

RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS Y SUS USOS: UNA REVISIÓN

LIGNOCELLULOSIC WASTE AND ITS USES, A REVIEW

Augusto Oviedo Ch.¹ & Julio Vinueza G.¹

Recibido: 30 de junio 2020 / Aceptado: 30 de octubre 2020

DOI: 10.26807/ia.vi.174

Palabras claves: bioadsorbentes, filtros, membranas, residuos lignocelulósicos, usos.

Keywords: bio adsorbents, filters, lignocellulosic wastes, membranes, uses.

RESUMEN

Se presenta una revisión de estudios sobre usos de los residuos lignocelulósicos en la industria del papel, combustible, como precursor de otros compuestos químicos y la experiencia en la optimización de materiales filtrantes. Se establecen materiales que han sido estudiados con este fin y los análisis fisicoquímicos que se han realizado como parte de la caracterización. Además, se revisó el potencial de materiales filtrantes aptos para ser usados como filtros, en los cuales se probó su desempeño en lixiviado de suelos bajo condiciones controladas, potencial como combustible, tecnologías de membranas, bioadsorbente de cromo (III), remoción de plomo y níquel con restos de cereales y cítricos, remoción de plomo con residuos de palma.

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Quito, Ecuador (aoviedo554@puce.edu.ec; jcvinueza@puce.edu.ec)

ABSTRACT

A review is presented on studies on uses of lignocellulosic residues in the paper, fuel, precursor of other chemical compounds and the experience in the optimization of filter materials. It establishes materials that have been studied for this purpose and the physicochemical analyzes that have been carried out as part of the characterization. In addition, the potential of filter materials suitable to be used as filters was reviewed, in which their performance in soil leachate under controlled conditions, potential as fuel, membrane technologies, chromium (III) bio adsorbent, removal of lead and nickel with cereal and citrus residues, lead removal with palm residues.

INTRODUCCIÓN

Este artículo revisa el uso de residuos lignocelulósicos como adsorbentes desde dos puntos de vista: las fibras y la matriz adsorbida. Es preciso tener en cuenta que la agroindustria es una de las principales actividades económicas en el Ecuador, siendo una de las más importantes la industria bananera y del café (Mera Aguas & Simbaña Villarreal, 2016). También hay producción de palma africana (Valle Alvarez et al., 2019), caña de azúcar (Rosero-Delgado et al., 2016), maíz (Vinuesa et al., 2013), piña, bambú (Fajardo et al., 2013) y cascara de arroz (Tamayo Gutiérrez et

al., 2017). Según el Banco Central del Ecuador (2019), producto de esta actividad se generan grandes cantidades de residuos. “En general, las características de los residuos agroindustriales son muy variadas, dependen de la materia prima y del proceso que los generó, no obstante, comparten una característica principal que es el contenido de materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina” y por esta razón se denominan residuos lignocelulósicos (Saval, 2012).

Luego, se recoge información sobre los residuos que se generan y su uso en el país; también se identifica métodos y parámetros para caracterizar las fibras. Posteriormente, se profundiza en el uso de las fibras como adsorbentes y el tipo de material adsorbido. Se pone especial atención a la adsorción de metales pesados en solución. No existe información detallada del manejo y destino final de los residuos de las distintas industrias del sector agroalimentario. Así mismo, los trabajos para la definición de técnicas

y procesos para la transformación alternativa de residuos aún son incipientes. Por este motivo, el impacto ambiental asociado al destino final de estos desechos es considerable, pues genera una problemática socioeconómica, productiva y de salud en la población ecuatoriana por la contaminación que producen. El objetivo de esta revisión es ampliar el conocimiento en el uso de materiales lignocelulósicos para posteriormente aplicar los métodos y técnicas desarrollados por los diferentes autores.

METODOLOGÍA

Se consultaron artículos científicos sobre bioadsorbentes, filtros, membranas, residuos lignocelulósicos y sus usos. Se seleccionaron para esta revisión todos los artículos que trataban al menos uno de los siguientes campos:

- Aprovechamiento de residuos agrícolas en general y como adsorbentes

- Métodos y/o parámetros de caracterización de la fibra
- Analito adsorbido de interés (metales pesados principalmente)

Componen también este artículo de revisión varias fuentes que brindan datos económicos.

