



*Uso del carbón activado para el tratamiento de
aguas. Revisión y estudios de caso.*

Use of activated coal for water treatment. Review and case studies.

**Karol Daniela Medina González ¹.
Ricardo Alberto Manrique-Abril ².**

¹ *Ingeniera Ambiental. Grupo de Investigación GIMAD. Biominerales Col. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*

² *MSc. Ingeniería Ambiental. Grupo de Investigación GIMAD. Biominerales Col. Universidad Nacional de Colombia. rmanriquea@unal.edu.co*

Resumen

Se realiza una investigación documental para recolectar, comparar y analizar la información existente del carbón activado, la forma de elaboración y el uso que tiene en el tratamiento de aguas residuales con altas cargas contaminantes. Se describen los principales conceptos y características referenciadas sobre el tema, cuáles son los procesos físicos y químicos para obtener un material poroso con alta superficie específica y que investigaciones se han realizado a nivel internacional y nacional que resumen las diferentes formas de obtener este material y el manejo que se le debe dar cuando se requiere utilizarlo en el área ambiental. Se especifica cómo y de qué forma los autores han tratado el carbón activado con diferentes compuestos que se encuentran en el agua y los resultados obtenidos de los estudios más relevantes.

Palabras Clave: microporos, macroporos, carbón activado, metales pesados y contaminantes.



Abstract

A documentary research is carried out to collect, compare and analyze the existing information of activated coal, the way of elaboration and the use it has in the treatment of wastewater with high pollutant loads. The main concepts and characteristics referenced on the subject are described, which are the physical and chemical processes to obtain a porous material with a high specific surface area and which investigations have been carried out at an international and national level that summarize the different ways of obtaining this material and the management that should be given when it is required to use it in the environmental area. It specifies how and in what way the authors have treated activated coal with different compounds found in water and the results obtained from the most relevant studies.

Keywords: micropores, macropores, activated carbon, heavy metals and pollutants.

Introducción

El carbón activado se ha convertido en un material ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales que requieren algún tratamiento especial por las características que este material posee. La elaboración y uso del carbón activado se pierde en la historia. Se puede decir, que los primeros usos del carbón activado fueron en el área de la medicina y que posteriormente en el año 400 a. C; Hipócrates propone filtrar el agua con carbón preparado a partir de madera carbonizada para prevenir malos olores.

El carbón activado es carbón que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna, es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados, por gramo de carbón. (Sevilla, 2010). Puede ser producido a partir de muchos precursores sólidos carbonosos, tanto de origen natural como sintético.

El carbón activado se puede obtener de muchas maneras y en muchos procesos que conllevan a activaciones físicas y químicas del material para obtener los resultados esperados y una mejor eficiencia de este.



El objetivo del presente estudio es realizar una revisión bibliográfica para dar a conocer brevemente las características y aplicaciones del carbón activado en el área ambiental, describiendo y apoyando la consulta en estudios que se llevaron a cabo a nivel internacional y nacional con el fin de contextualizar y referir los diferentes usos que se han propuesto y cuáles han sido los resultados y las conclusiones obtenidas de estos.

Metodología

El planteamiento metodológico de este artículo es de tipo documental, encaminada a recolectar, comparar y analizar información en relación a la producción de carbón activado y del uso en el tratamiento de aguas residuales el proceso de revisión inicia en la identificación, rastreo, organización, sistematización y análisis de un conjunto de documentos principalmente electrónicos sobre el tema a estudiar.

Se hará una búsqueda de bibliografía exhaustiva, para que el lector se acerque a la literatura publicada sobre el tema. Se hará la búsqueda en bases de datos, revisión de revistas y de otras fuentes bibliográficas como libros, así como el estudio de las referencias y la localización de las más relevantes. Se determinará y extraerá la información más sobresaliente y se sintetizará la información en una forma más asequible definiéndose los principales temas y el orden de su presentación no se tomaron en consideración para el análisis aquellos artículos que no hacían alusión al objeto de estudio.

