

## Producción de carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya para su aplicación como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados

Eduardo Soto-Regalado<sup>a,\*</sup>, Nancy E. Dávila-Guzmán<sup>a</sup> y Cynthia Viridiana Sepúlveda Cervantes

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ingeniería Química, Pedro de Alba s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, México.

\*eduardo.sotorg@uanl.edu.mx.

Recibido 17 diciembre 2021, Aceptado 27 enero 2022

### Abstract.

Agricultural products for human and animal consumption are widely produced, such as beans, corn, soybean, and wheat, among others. As a result of these activities, large amounts of agro wastes are generated, which are a source of environmental pollution. On the other hand, the pollution of water by organic and inorganic substances due to anthropogenic activities represents a global concern. There are technologies for wastewater treatment, for instance, precipitation, filtration, ionic exchange, adsorption, etc. Adsorption process is a tertiary treatment of water and wastewater useful to remove heavy metals and organic substances from aqueous solutions. Agro wastes are suitable as precursors to prepare activated carbon by chemical or physical activation that can be used as adsorbent material. Chemical activation is performed by heating agro wastes in an inert atmosphere; typically, a nitrogen atmosphere is applied at temperature of 300 to 650°C. Chemical substances such as ZnCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and KMnO<sub>4</sub> are activating agents that develop physicochemical properties of activated carbon by chemical activation, such as surface area and pore size, which can be optimized by experimental design and surface response methodology. These adsorbent materials are widely used to remove heavy metals from aqueous solutions because these pollutants affect both human health and ecosystems. Although the above-mentioned adsorbents are useful for wastewater treatment, their production processes are carried out at high temperatures, which implies a moderate or high-energy consumption and environmental impact that can be determined by the Life Cycle Assessment methodology.

### Resumen

A nivel global se producen productos agrícolas para consumo humano o animal, por ejemplo: frijol, maíz, frijol de soya, trigo, entre otros. Como resultado de estas actividades grandes cantidades de residuos agro industriales son generados y representan una fuente de contaminación ambiental. Por otro lado, la contaminación del agua por sustancias químicas o inorgánicas debido a actividades antropogénicas representa una amenaza global. Existen tecnologías para el tratamiento de agua residual, por ejemplo precipitación, filtración, intercambio iónico, adsorción, etc. El proceso de adsorción es un tratamiento terciario de aguas o aguas residuales útil para remover metales pesados y sustancias orgánicas de soluciones acuosas. Los residuos agroindustriales son útiles como precursor para preparar carbón activado mediante activación química o física en atmósfera inerte, típicamente atmósfera de nitrógeno a temperaturas de 300 a 650°C. Sustancias químicas tales como: ZnCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and KMnO<sub>4</sub>, son agentes activantes que desarrollan las propiedades fisicoquímicas del carbón activado, por ejemplo, su área superficial y tamaño de poro, las cuales pueden ser optimizadas mediante diseño experimental y análisis de superficie de respuesta. Estos materiales adsorbentes son ampliamente usados para remover metales pesados de soluciones acuosas ya que estos contaminantes afectan a salud humana y los ecosistemas. No obstante que los adsorbentes antes mencionados son útiles para el tratamiento de aguas residuales, su proceso de producción es realizado a altas temperaturas, lo cual implica un consumo energético de moderado a alto que provoca impacto ambiental que puede ser determinado mediante la metodología de evaluación de ciclo de vida.

**Palabras clave:** Carbón activado, activación química, residuos agroindustriales, metales pesados, análisis de ciclo de vida.

### 1. Introducción

México cuenta con una importante economía agraria inmersa en una gran variedad de procesos agroindustriales, dichos procesos pueden ser extremadamente ventajosos para los intereses sociales relativos a alimentación de las personas. Por otro lado el incremento en la población mundial ha provocado un creciente deterioro ambiental que afecta la salud humana y los ecosistemas. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, en 2025, cerca de 2000 millones de personas vivirán en países o en regiones donde la escasez de agua será debajo de los 500 metros cúbicos per cápita anuales recomendados por médicos, cantidad de agua que necesita una persona para llevar una vida sana e higiénica [1].