RESULTADOS

Se ha probado el uso de los residuos como soporte y sustrato para el crecimiento de microorganismos (Llenque et al., 2015), para remover metales pesados (Martín Lara, 2008) y para la preparación de resinas de intercambio iónico a partir de residuos de la madera (Palma et al., 2015).

En la actualidad, gran parte de la lignina producida por la industria del papel se consume como combustible. También se la usa en la fabricación de adhesivos, agente de curtido o como precursora para la producción de carbón activado. Durante las últimas décadas se ha estudiado el uso de lignina como adsorbente para la eliminación de sustancias del agua (Gupta et al., 2009), debido a su abundante disponibilidad y su bajo costo. La lignina es un componente característico de las plantas y se lo considera como un polímero tridimensional de fenilpropano unido por enlaces carbono-carbono o enlaces peróxido; su composición (libre de cenizas) es aproximadamente 62 % en C, 32 % en O y 6 % en H. Ésta conforma entre el 18 y el 35 % (peso

seco) de la madera, según la especie (Khezami & Capart, 2005).

El trabajo de Yoo (2017) resulta interesante porque establece maneras efectivas de disolver lignina mediante el uso de líquidos iónicos, ya que permite obtener en los análisis mejores espectros y resultados precisos además de ser solventes verdes (amigables con el ambiente o biosolventes (Doble & Kruthiventi, 2007)).

En cuanto a los usos que se da a los residuos, estos son muy diversos. Mera Aguas & Simbaña (2016) describen el uso del material como combustible en pellet; como sustrato para cultivo de hongo (Rosero-Delgado et al., 2016); Tamayo Gutiérrez (2017) sugiere el uso de los residuos de banano, coco y arroz para elaborar empaques secundarios. Para la obtención de compuestos volátiles en banano y rosas, Ojeda (2018) propone el diseño de una planta industrial con este fin; en este sentido Hassan (2019) defiende la puesta a punto de biorrefinerías para aprovechar al máximo el estudio de los residuos como fuente

de compuestos. También se han estudiado los residuos de la piña y el bambú para reforzar polímeros (Fajardo et al., 2013).

En Ecuador, a los residuos agrícolas y agroindustriales se los utiliza en el cultivo y producción de hongos comestibles y medicinales (Piña Guzmán et al., 2016).

Entre los estudios que abordan la adsorción de metales pesados, Martín Lara (2008), Dopico-Ramírez (2016), Pinzón-Bedoya (2008) y Cai (2017) reportan técnicas de caracterización y los parámetros que se deben evaluar en las matrices. Tejada Benítez (2014) y Tejada Tovar (2015 y 2016), en cambio, describen los métodos para cuantificar el nivel de adsorción. Tejada (2015) y Quiñones (2013) presentan una amplia descripción de autores e información sobre el análisis de residuos lignocelulósicos.

Uno de los contaminantes presentes en algunos cultivos ecuatorianos es el cadmio, el cual se puede hallar en mayor cantidad en los suelos amazónicos donde se cultiva principalmente cacao. Según Cargua et al. (2010) es el suelo el que presenta mayores ni-

veles de cadmio que la planta (testa, almendra y hoja). Sánchez (2018) identificó la alta capacidad de adsorción de residuos lignocelulósicos para metales pesados en agua. Tapia (2017) utilizó cáscaras y cuescos de frutas para la remoción de iones de cobre, así como también el bagazo de caña y el pseudotallo de plátano fueron utilizados para la biosorción de Pb (II) (Tejada Tovar et al., 2015).

El níquel (II) es otro metal pesado que fue estudiado por su poder de adsorción en materiales lignocelulósicos para su remoción, los materiales adsorbentes fueron probados sin modificación y modificados químicamente en su superficie de contacto, llegando a una capacidad de adsorción desde los 50 mg/g hasta 3300 mg/g, dependiendo del tipo de ion metálico y material adsorbente, siendo el plomo el que se adhiere con más facilidad. (Quiñones, 2013; Tejada Tovar, 2016; Tejada Benítez, 2014). Este tipo de biomasa también se la utiliza para el tratamiento de aguas residuales, formando lodos estables y alto contenido de materia seca (Biller et al., 2018). Residuos lignocelulósicos también han sido utilizados como soportes de enzimas

para biocatálisis (Vinueza et al., 2013).