1. Carbón activado

El uso del carbón activado se remota tiempo atrás cuando se usaba como adsorbente en algunas prácticas médicas y para eliminar los olores generados por enfermedades como la gangrena. En la primera Guerra Mundial se generó la necesidad de desarrollar filtros de carbón activo para adsorber gases tóxicos y en la potabilización del agua. Desde ahí tuvo participación el desarrollo de carbones activos en varias actividades. Así, desde 1930 se usó para eliminar el sabor y olor de las aguas hasta nuestros días se usan lechos de carbón activo en la depuración para el suministro de agua urbano. Como se puede observar el uso de este material es antiguo, pero en la actualidad se le ha



dado gran relevancia en el tratamiento de aguas residuales, potables e industriales por ser este material un adsorbente por excelencia además de poderse regenerar para su reutilización.

Ahora bien, el carbón activado es carbón que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón. El carbón activado es utilizado en procesos de adsorción debido a su elevada superficie específica, alta capacidad de adsorción, estructura porosa y eficiencia. Además, las características de la superficie influyen sobre la velocidad y la capacidad de adsorción debido a la interacción entre los grupos de superficie y las sustancias adsorbibles. Las variedades comerciales del carbón difieren ampliamente en sus características, dependiendo especialmente del método de preparación. (Cerón, Astrid y León, Yeni, 2010). Se utilizan en forma de gránulos, fibras y polvo. El diámetro de las partículas del carbón en polvo es generalmente inferior a 0,1 mm, mientras que los carbones granulares comerciales el tamaño medio de partícula varía usualmente entre 0,2 y 3 mm (Guerrero, 2011).

Puede ser producido a partir de muchos precursores sólidos carbonosos, tanto de origen natural como sintético, la materia de partida es amorfa y la estructura porosa se produce durante la carbonización y la activación. La estructura porosa del carbón activado se desarrolla y modifica durante la activación, y se puede ajustar de acuerdo al método empleado y su extensión; por eso, varía tan ampliamente de un carbón a otro. Cabe resaltar, que la producción de carbón activado a partir de residuos en agricultura tiene dos ventajas; primero, los materiales de desecho se convierten en adsorbentes útiles de valor agregado y segundo, producir carbones activados para la eliminación de productos químicos orgánicos y los metales en las aguas residuales (Guerrero, 2011). De acuerdo con la terminología de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), los poros cuyo tamaño no excede de 2 nm son llamados microporos, que son donde ocurre el fenómeno de adsorción en mayor medida, los que exceden de 50 nm son llamados macroporos, estos juegan un papel importante en el transporte del adsorbato a través de los mesoporos hasta los microporos, los mesoporos son de tamaño intermedio a los valores mencionados (entre 2 y 50 nm). El volumen de los microporos es en general mayor de 0,2 cm³/g pudiendo alcanzar elevados valores de área de superficie específica interna (Cardenas, 2015).



2. Preparación del carbón activado y procesos de activación

La obtención de carbón activado se ejecuta en dos procesos, la carbonización de la materia prima o activación física y la activación del producto carbonizado que es propiamente dicha la activación química con agentes químicos, tales como el ácido fosfórico, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, cloruro de zinc o ácidos inorgánicos.

2.1. Activación física

La Activación física o térmica normalmente se lleva a cabo en dos etapas, la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado. Durante la pirolisis se lleva a cabo la carbonización del precursor, en la cual se eliminan elementos como hidrógeno y oxígeno para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. La pirolisis consiste en la descomposición fisicoquímica de la materia orgánica bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante. Cuando la biomasa se somete a un proceso de pirolisis se obtienen como productos gases, líquidos y sólidos en diferentes proporciones, según el proceso empleado (Cerón, Astrid y León, Yeni, 2010).