La contaminación del agua puede darse por metales pesados o por sustancias orgánicas tales como: fenol, tricloroetileno, o colorantes tales como: azul de metileno, verde de malaquita,

entre otros, estos contaminantes provocan efectos adversos en los cuerpos de agua [2, 3].

Tecnologías como adsorción, precipitación, filtración de membrana e intercambio iónico se han utilizado para eliminar los contaminantes inorgánicos del agua, como son los metales pesados. Sin embargo, la adsorción ha demostrado ser una tecnología económica y eficiente para la remoción de metales pesados, así como los contaminantes orgánicos y colorantes de las aguas contaminadas. Varios adsorbentes tales como carbón activado, sílice, y grafeno se pueden utilizar en la purificación de agua [4].

El carbón activado (CA) es un material que se utiliza principalmente como un adsorbente que puede presentar propiedades singulares, tales como alta área superficial, grupos funcionales ácidos y básicos en la superficie que puede ser

microporosa, mesoporosa y/o macroporosa, según la distribución del tamaño de poros [5].

En la literatura, se reportan varios carbones activados (CAs) con gran área superficial y porosidad desarrollada a partir de residuos agroindustriales, incluidos los residuos de café, semillas de frutas, cáscara de arroz [5] y cáscara de cebada [6].

La producción de carbón activado a partir de residuos agroindustriales, implica el calentamiento del residuo bajo atmósfera inerte y mediante el uso de sustancias inorgánicas; mediante estos procesos es posible producir un material adsorbente con alta área superficial y una adecuada distribución de tamaño de poros; éstas propiedades pueden ser optimizadas mediante un diseño experimental con las variables independientes del proceso de producción [6]. La producción de estos materiales requiere un consumo energético importante, lo cual implica un impacto ambiental que puede determinarse mediante la metodología del análisis de ciclo de vida [7].

La cascarilla de soya puede aprovecharse como precursor para producir carbón activado útil para remover metales pesados de aguas residuales, es importante mencionar que estos contaminantes representan una amenaza para la salud humana y para los ecosistemas.

## 2. Agricultura de la soya

La Asociación Americana de la Soya (ASA) es compatible con la definición legal de la agricultura sostenible incluida en la Ley Agrícola de 1990 como "un sistema integrado de prácticas de producción de plantas y animales que tienen una aplicación específica del sitio que, a largo plazo, satisfacen las necesidades de alimentos humanos; mejorarán la calidad del ambiente y la base de recursos naturales de la que depende la economía agrícola; hacen un uso más eficiente de los recursos no renovables y los recursos en las explotaciones e integrar en su caso, los ciclos y controles biológicos naturales; mantienen la viabilidad económica de las operaciones agrícolas; y mejoraran la calidad de vida de los agricultores y la sociedad en su conjunto. Por lo anterior, la ASA aprueba las firmes normativas que se han recibido en México, Australia y Nueva Zelanda [8].

La cáscara de frijol de soya es un subproducto del procesamiento industrial del grano de soya para la producción de aceite, está compuesta principalmente de cáscara de frijol de soya, pequeños trozos de grano y puede haber algún grano de tamaño pequeño. De los residuos de la producción de aceite de soya se cuenta con la cáscara, la cual es utilizada en combinación con diferentes alimentos fibrosos para formar "pellets" y distribuirse como alimento para una variedad de ganados a fin de alcanzar los requerimientos de fibra.