Es importante destacar que hasta la fecha se ha estudiado cómo la lignina contiene sitios de unión capaces de adsorber metales pesados. Presenta “propiedades químicas como adsorbente, estabilizante, aglomerizante y estabilizador de emulsiones”. Como

se observa en la Figura 1, los principales grupos funcionales presentes en la estructura de la lignina son hidroxilos fenólicos, hidroxilos alifáticos, metoxilos, carbonilos, carboxilos y sulfonatos. (Ramírez Franco & Enríquez Enríquez, 2015). Por su parte, la celulosa es el polisacárido más abundante de la naturaleza (Huang et al., 2019).

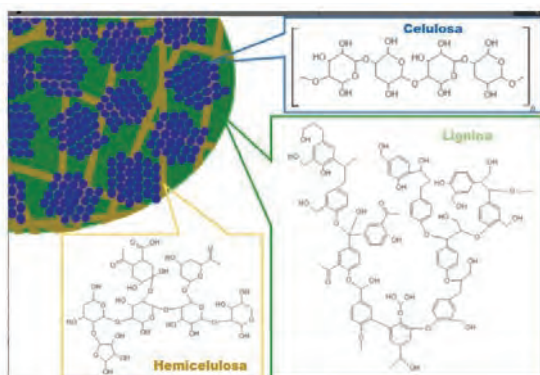


Figura 1. Estructura de la celulosa, lignina y hemicelulosa (Dahmen et al., 2018)

La adsorción de iones metálicos en materiales lignocelulósicos, se perfila como una buena alternativa a los tratamientos biológicos y químicos tradicionales; en los últimos años se han realizados ensayos al respecto, encontrándose que iones de metales

como plomo, cobre, zinc, cromo, hierro, níquel, cadmio, entre otros, han sido removidos con eficiencia entre el 50 y el 100 %, de manera que los materiales adsorbentes empleados se comportaron por lo menos igual, y muchas veces mejor, que

los carbones activados comerciales (Dupont, L.; Guillon, 2003; González-Serrano, 2004; Vitas et al., 2018). Además, esta tecnología es más económica y amigable con el medio ambiente que las usadas tradicionalmente para la remoción de metales de efluentes líquidos.

Según Celik y Demirbaş (2005), se han probado numerosas variantes al trabajar con lignina ya que esta varía en función del origen de desecho, es decir, si este es hierba, maderas suaves o maderas duras. También indica que la determinación de cadmio puede ser realizada por absorción atómica. Microesferas de lignina modificadas fueron probadas para atrapar plomo disuelto, como variantes en la utilización de la lignina

con enfoque en eficiencia, bajo costo, caracterización cuantitativa avanzada y nuevas maneras de añadir valor a esta molécula.

Fernández-Pérez (2010) presenta una forma de aplicar herbicidas encapsulados en gránulos a base de lignina, de esta manera la sustancia se libera controladamente en el cultivo y se reduce la contaminación. Por otra parte, Svinterikos (2017) desarrolló un método para producir fibras de lignina de tamaño deseado. También se están desarrollando nanopartículas de lignina que no son tóxicas para microalgas y levaduras (Frangville et al., 2012). En la Tabla 1 podemos observar un resumen de los artículos más relevantes de esta revisión.

Tabla 1. Resumen de artículos sobre utilización de residuos lignocelulósicos

Autor / Estudio	Matriz estudiada	Analito de interés	Aporte al estudio
(Martín Lara, 2008)	Hueso de aceituna. Alpeorujo. Poda del olivo	Pb, Cr	Parámetros de caracterización y estudio de biosorción
(Tejada Benítez, L.; Tejada Tovar, C.; Marimón Bolívar, W.; Villabona Ortiz, 2014)	Tusa de maíz y cáscara de plátano y naranja	Pb, Ni, Cr	Modelo y métodos de cuantificación de la adsorción
(Nuñez, Jaider E; Colpas, Fredy; Taron, 2017)	Aserín y corteza de madera	Pb	Fabricación de resinas de intercambio iónico
(Dopico-Ramírez, D.; León-Fernández, V.; Díaz-López, C.; Peña-Sartorio, E.; Céspedes-Sánchez, 2016)	Bagazo de caña de azúcar	Ni, Rodamina B, Azul de metileno	Métodos de caracterización
(Pinzón-Bedoya, M. L.; Cardona Tamayo, 2008)	Cáscara de naranja	Cr	
(Basso, M. C.; Cerrella, E. G.; Cukierman, 2002)	Nueces, bagazo de caña	Cd, Ni	Analito de análisis
(Tejada Tovar, C.; Ruiz Paternina, E.; Gallo Mercado, J.; Moscote Bohorquez, 2015)	Palma	Pb	Matriz y método de adsorción
(Tejada-Tovar, C.; Villabona-Ortiz, Á.; Garcés-Jaraba, 2015)	Varios	Varios	
(Tejada, C.; Herrera, A. P.; Núñez, 2015)	Tusa de maíz y cáscara de naranja	Ni, Pb	Revisión de artículos sobre el tema
(Quiñones, E.; Tejada, C.; Arcia, C.; Ruiz, 2013)	Varios	Varios	
(Tejada Tovar, C.; Villabona Ortiz, Á.; Paternina Ruiz, 2016)	Cáscara de ñame y palma	Ni	Métodos de adsorción

