellos elevan el costo de tratamiento, como es el caso en el uso de resinas naturales o sintéticas.

Recientemente se han orientado esfuerzos al estudio y aplicación de adsorbentes no convencionales (Gandhi, Sirisha, Chandra Shekar & Asthana, 2012), clasificados en material de desecho de la agricultura e industria, desechos de fruta, desechos vegetales, materiales inorgánicos naturales y biomasa viva y no viva (Sharma & Bhattacharyya, 2005).

Diversos autores han explorado el potencial adsorbente de diferentes alternativas de origen natural, inorgánico y orgánico, y de materiales de desecho, para la remoción eficiente de colorantes en agua. A continuación se describirán brevemente algunos trabajos de adsorción que recientemente han reportado el estudio de alternativas naturales interesantes como materiales adsorbentes amigables con el medio ambiente.

El grupo de investigación de Kibami, en la India, elaboró carbón activado de bajo costo a partir de desecho de bambú (*Bambusa vulgaris*) y lo aplicó en la remoción de azul de metileno en agua. Determinó que el material adsorbe eficientemente el colorante y que el proceso se correlaciona con la isoterma de adsorción de Themkin, lo que indica que las fuerzas de adsorción se debilitan después de que se ha formado la primera película de adsorción.

Los abundantes desechos de cáscaras de fruta, derivados de la industria agrícola y de procesamiento de alimentos, han sido estudiados como adsorbentes recientemente (Pathak, Mandavgane & Kulkarni, 2015). En México se producen anualmente cerca de 76 millones de toneladas de residuos orgánicos de frutas y vegetales. Por ello, el empleo de este tipo de materiales representa una opción innovadora de adsorbentes debido a su disponibilidad, bajo costo e impacto ambiental favorable, lo que hace de ésta una tecnología sustentable para la remoción de contaminantes del agua.

Recientemente se han estudiado como adsorbentes para la remoción de colorantes en agua *Lagenaria vulgaris* (Petrović, Radović, Kostić, Mitrović, Bojić, Zarubica & Bojić, 2015), planta trepadora conocida comúnmente como calabaza de peregrino (figura 4a), y *Mucuna pruniens* (Igwegbe, Onyechi, Onukwuli & Nwokedi, 2016), leguminosa conocida con el nombre común de grano de terciopelo (figura 4b). *L. vulgaris* fue modificado químicamente empleando óxido de zirconio, lo cual dio como resultado un nuevo biomaterial adsorbente denominado LVZrO₂, que removió de forma eficiente el colorante textil RB19. Además, este adsorbente resultó ser biocompatible y amigable con el ambiente. Por otro lado, la utilización de *M. pruniens* en la

remoción de los colorantes de un efluente textil que contenía verde malaquita y al rojo congo mostró ser un material natural eficiente para remover el primero.

Otros adsorbentes naturales que han sido investigados en la remoción de colorantes en solución son cáscara de naranja (Melgar, 2017), cáscara de pitahaya (Priyantha, Lim & Dahri, 2015), semillas de guayaba (Rahman & Saad, 2003) y hojas de neem (Sharma & Bhattacharyya, 2005).

En el Laboratorio de Investigación 2 de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQEI) y en el Laboratorio de Ingeniería Térmica Aplicada 3 del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), ambos de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), se están realizando investigaciones como temas de tesis para estudiantes de maestría relacionadas con el estudio de adsorbentes naturales modificados y no modificados para la remoción de colorantes disueltos en agua, con lo cual se obtienen conocimientos sobre los procesos de adsorción y los fenómenos fisicoquímicos que los gobiernan, y para su potencial aplicación en aguas residuales textiles. Lo anterior ha implicado la colaboración entre investigadores para determinar los mecanismos de transferencia de materia y energía simultáneos, así como la participación principal de un proyecto de posgrado en el área de ingeniería ambiental y tecnologías sustentables.