Al ser un residuo agroindustrial la cáscara de frijol de soya no cuenta con una gama de usos no contar con usos múltiples, por lo que, puede ser considerado como un precursor de carbón activado con alta disponibilidad a nivel mundial, el estudio que se realizará proporcionará un valor agregado a un residuo agroindustrial.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y productores de la empresa Proteínas Naturales firmaron un convenio de colaboración para impulsar el cultivo de soya en dos mil hectáreas, a través del esquema de reconversión productiva. Como parte de este acuerdo, la SAGARPA dará como incentivos a la productividad la semilla mejorada, asistencia técnica y el programa de cobertura para la comercialización de este grano, con lo cual se dará mayor certidumbre a los productores, en un proceso para cambiar la siembra de maíz y frijol por soya de alta calidad agroindustrial y con ello disminuir importaciones [9].

México es considerado el cuarto importador de soya a nivel mundial, después de China, la Unión Europea y Japón. Las importaciones de México equivalen a 4.5% de la soya que se comercializa a nivel mundial y en el 2009, México importó 3.5 millones de toneladas [10].

### 2.1 Cáscara de frijol de soya

La cáscara de frijol de soya es un desecho agroindustrial viable para trabajar en la producción de carbón activado (CA) debido a su alta disponibilidad a nivel mundial, donde los máximos exportadores a nivel mundial de soya son Brasil, Argentina y Estados Unidos [11]. En México la producción nacional de oleaginosas ha mantenido un crecimiento en la última década; sin embargo, durante 2016 sólo se cubrió los requerimientos para la producción de aceite de canola, girasol, soya, y cártamo en un 3.67%, 7.49%, 16.93% y 50.50%, respectivamente [12].

La proporción en peso de cáscara de frijol de soya es de la octava parte con respecto al peso total del grano entero, de acuerdo a datos proporcionados por una empresa productora de aceite de soya.

A los efectos del presente estudio se define residuo agroindustrial sólido a toda sustancia material u objeto que su tenedor dispone o elimina, tiene la intención de disponer o está obligado a disponer o eliminar.

Para la selección de la materia prima como precursor de carbón activado deben tenerse en cuenta varios factores; por ejemplo, que cuente con un alto contenido de carbono, un bajo contenido en material inorgánico (ceniza), suficiente contenido de materia volátil, alta disponibilidad, bajo costo, entre otros. Por lo tanto, la cáscara de frijol de soya puede ser considerada como una alternativa interesante para la producción de carbón activado tomando en cuenta las características antes mencionadas [13].

A inicios del año 2015 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) calculó que la producción mundial de Soya en el periodo 2015 – 2016 será de 320.05 millones de toneladas tomando en consideración que el 8% del peso corresponde a la cáscara de frijol de soya, se estima que alrededor de 24 millones de toneladas de cáscara se generarán como residuo agroindustrial [13].

La cáscara de frijol de soya (CFS) que será utilizada como precursor para la producción del carbón activado a partir de esta cáscara (CACFS); es un residuo agroindustrial de una empresa local productora de aceite de soya; la mencionada empresa reporta contar con alrededor de mil toneladas de cáscara diaria durante un día de trabajo normal.

### 3 Producción de carbón activado

El carbón activado (CA) es ampliamente estudiado como adsorbente para el tratamiento de aguas residuales para remover contaminantes como metales pesados, colorantes y sustancias farmacéuticas, entre otras, los contaminantes son adsorbidos en la superficie del adsorbente por atracción electrostática, intercambio iónico, enlaces puente de hidrógeno e interacciones  $\pi-\pi$  [14].

El CA se produce a partir de una variedad de materiales ricos en carbono tales como madera, carbón, lignito y cáscara de frutos y granos lignocelulósicos. La estructura de poros internos dotan al carbón de una desarrollada y elevada área superficial que consiste en micro, meso y macroporos, así como una amplia variedad de grupos funcionales presentes en la superficie del CA lo convierten en un material versátil que tiene numerosas aplicaciones en el área del medio ambiente [15].