En cuanto a la celulosa, Dolske (1984) ha mencionado el uso de papeles filtros para colectar elementos a nivel de trazas en aerosoles. De esta manera reporta adsorciones de plomo y zinc. Voisin (2017) hace un repaso de las alternativas que existen para usar nanocelulosa como membrana para purificar agua y recomienda desarrollar procesos más eficientes. Otros autores sugieren el uso de floculantes para mejorar el desempeño de filtros a base de celulosa

(Biller et al., 2018; Buyel et al., 2015; Gambarotta et al., 2018). Otro uso reportado para la biomasa de residuos lignocelulósicos es la elaboración de biocombustibles para evitar el uso de combustibles fósiles (Zabed et al., 2016). Estos residuos pueden ser utilizados directamente sin transformación o dando un valor agregado al ser catalizados e hidrolizados (Han et al., 2019; Jing et al., 2019; Zabed et al., 2016)

CONCLUSIÓN

Luego de revisar estos artículos llegamos a concluir que a los materiales lignocelulósicos, que eran subutilizados como combustible o para cultivo de hongos, se les puede dar un valor agregado utilizándolos para la captura y remoción de diferentes metales pesados de aguas y suelos, así como también para ser empleados como materia prima en otros bio-procesos o biomateriales. Estos residuos lignocelulósicos son materiales promisorios, por su capacidad adsorbente,

para la elaboración de filtros biodegradables o como cápsulas para liberación controlada de nutrientes y herbicidas de bajo costo; de esta manera se puede disminuir el impacto ambiental que causan estos residuos al ser desechados en ríos o incinerados. La literatura muestra todos los estudios que se han llevado a cabo en los laboratorios, por lo que sería interesante dar el paso a escala industrial en cuanto al uso de estos residuos.

LISTA DE REFERENCIAS

- BCE. (2019). *Evolución de la balanza comercial. Enero Octubre 2019*. <https://www.bce.fin.ec/index.php/informacioneconomica/sector-externo>
- Biller, P., Johannsen, I., dos Passos, J. S., & Ottosen, L. D. M. (2018). Primary sewage sludge filtration using biomass filter aids and subsequent hydrothermal co-liquefaction. *Water Research*, 130, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.048>
- Buyel, J. F., Opdensteinen, P., & Fischer, R. (2015). Cellulose-based filter aids increase the capacity of depth filters during the downstream processing of plant-derived biopharmaceutical proteins. *Biotechnology Journal*, 10(4), 584–591. <https://doi.org/10.1002/biot.201400611>
- Cai, J., He, Y., Yu, X., Banks, S. W., Yang, Y., Zhang, X., Yu, Y., Liu, R., & Bridgwater, A. V. (2017). *Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(October 2016), 309–322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.072>
- Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, June 2016, 17–19.
- Celik, A., & Demirbaş, A. (2005). Removal of heavy metal ions from aqueous solutions via adsorption onto modified lignin from pulping wastes. *Energy Sources*, 27(12), 1167–1177. <https://doi.org/10.1080/00908310490479583>
- Dahmen, N., Lewandowski, I., Zibek, S., & Weidtmann, A. (2018). Integrated lignocellulosic value chains in a growing bioeconomy: Status quo and perspectives. *GCB Bioenergy*, 11(1), gcb.12586. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12586>
- Doble, M., & Kruthiventi, A. K. (2007). Alternate Solvents. In *Green Chemistry and Engineering* (pp. 93–104). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-012372532-5/50006-7>