Figura 4

***Lagenaria vulgaris* (izquierda) y *Mucuna pruniens* (derecha)**



Fuente: Islamic Gardens, 2015; Bayo Amores, 2018

Conclusiones

Las disposiciones legales en México en materia de contaminación de efluentes acuosos por colorantes presentan un área de oportunidad actualmente, ya que, o bien no existen, o son mínimas. Asimismo, resulta necesaria la implementación de nuevas estrategias que permitan la disposición correcta de aguas coloridas y así como para un adecuado tratamiento de mitigación de los colorantes que puedan contener.

Los diversos estudios científicos revisados previamente muestran el potencial de aplicación que los adsorbentes de origen natural tienen para la remoción de colorantes de aguas residuales, por lo que la adsorción resulta ser un método eficiente para ello, además de ser un tratamiento económico, si se emplean como adsorbentes no convencionales, lo cual reditúa además en un proceso sustentable de minimización de contaminación por colorantes para la esfera del agua.

Un reto a investigar para los adsorbentes no convencionales es el mecanismo de adsorción, con la finalidad de establecer los aspectos ingenieriles que permitan realizar el manejo adecuado y la implementación tecnológica para su aplicación en efluentes reales.

Referencias

- Ahmi, A. & Mohamad, R. (2019). Bibliometric analysis of global scientific literature on Web accessibility. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6S2), 250-258. <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v7i6s2/F10380476S219.pdf>
- Bayo Amores, C. (2018). 10 beneficios y propiedades de Mucuna pruriens. *Nutricionista en casa*. <http://nutricionistaencasa.com/2018/05/15/mucuna-pruriens-propiedades-beneficios/>
- Bouhamed, F., Elouear, Z. & Bouzid, J. (2012). Adsorptive removal of copper (II) from aqueous solutions on activated carbon prepared from Tunisian date stones: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(5), 741-749. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.02.011>
- Cañizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Lobato, J. y Rodrigo, M. A. (2006). Coagulation and electrocoagulation of wastes polluted with dyes. *Environmental Science & Technology*, 40(20), 6418-6424. <https://doi.org/10.1021/es0608390>
- Castro, R. S. D., Catano, L., Ferreiras, G., Padilha, P. M., Saeki, M. J., Zara, L. F. Martínez, M. A. U. & Castro, G. R. (2011). Banana peel applied to the solid phase extraction of copper and lead from river water: preconcentration of metal ions with a fruit waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(6), 3446-3451. <https://doi.org/10.1021/ie101499e>
- CEAGUA (2014). Programa Estatal Hídrico de Morelos 2014-2018. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos, 56.
- Crini, G. & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, 33(4), 399-447. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.11.001>
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L. D. & Morin-Crini, N. (2018). Adsorption-oriented processes using conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. En Crini, Grégorio & Lichtfouse, Eric (eds.) *Green Adsorbents for Pollutant Removal*. Cham: Springer, 23-71. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2_2