Como se ha descrito en la literatura los métodos de activación física y química que han sido reportados en años recientes, en

general, proporcionan carbones activados con una estructura porosa bien desarrollada, pero la mayoría están restringidas a la gama de microporos. Existe una gran controversia con respecto a las condiciones para el desarrollo de CA mesoporoso, como son: la naturaleza del precursor, temperatura y tiempo de activación, agentes impregnantes y relación de impregnación, así como la velocidad de calentamiento son factores en la producción que llegan a condicionar la estructura porosa de los carbones activados [5].

Varios estudios han reportado que para el desarrollo de mesoporosidad se requiere de alta temperatura o la incorporación de especies inorgánicas en el precursor para lograr una activación química. Sin embargo el agente impregnante, relación de impregnación, precursor y el agente activante utilizado también son reportados por afectar la textura porosa de los CAs [5].

Por otro lado, la carga superficial de los CAs proporcionada por los grupos funcionales presentes en la superficie porosa constituyen un papel importante en la adsorción de especies de contaminantes catiónicos o aniónicos. Los grupos funcionales en la superficie del CA derivan principalmente del proceso de activación, precursor, tratamiento térmico y tratamiento químico. La naturaleza y concentración de grupos funcionales superficiales pueden ser modificadas mediante tratamientos químicos o térmicos adecuados para mejorar el rendimiento del CA para la eliminación de contaminantes específicos [15].

En la estructura del CA, los principales grupos funcionales que, en general, se consideran responsables de la captación de contaminantes incluyen al carboxilo, carbonilo, fenoles, lactonas, quinonas, además de otros; estos grupos funcionales derivan principalmente de la naturaleza característica del precursor y adicional a ello el proceso de activación química y térmica adecuada para mejorar el rendimiento del CA para la eliminación de especies contaminantes específicas. Las propiedades de adsorción del CA se pueden influir de manera significativa por estos grupos funcionales [15]. En la Figura 1 se muestra el proceso de producción de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos, en un reactor pirolítico, los residuos agro industriales son alimentados y calentados en atmósfera inerte para producir el carbón activado.

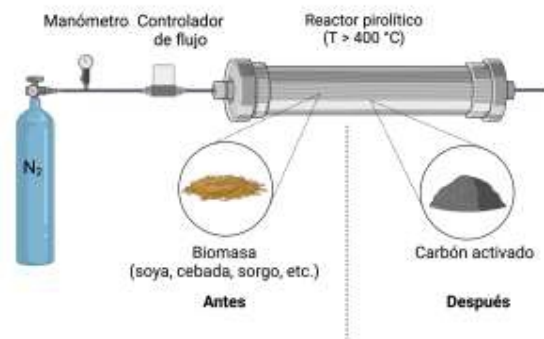


Figura 1. Proceso de producción de carbón activado. Creado con biorender.com

### 3.1 Optimización en la producción de carbón activado

Para seleccionar las condiciones óptimas (la temperatura, la proporción de impregnación, y el tiempo de activación, entre otros factores) para la producción de carbón activado, varios investigadores han llevado a cabo la optimización usando diseños de experimentos factoriales [6].

Esta búsqueda unidimensional es laboriosa y consume mucho tiempo, especialmente para un gran número de variables. En los últimos años, algunos autores han utilizado diseños experimentales para optimizar y estudiar los efectos de los parámetros del proceso y sus posibles interacciones. En particular, los factores que afectan la producción de carbón activado a partir de desechos industriales lignocelulósicos se han estudiado usando el diseño experimental Taguchi para la optimización de una respuesta y la metodología de superficie de respuesta cuando se optimizaron dos o más respuestas [6].