- Dolske, D. A., Schneider, J., & Sievering, H. (1984). Trace element pass-through for cellulose filters when used for aerosol collection. *Atmospheric Environment* (1967), 18(11), 2557–2558. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(84\)90029-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90029-5)
- Dopico-Ramírez, D. et al. (2016). Meollo del bagazo: caracterización físico-química y potencialidades como biosorbente de especies catiónicas en solución. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 50(2), 29–34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223150958005>
- Dupont, L.; Guillon, E. (2003). Removal of hexavalent chromium with a lignocellulosic substrate extracted from wheat bran. *Environmental Science and Technology*, 37(18), 4235–4241. <https://doi.org/10.1021/es0342345>
- Fajardo, J., Valarezo, L., López, L., & Sarmiento, A. (2013). Experiencies in obtaining polymeric composites reinforced with natural fiber from Ecuador. *Ingenius*, 9, 28–35. <https://doi.org/10.17163/ings.n9.2013.04>
- Fernández-Pérez, M., Villafranca-Sánchez, M., Flores-Céspedes, F., Pérez-García, S., & Daza-Fernández, I. (2010). Prevention of chloridazon and metribuzin pollution using lignin-based formulations. *Environmental Pollution*, 158(5), 1412–1419. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.040>
- Frangville, C., Rutkevicius, M., Richter, A. P., Velev, O. D., Stoyanov, S. D., & Paunov, V. N. (2012). Fabrication of environmentally biodegradable lignin nanoparticles. *ChemPhysChem*, 13(18), 4235–4243. <https://doi.org/10.1002/cphc.201200537>
- Gambarotta, A., Manganelli, M., & Morini, M. (2018). A model for filter diagnostics in a syngas-fed CHP plant. *Energy Procedia*, 148, 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.101>
- Gonzalez-Serrano, E. et al. (2004). Removal of water pollutants with activated carbons prepared from H₃PO₄ activation of lignin from kraft black liquors. *Water Research*, 38(13), 3043–3050. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.04.048>
- Gupta, V.; Carrott, P.; Ribeiro Carrott, M.; Suhas, M. (2009). Low-Cost adsorbents: Growing approach to wastewater treatmenta review. In *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* (Vol. 39, Issue 10, pp. 783–842). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1080/10643380801977610>

- Han, X., Guo, Y., Liu, X., Xia, Q., & Wang, Y. (2019). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass into hydrocarbons: A mini review. *Catalysis Today*, 319(March 2018), 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.05.013>
- Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2019). Lignocellulosic Biorefineries in Europe: Current State and Prospects. *Trends in Biotechnology*, 37(3), 231–234. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.07.002>
- Huang, S., Wu, L., Li, T., Xu, D., Lin, X., & Wu, C. (2019). Facile preparation of biomass lignin-based hydroxyethyl cellulose super-absorbent hydrogel for dye pollutant removal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 939–947. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.234>
- Jing, Y., Guo, Y., Xia, Q., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Catalytic Production of Value-Added Chemicals and Liquid Fuels from Lignocellulosic Biomass. *Chem*, 5(10), 2520–2546. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.05.022>
- Khezami, L.; Capart, R. (2005). Removal of chromium(VI) from aqueous solution by activated carbons: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1–3), 223–231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.04.012>
- Llenque-Díaz, Luis A; Muñoz Ríos, Miguel; Espejo Vargas, Eddy; Moreno Ruiz, A. (2015). Producción de celulasas por *Aspergillus niger* a partir de bagazo de caña de azúcar en biorreactor aireado. *Ciencia y Tecnología*, 11(4), 39–49.
- Martín Lara, M. A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. In *Universidad De Granada, Facultad De Ciencias, Departamento De Ingeniería Química*. Universidad de Granada.
- Mera Aguas, M. C., & Simbaña Villarreal, E. A. (2016). Evaluación de la capacidad calorífica de biocombustible sólido a partir de residuos lignocelulósicos de café (. *Axioma*, 35–41. <http://pucesinews.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/457/443>
- Ojeda, A. (2018). *Simulación de un reactor para devolatilización de residuos lignocelulósicos de banana y rosas*. Universidad Central del Ecuador.