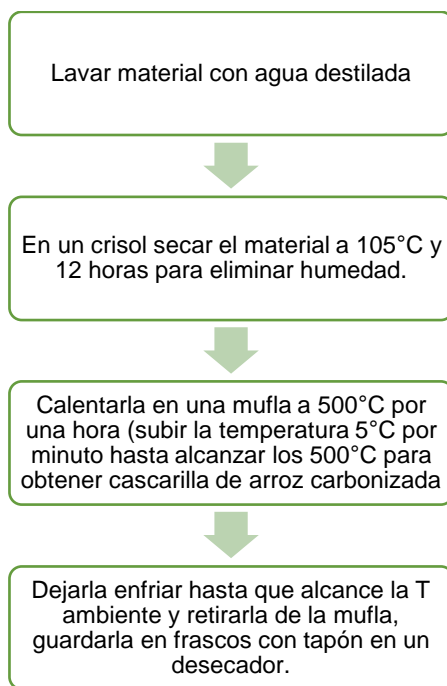
Para preparar carbón activado físicamente se selecciona y pesa la cantidad de materia prima a utilizar, usualmente esta materia prima es cascarilla de arroz, pulpa de café, cascara de coco o cualquier material vegetal. Esta se lava con agua destilada para retirar el material fino y las impurezas; se dejó secar a 105°C durante un periodo de 24 horas y se procede a activar en un crisol de concreto refractario incrementando la temperatura 5°C por minuto hasta alcanzar la temperatura fijada de 500°C. Luego, el material permanece una hora dentro de la mufla a la temperatura de activación (figura 1). Posteriormente se deja enfriar lentamente la mufla para evitar el contacto directo con el aire del ambiente exterior. Este procedimiento se describe siguiendo las referencias planteadas en las investigaciones de (Zhu, y otros, 2012) (Liu, y otros, 2016) . El procedimiento de activación se describe en la figura 2.

Figura 1. Carbón activado físicamente y Mufla para activación



Fuente: Autores.

Figura 1. Flujo de procesos de activación física



Fuente: Autores



2.2. Activación química

Esta ocurre cuando el precursor se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico, y el material impregnado se calienta en un horno a 500-700°C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de material volátil y alquitranes, aumentando el rendimiento en carbono. El carbón resultante se lava profundamente para eliminar el ácido (Cerón, Astrid y León, Yeni, 2010). La materia prima se transforma en carbón pero adquiriendo propiedades con una gran actividad y poder de adsorción. El proceso de activación química es aplicado directamente a la materia prima mezclándola con un agente químico activante, principalmente cloruro de zinc o ácido fosfórico. La carbonización/activación se realiza a una temperatura de tratamiento entre 500 a 900°C (Grisales & Rojas, 2016).

los métodos físicos, al promover reacciones de deshidratación u oxidación en el precursor celulósico, y aunque los mecanismos por los cuales se da la formación de poros no son claramente entendidos, se ha encontrado, que el K_2CO_3 es reducido por el carbón en atmósfera inerte dando paso a la formación de potasio metálico. El K_2CO_3 es de gran interés puesto que no tiene asociados problemas ambientales como el $ZnCl_2$, es de bajo costo y no es corrosivo a diferencia del KOH . (Ospina, Buitrago, & López, 2014)