### 4. Metodología para cuantificar el impacto ambiental en un sistema

Para analizar y cuantificar el impacto ambiental en un sistema de producción se realiza un análisis de ciclo de vida (ACV), el cual estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, servicio o actividad. El ciclo de vida de un producto considera toda su "historia", desde su origen como recursos naturales, hasta su final como residuo; es decir, de la cuna a la tumba. En el análisis ambiental se atribuyen los efectos derivados del consumo de energía, uso directo de recursos naturales, emisiones y residuos generados durante el proceso de producción y de las materias primas utilizadas, así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto [16]. Un ACV completo es muy extenso, por lo que se deben establecer límites en el sistema de estudio, los cuales deben ser especificados e identificables; dichos límites determinarán que los procesos deben incluirse dentro del análisis de ciclo de vida [16]. Las metodologías para determinar el ACV han sido estandarizadas y se basan en el modelamiento de mecanismos ambientales y en factores de ponderación para evaluar los impactos en ciertas áreas de daño a la naturaleza; en la presente investigación se trabajará con el método ReCiPe, en donde el objetivo es transformar la lista de información del ciclo de vida a un limitado número de indicadores, los cuales expresan la relativa severidad sobre una categoría de impacto ambiental [16].

Sepúlveda-Cervantes et al, 2018 estudiaron el impacto ambiental asociado a la producción de carbón activado a partir de cascarilla de frijol de soya por activación química. La activación se realizó con ZnCl<sub>2</sub> a tres relaciones de impregnación de la sal, el residuo impregnado fue calentado a 450, 550, y 650°C en un horno eléctrico durante 30, 105, y 180 minutos. La atmósfera inerte fue lograda mediante un flujo de 1 L de nitrógeno/min. El estudio incluyó el análisis de ciclo de vida tomando en cuenta cuatro etapas: impregnación, pirolisis, lavado, y secado. Además, los reactivos químicos y consumo eléctrico fue tomado en cuenta dentro de las fronteras del sistema. El modelo de evaluación fue desarrollado mediante el software SimaPro 8.0. Los requerimientos eléctricos para las etapas de impregnación y pirolisis estuvieron en un rango de 14.28 a 39.86 MJ/kg de carbón activado y 2.49 a 3.37 MJ/kg de carbón activado; mientras que la etapa de secado requirió 113 kJ/kg de carbón activado; como resultado de este proceso un impacto de calentamiento global fue determinado en un rango de 5.86 a 47.15 kg CO<sub>2</sub>/kg de carbón activado producido [7].

Residuos de hojas de tomate fueron pirolizadas en un rango de temperatura de 25 a 800°C sobre una atmósfera de N<sub>2</sub> (80%) y O<sub>2</sub> (20%). El análisis de ciclo de vida fue realizado a este proceso para determinar su huella de carbono; la cual incluye el transporte de las materias primas, molido, producción de biocarbón y su transporte, el promedio de la huella de carbono fue



30.8, 39.6, 96.8 y 4.9 kg CO<sub>2</sub>/ tonelada de bio carbón producido [17].

Paja de arroz enriquecida con cal fue usada como precursor para producir bio-carbon en un horno de tambor; un inventario de ciclo de vida fue realizado mediante SimaPro 8.0.1 al proceso de producción, se reportó un rango de gases de efecto invernadero en un rango de 0.27 a 0.61 Mg CO<sub>2</sub> eq [18].

### 5. Contaminación del agua por metales pesados

El término metal pesado se refiere a metales o metaloides de masa atómica y gravedad específica de 20 y 5, respectivamente; tales como cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu), arsénico (As), plomo (Pb) cromo (Cr), níquel (Ni) y Zinc (Zn). Los metales pesados representa una amenaza para la salud humana, ya que pueden causar enfisema, hipertensión, desordenes respiratorios, anorexia, bronquitis crónica, diarrea, dolor abdominal, enfermedad cardiovascular, irritación gastrointestinal, entre otros padecimientos [19].

La presencia de zinc, cadmio, níquel y otros metales en el medio acuoso tiene un efecto potencialmente perjudicial en otros sistemas biológicos y fisiología humana cuando se exceden los niveles aceptables [4].

La contaminación del agua potable puede atribuirse a la toxicidad de metales pesados que pueden estar presentes en tuberías que transportan el vital líquido; la mencionada contaminación pudiera deberse en gran medida al aumento de la concentración de metales pesados cerca de las fuentes industriales de emisión; los metales pesados al no poder ser

degradados o destruidos pueden provocar la ingestión de ellos por los seres vivos a través de la cadena alimentaria [4].