- Palma, B. D. E., Nuñez, J. E., Colpas, F., Taron, A., Basso, M. C., Cukierman, A. L., Pinzón Bedoya, Martha Lucía; Cardona Tamayo, A. M., Dopico-ramírez, D., León-fernández, V., Díaz-lópez, C., Peña-sartorio, E., Potter, L. P., Quiñones, E., Tejada, C., Arcia, C., Ruiz, V., Calderón, M., Andrade, F., Lizarzaburu, L., ... Sepúlveda, B. (2015). " Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente ." Grupo de Investigación en Tecnologías Verdes (GTV). ICIDCA. *Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 17(2), 1355–1367. <https://doi.org/10.33132/01248146.547>
- Piña Guzmán, A. B.; Nieto Monteros, D. A.; Robles Martínez, F. (2016). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus spp.*). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(EspecialResiduosSolidos), 141–151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Pinzón-Bedoya, M., & Cardona Tamayo, A. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. Bistua: *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1), 1–23. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90312176003>
- Quiñones, E. et al. (2013). Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasa lignocelulósicas: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 479–489.
- Ramírez Franco, J. H., & Enríquez Enríquez, M. K. (2015). Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento delseudotallo de plátano. *Acta Agronomica*.
- Rosero-delgado, E. A., Dustet-mendoza, J. C., Díaz-rodríguez, D., & León-, G. (2016). Fermentación en estado sólido de residuos lignocelulósicos con *Auricularia auricula*. ICIDCA. *Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 50(3), 28–36.
- Sanchez, Y. (2018). *Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cáscara de cacao*. Universidad Técnica de Machala.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado , Presente y Futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14–46.

- Svinterikos, E., & Zuburtikudis, I. (2017). Tailor-Made Electrospun Nanofibers of Biowaste Lignin/Recycled Poly(Ethylene Terephthalate). *Journal of Polymers and the Environment*, 25(2), 465–478. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0806-3>
- Tamayo Gutiérrez, E., Sarasty Miranda, O., & Mosquera Quelal, E. (2017). Aprovechamiento De Residuos Ligno-Celulósicos En La Elaboración De Empaques Secundarios Ecológicos. *Industrial Data*, 20(2), 37. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13959>
- Tapia, P., Pavez, O., Santander, M., & Sepúlveda, B. (2017). Remoción De Iones Cobre Con Sorbentes Orgánicos. *Holos*, 8, 42. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.6661>
- Tejada, C. et al. (2015). Adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre materiales residuales lignocelulósicos. *Investigaciones Andina*, 17(31), 1355–1367. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=239040814007>
- Tejada Tovar, C. et al. (2016). Adsorción de Ni (II) por cáscaras de ñame (*Dioscorea rotundata*) y bagazo de palma (*Elaeis guineensis*) pretratadas. *Revista Luna Azul*, 42 (Enero-junio), 30–43. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.4>
- Tejada Tovar, Candelaria, Ruiz Paternina, E., Gallo Mercado, J., & Moscote Bohorquez, J. (2015). Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución. *Prospectiva*. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.360>
- Tejada Benítez, L. et al. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Luna Azul*, 39(julio-diciembre), 124–142. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.8>
- Valle Alvarez, L. V., Kreiker, J., Raggiotti, B., & Cadena, F. (2019). Aprovechamiento de Desechos Lignocelulósicos Derivados de la Producción Industrial de Aceite de Palma en el Desarrollo de Materiales Compuestos. *Ajea*, 4. <https://doi.org/10.33414/ajea.4.393.2019>
- Vinueza, J. C. V., dos Santos, A. F., Bassan, J. C., Goulart, A. J., & Monti, R. (2013). Bromophenol blue discoloration using peroxidase immobilized on highly activated

- corncob powder. *Revista de Ciencias Farmaceuticas Basica e Aplicada*, 34(3), 321–326.
- Vitas, S., Keplinger, T., Reichholf, N., Figi, R., & Cabane, E. (2018). Functional lignocellulosic material for the remediation of copper(II) ions from water: Towards the design of a wood filter. *Journal of Hazardous Materials*, 355(May), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.015>
- Voisin, H., Bergström, L., Liu, P., & Mathew, A. P. (2017). Nanocellulose-based materials for water purification. *Nanomaterials*, 7(3), 57. <https://doi.org/10.3390/nano7030057>
- Yoo, C. G., Pu, Y., & Ragauskas, A. J. (2017). Ionic liquids: Promising green solvents for lignocellulosic biomass utilization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.03.003>
- Zabed, H., Sahu, J. N., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 751–774. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.038>