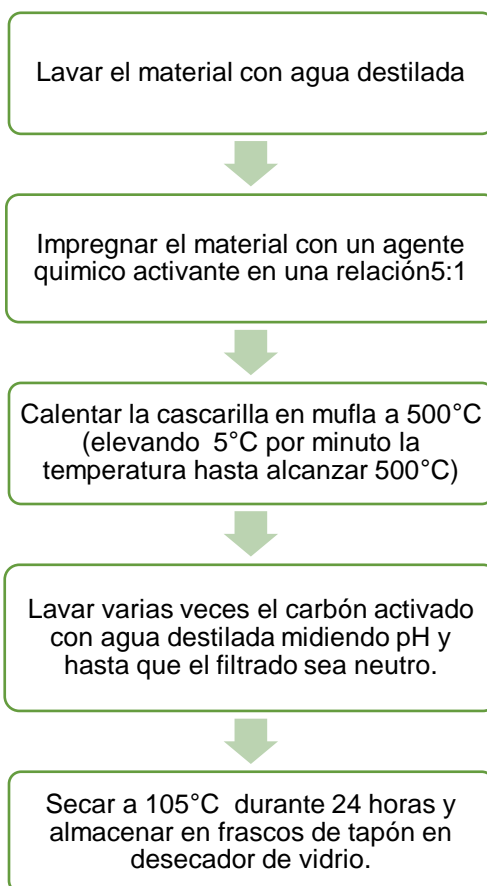
A pesar que diversos autores presentan maneras diferentes de realizar una activación química, básicamente el proceso general es el siguiente: se selecciona y pesa la cantidad de materia prima a activar, a su vez se prepara el agente activador en disolución si es requerido, esta disolución se utiliza para impregnar la cascarilla en una relación que diversas investigaciones plantean como 5mL de ácido o base por cada gramo de material primario pero las relaciones pueden variar respecto al agente activante o al material a emplear (figura 3); Se procede a activar la cascarilla elevando la temperatura 5°C por minuto hasta alcanzar la temperatura fijada de 500°C, cuando el material se enfría se procede a lavar el carbón con agua destilada midiendo el pH hasta obtener un filtrado con pH neutro. Este procedimiento se establece siguiendo las referencias planteadas en las investigaciones de (Rodríguez, Salinas, Rios, & Vargas, 2012) (Solis, Morales, & Durán, 2012) (Li, y otros, 2011) en la figura 4.

Figura 3. Flujo de procesos de activación química



Fuente: Autores

Figura 4. Flujo de procesos de activación química



Fuente: Autores.



3. Estudios de caso de producción de carbón activado utilizado en la remoción de contaminantes en el agua.

En cuanto a los estudios relacionados a la aplicación de Carbón Activado como material adsorbente, se encuentran trabajos como el realizado por (Liu, y otros, 2016), en China titulado “A green technology for the preparation of high capacitance rice husk-based activated carbon” en el que se desarrolla una tecnología verde para producir carbón de alta capacidad, activado con hidróxido de potasio, de este se concluye que a partir de la cascarilla de arroz se pueden elaborar productos utilizados en desarrollos de tecnología verde. Se evidencia también que la tecnología es simple, accesible, de bajo costo y amigable con el medio ambiente para la producción a gran escala. Además, el artículo recalca que es posible reutilizar los reactivos involucrados en los procesos de producción.

La investigación “Preparation of activated carbon from carbonized rice husk by ozone activation for Cr (VI) removal” (Sugashini, Mohamed, & Begum, 2016) da a conocer que el carbón activado fue preparado con cascarilla de arroz utilizando ozono como agente activador; el carbón activado fue usado para la eliminación de cromo (IV) en el agua y el mayor porcentaje de remoción para este fue del 94%, Esto demuestra que el tratamiento con activación de ozono es efectivo y posible para la remoción de iones de cromo.

También se destaca el estudio hecho por (Cruz, y otros, 2018) donde se caracterizaron y evaluaron las muestras de carbón activado a partir de dos nuevos precursores forestales mediante la activación química con cloruro de zinc y las capacidades de adsorción de los adsorbentes con muestras preparadas de azul de metileno y metales pesados de agua de río contaminada. El estudio muestra que se obtuvieron carbones microporosos y con presencia de mesoporos además se alcanzaron niveles de eliminación cercanos al 100% para el As (V) y Pb (II) disueltos en el agua reduciendo la concentración de estos elementos hasta niveles por debajo de los estándares locales de calidad del agua.

Por último, a nivel internacional el artículo de (Mor, Chooden, & Ravindra, 2016). “Application of agro-waste rice husk ash for the removal of phosphate from the wastewater” en Pakistan. Enuncia la utilización de las cenizas de cascarilla de arroz para la eliminación de fosfatos en aguas residuales y pone de manifiesto que este puede ser removido hasta un 89% usando dosis de 2g/L



en 120 min de tiempo de contacto y los métodos para caracterizar el adsorbente se realizaron por la transformada de Fourier siendo los datos de equilibrio de adsorción que muestran los mejores ajustes los analizados con la isoterma de Langmuir. La Microscopía electrónica de barrido muestra la superficie rugosa de adsorbente que puede llegar a aumentar la capacidad de adsorción. Se concluye con este estudio que las cenizas de cascarilla de arroz pueden realizar una eliminación eficiente y rentable de fosfato presente en aguas residuales.