La presencia de los metales pesados en el medio ambiente se debe principalmente a procesos naturales y a actividades antropogénicas. Por ejemplo la minería y fundición de materiales ferrosos, la quema de gasolina con plomo, pinturas enriquecidas con plomo son las fuentes responsables de la emisión de este metal al medio ambiente, mientras que el cromo es vertido al medio ambiente por industrias de electroplatinado y tenerías, entre otras. Por otro lado, las erupciones volcánicas, emisiones de industrias productoras de sosa cáustica son las principales fuentes de emisión de mercurio al medio ambiente [20].

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 2 se puede observar que los residuos agroindustriales son una fuente importante para la producción de carbón activado. Las variables más estudiadas en la producción del carbón activado son el tipo de agentes activantes, razón de impregnación, tiempo y temperatura de activación. De acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 2, se reporta la remoción de Fe(II), Zn(II), Cd(II), Ni (II), Pb(II), entre otros. Se reportan valores de área superficial en un rango de 13.8 a 3014 m<sup>2</sup>/g, esta propiedad es muy importante ya que se debe principalmente a la porosidad del material adsorbente, la cual permite que el adsorbato acceda a una mayor cantidad de grupos funcionales, los cuales pueden ser básicos o ácidos, éstos últimos son los responsables de la adsorción de cationes, por ejemplo iones metálicos o colorantes catiónicos; los grupos funcionales ácidos de acuerdo al pH de la solución y a valor de su pka pueden disociarse en forma aniónica, bajo estas condiciones los iones metálicos se adsorben sobre los grupos ácidos por atracción electrostática [21].

**Tabla 2. Producción de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su aplicación como adsorbente.**

Ref.	Precursor	Adsorbato / Remoción (%)	Temperatura (°C) y tiempo (min) de activación	Área superficial	Volumen total de poro (cm <sup>3</sup> /g)	Tratamiento químico
[2]	Cáscara de arroz	Fe (II)/ 100,	650 – 800/ NR.	280 – 3014	1.88	KOH/NaOH
		Mn (III)/ 100,	700 – 950/ NR.	66 – 1581	0.27 – 0.536	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
		Zn (II)/100,	Ambiente / NR.	66 – 1581	3.528	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
		Cd (II)/ 100,	600 – 900/ NR.	66 – 1581	0.27 – 0.536	CaCl <sub>2</sub> 7H <sub>2</sub> O/ ZnCl <sub>2</sub> / Ác. Carboxílico
[4]	Carbón activado comercial	Cadmio (II)/ 86	NR.	NR.	NR.	SiO <sub>2</sub>
		Níquel (II)/ 90				(3-Aminopropil) trietoxisilano
		Zinc (II)/ 83				
[23]	Bamboo	Pb(II)/ 24,99,100	800/ 60	486.80	0.1663	NR.
		Cu(II)/ 0.10, 86, 100		522.90	0.1818	
		Cr(III)/ 0.01, 49, 53		464.70	0.2032	
				589.65	0.2320	



[24]	Cáscara de mani	de Ni(II)/ 53 Pb(II)/ 57	120/ 1440	13.8	0.0378	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
[25]	Hueso durazno	de NR.	550/ 30	1285	0.45	Vapor de agua
	Hueso de albaricoque	de		921	0.37	
	Semilla de uva					
	Hueso de la aceituna			603	0.24	
				438	0.15	
[26]	Residuo coco	de Pb(II)/ 100 Hg(II)/ 99 Cu(II)/98	400/ 60	479	0.14	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
[27]	Cáscara bellota	de NR.	600/ 15 - 60	98 - 1289	0.061 – 0.330	ZnCl <sub>2</sub>
[28]	Residuo coco	de Hg(II)/ 100 Pb(II)/ 92 Cd(II)/ 92 Ni(II)/ 92 Cu(II)/ 73	NR.	NR.	NR.	NR.