- De la Peña, M. E., Ducci, J. & Zamora Plascencia, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. *Nota técnica IDB-TN-521*, 12.
- Fomina, M. & Gadd, G. M. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Gandhi, N., Sirisha, D., Chandra Shekar, K. B. & Asthana, S. (2012). Removal of fluoride from water and waste water by using low cost adsorbents. *International Journal of ChemTech Research*, 4(4), 1646-1653. <https://www.semanticscholar.org/paper/Removal-Of-Fluoride-From-Water-And-Waste-Water-By-Gandhi-Sirisha/6a18cb678572fa8acofcocbe07a16aa1f71249ca>
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I. & Gutiérrez, O. D. "Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments". *Producción+ Limpia*, 2012, 7(2), 52-73. <http://ref.scielo.org/dwgqxn>
- Igwegbe, C. A., Onyechi, P. C., Onukwuli, O. D. & Nwokedi, I.C. (2016), Adsorptive treatment of textile wastewater using activated carbon produced from *Mucuna pruriens* seed shells. *World Journal of Engineering and Technology*, 4, 21-37. [10.4236/wjet.2016.41003](http://dx.doi.org/10.4236/wjet.2016.41003)
- Islamic Gardens, 2015. <http://www.vedicvanas.com/divine-trees-in-quran.html>
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z., Bhatti, H. N. & Nouren, S. (2018). Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395-407. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>
- Kibami, D., Pongener, Ch., Rao, K. S. & Sinha D. (2017). Surface characterization and adsorption studies of *Bambusa vulgaris* a low cost adsorbent. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(7), 2494-2505. https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol8/vol8_N7/268-JMES-1165-Kibami.pdf
- Lloyd, J. (2016). Water –The first ingredient of the dialysis prescription. *Journal ACITN*, 26(1), 30-33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27215059/>
- Martín-Martín, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M. & López-Cózar, E. D. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160-1177. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>
- Martínez Bustos, F. (sf). Nueva tecnología con posibilidades de negocio: bolsas fabricadas a base de almidón que sustituyen a las de plástico. *Ciencia Mx Noticias*. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/74-en-mexico-solo-el-20-de-las-aguas-residuales-son-tratadas>
- Melgar M. A. M. (2017). Evaluación del proceso de biosorción del colorante rodamina contenida en las aguas residuales de la Cooperativa Textil Manufacturas del Centro Ltda. con cáscara de naranja modificada. *Prospectiva Universitaria*, 10(1), 13-16. <http://revistas.un-cp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/21/21>
- Mittal, A., Kurup, L. & Mittal, J. (2007). Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and ki-

- netics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers. *Journal of Hazardous Materials*, 146(1-2), 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.012>
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A. & Kulkarni, B. D. (2015). Fruit peel waste as a novel low-cost bio adsorbent. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(4), 361-381. <https://doi.org/10.1515/revce-2014-0041>
- Pérez Marín, A. B., Ortuño, J. F., Aguilar, M. I., Meseguer, V. F., Sáez, J. & Lloréns, M. (2010). Use of chemical modification to determine the binding of Cd (II), Zn (II) and Cr (III) ions by Orange waste. *Biochemical Engineering Journal*, 53(1), 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.12.010>
- Petrović, M. M., Radović, M. D., Kostić, M. M., Mitrović, J. Z., Bojić, D. V., Zarubica, A. R. & Bojić, A. L. (2015). A novel biosorbent *lagenaria vulgaris* shell - zro₂ for the removal of textile dye from water. *Water Environment Research*, 87(7), 635-643. <https://doi.org/10.2175/106143015X14212658614838>
- Priyantha, N., Lim, L. B. L. & Dahri, M. K. (2015). Dragon fruit skin as a potential biosorbent for the removal of methylene blue dye from aqueous solution. *International Food Research Journal*, 22(5), 2141-2148. [http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20\(05\)%202015/\(55\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(05)%202015/(55).pdf)
- Rahman, I. A. & Saad, B. (2003). Utilization of guava seeds as a source of activated carbon for removal of methylene blue from aqueous solution. *Malaysian Journal of Chemistry*, 5(1), 8-14. <https://ikm.org.my/ojs/index.php/MJChem/article/view/212>
- Robinson, T., Chandran, B. & Nigam, P. (2002). Removal of dyes from an artificial textile dye effluent by two agricultural waste residues, corncob and barley husk. *Environment International*, 28(1-2), 29-33. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00131-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00131-3)
- Sharma, A. & Bhattacharyya, K. G. (2005). Utilization of a biosorbent based on *Azadirachta indica* (Neem) leaves for removal of water-soluble dyes. *Indian Journal of Chemical Technology*, 12(3), 285-295. <https://pdfs.semanticscholar.org/de7f/857c29e349ce893b86e12bdf4f650432166f.pdf>
- Uddin, M. K. (2016). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade". *Chemical Engineering Journal*, 308, 438-462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>
- Valladares-Cisneros, M. G., Valerio-Cárdenas, C., De la Cruz-Burelo, P. & Melgoza-Alemán, R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- Zou, Y., Wang, X., Khan, A., Wang, P., Liu, Y., Alsaedi, A., Hayat, T. & Wang, X. (2016). Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: a review. *Environ. Sci. Technol.*, 50(14), 7290-7304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01897>