## 6. Conclusiones

La contaminación por metales pesados es de alta preocupación a nivel global, ya que estos contaminantes no son biodegradables y permanecen en los ecosistemas afectando los equilibrios en los cuerpos de agua; además, afectan de manera significativa la salud humana provocando enfermedades que afectan la calidad de vida de la población. Los residuos agroindustriales son generados en forma abundante por las actividades agrícolas; no obstante que estas actividades están encaminadas a la producción de granos y productos alimenticios, el aprovechamiento de estos productos provoca la generación de residuos; los cuales tienen un amplio potencial para la producción de materiales adsorbentes como son: carbón activado química o físicamente. Estos materiales adsorbentes han sido ampliamente estudiados para la remoción de metales pesados de soluciones acuosas; no obstante que existen otras tecnologías para la remoción de estos contaminantes la adsorción ha demostrado ser un tratamiento de aguas económico, de fácil aplicación y que no requiere de tecnologías especializadas. La producción de carbón activado por su naturaleza requieren consumos energéticos de moderados a altos,

mismos que provocan un impacto ambiental, este impacto puede ser cuantificado mediante la metodología de análisis de ciclo de vida.

## Referencias

- Salud, Organización Mundial de la OMS. [En línea] Jim Holmes, Febrero de 2015. [Citado el: 25 de Septiembre de 2015.] [http://www.who.int/features/factfiles/water/water\\_facts/es/](http://www.who.int/features/factfiles/water/water_facts/es/).
- Bashir, S.; Zhu, J.; Fu, Q.; Hu, H. Comparing the Adsorption Mechanism of Cd by Rice Straw Pristine and KOH-Modified Biochar. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018, 25 (12), 11875–11883.
- Zubair, M.; Mu'azu, N. D.; Jarrah, N.; Blaisi, N. I.; Aziz, H. A.; Al-Harhi, M. Adsorption Behavior and Mechanism of Methylene Blue, Crystal Violet, Eriochrome Black T, and Methyl Orange Dyes onto Biochar-Derived Date Palm Fronds Waste Produced at Different Pyrolysis Conditions. *Water. Air. Soil Pollut.* 2020, 231 (5). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04595-x>.
- Karnib M., Kabbani A., Holail H., Olama Z. Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite.. 113 - 120, Libano : Energy Procedia, 2014, Vol. 50.
- Isoda N., Rodrigues R., Silva A., Goncalves M., Mandelli D., Camargo F., Alves W. Optimization of preparation conditions of activated carbon from agriculture waste utilizing factorial design.. Brazil : Powder Technology, 2014, Vol. 256. 175 - 181.
- Loredo M., Soto E., Cerino F., García R., García A., Garza M. Determining optimal conditions to produce activated carbon using single or dual optimization. 117 - 125, México : Journal of Environmental Management, 2013, Vol. 125.
- Sepúlveda-Cervantes, C. V.; Soto-Regalado, E.; Rivas-García, P.; Loredo-Cancino, M.; Cerino-Córdova, F. d. J.; García Reyes, R. B. Technical-Environmental Optimisation of the Activated Carbon Production of an Agroindustrial Waste by Means Response Surface and Life Cycle Assessment. *Waste Manag. Res.* 2018, 36 (2), 121–130. <https://doi.org/10.1177/0734242X17741680>
- Soya, Asociación Americana de la. Posición de Sustentabilidad de la ASA. 2015. <https://soygrowers.com/issues-pages/sustainability/>
- Detonan SAGARPA y agroempresas cultivo de soya; la meta, disminuir importaciones de oleginosas. SAGARPA. México : IFAI, 2015.
- Comité Nacional Sistema Producto Oleginosas. Enero de 2015. [http://www.oleaginosas.org/art\\_338.shtml](http://www.oleaginosas.org/art_338.shtml).
- Faostat, Production crops, Food and Agriculture Organization of the United States, 2013
- Planeación agrícola nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, México 2017.
- Sepúlveda C., Soto E., Garza M., García B., Cerino F. Producción de la carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya para su aplicación como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorante verde de malaquita. México : Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias, UANL, 2014.
- Gahlout, M.; Prajapati, H.; Tandel, N.; Patel, Y. Biosorption: An Eco-Friendly Technology for Pollutant Removal; 2021; pp 207–227. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7455-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7455-9_9).
- Bhatnagar A., Hogland W., Marques M., Sillanpää M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. 499 - 511, Suecia : Chemical Engineering Journal, 2013, Vol. 219.
- Rivas G. Pasiano, Estrada B. Alejandro, Botello A. José. Evaluación ambiental y modelado matemático de los procesos de digestión anaerobia como técnica de gestión de residuos en la producción lechera en el estado de Guanajuato. Guanajuato, México : Instituto Tecnológico de Celaya. Tesis Doctoral , 2014. 16 - 26.
- Llorach-Massana, P.; Lopez-Capel, E.; Peña, J.; Rieradevall, J.; Montero, J. I.; Puy, N. Technical Feasibility and Carbon Footprint of Biochar Co-Production with Tomato Plant Residue. *Waste Manag.* 2017, 67, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.021>.
- Mohammadi, A.; Cowie, A.; Mai, T. L. A.; De La Rosa, R. A.; Brandão, M.; Kristiansen, P.; Joseph, S. Quantifying the Greenhouse Gas Reduction Benefits of Utilising Straw Biochar and Enriched Biochar. *Energy Procedia.* The Author(s) 2016, pp 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.069>.
- Ayangbenro, A.S. and Babalola O. O. A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 14, 1.16. 2017. Doi:10.3390/ijerph14010094.
- Lone, M.I. He, Z.L., Stoffella, P.J., and Yang, X.E.. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water. Progress and perspectives. *J. Zhejiang Univ.-Sci B (Biomed. Biotechnol).* 9, 2010-220. 2008. Doi: 10.1631/jzus.B0710633
- Katiyar, R.; Patel, A. K.; Nguyen, T.-B.; Singhania, R. R.; Chen, C.-W.; Dong, C.-D. Adsorption of Copper (II) in Aqueous Solution Using Biochars Derived from *Ascophyllum Nodosum* Seaweed. *Bioresour. Technol.* 2021, 328 (January), 124829. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124829>.
- L., Tzong - Horng. Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass - based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. 129 - 142, Taiwan : Chemical Engineering Journal, 2010, Vol. 158.
- Sheng-Fong L., Song-Yung W., Ming-Jer T., Lang-Dong L. Adsorption capacity and removal efficiency of

- heavy metals ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. 1397 - 1406, Taiwan : Chemical Engineering Research and Design, 2012, Vol. 90.
24. Dobor J., Perényi K., Varga I., Varga M. A new carbon-diatomite earth composite adsorbent for removal of heavy metals from aqueous solutions and a novel application idea. 63 - 70, Hungria : Microporous and Mesoporous Materials, 2015, Vol. 217.
25. Tsoncheva T., Velinov N., Ivanova R., Stoycheva I., Tsyntsarski B., Spassova I., Paneva D., Issa G., Kovacheva D., Genova I., Mitov I., Petrov N. Formation of catalytic active sites in iron modified activated carbons from agriculture residues. 87 - 95, Bulgaria : Microporous and Mesoporous Materials, 2015, Vol. 217.
26. Anirudhan T., Sreekumari S. Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons. 1989 - 1998, India : Journal of Environmental Sciences, 2011, Vol. 23.
27. Cafer Saka. BET, TG-DTG, FT-IR, SEM ionide number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>. 21 - 24, Turquia : Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2012, Vol. 95.
28. Kadirvelu K., Thamaraiselvi K., Namasivayam C. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste. 63 - 65, India : Bioresource Technology, 2001, Vol. 76.