A nivel nacional, el estudio realizado por (Rodríguez, Salinas, Ríos, Carlos, & Luz, 2012) En Bucaramanga titulado “Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres”. Se destaca como objetivo de la investigación la evaluación de la cascarilla de arroz como ceniza y carbón activados con ácido fosfórico e hidróxido de sodio para remover el cromo que se encuentra en las aguas residuales de la industria de curtiembres, se concluyó que el mejor adsorbente fue el hidróxido de sodio al 1% removiendo el 72.8% y que el hidróxido de potasio no es muy eficiente para la remoción de cromo en efluentes; la mejor remoción se obtuvo a 600°C y un tiempo de activación de 30 minutos para el hidróxido de potasio y el tiempo de adsorción en el que se presenta la mayor remoción es una hora tanto para el ácido fosfórico como para el hidróxido de potasio. Esta investigación es importante ya que resalta que debe haber un análisis más profundo para mejorar la eficacia de la adsorción de variables como la variación de la temperatura y el pH y propone alternativas para recuperación del cromo de los efluentes de la industria de curtiembres.

El artículo “Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (VI)” (Gloria, Hormaza, & Suarez, 2010) en la Universidad Nacional de Colombia con Sede Medellín, estudia la capacidad de la cascarilla de arroz para remover iones de cromo (VI) en las aguas de curtiembres, Se analiza la influencia de variables como pH, concentración inicial del metal, dosificación del adsorbente y tiempo de contacto en el proceso de adsorción. Se determina una correlación con la isoterma de Langmuir y se encuentran remociones superiores al 94% con pH de 1, dosis de 3g/L y a un tiempo de contacto con el material de 720 min con un valor de capacidad de adsorción de 1.25 mg/g. En esta investigación también es importante mencionar que se analizan parámetros del proceso de obtención como el tiempo de activación y la temperatura concluyendo que las características finales del carbón dependen de dichos parámetros.



La producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías, investigación realizada por (Rincón, y otros, 2015) realiza una activación física para obtener carbones activados con distintas propiedades de interés, concluyendo que este presentaba una capacidad de adsorción de colorantes de hasta un 70% y, por ende, podía aplicarse en el tratamiento de aguas industriales contaminadas con colorantes utilizados en la industria textil.

Otros estudios describen la aplicación del modelo de Bohart y Adams en la remoción de mercurio de drenajes de minería por adsorción con carbón activado en columnas de lecho fijo. Analizando los diferentes drenajes de mina de carbón en Guachetá Colombia. Se estableció las condiciones óptimas de funcionamiento de la columna, se determinó la vida útil del material adsorbente y la efectividad del método para la remoción del ion metálico (Rojas, Guerrero, Vásquez, Valencia, & Jesús, 2011).

Por otra parte, la reducción de pentaclorofenol y materia orgánica en el agua cruda del río Cauca mediante adsorción con carbón activado en procesos de potabilización (Torres, y otros, 2008) evaluó a escala de laboratorio mediante una secuencia de tratamiento con carbón activado de adsorción- coagulación y adsorción-desinfección- coagulación la remoción de ciertas sustancias. Se determinó que el carbón activado mejora la remoción de compuestos fenólicos y la materia orgánica, así como el pentaclorofenol y que la mejor secuencia de tratamiento es la que incluye la desinfección como tratamiento intermedio.

Finalmente, la remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula (Franco, Martínez, & Fernández, 2013) se evaluó analizando la adsorción de metales pesados como el Cu, Mn, Fe y Zn estableciendo el grado de remoción de cada contaminante sobre un efluente residual industrial proveniente de un laboratorio químico, encontrando remociones entre 50% y 99 %.



Conclusiones

El carbón activado es un producto que se elabora con precursores de origen orgánico e inorgánico con alta porosidad y área superficial siendo a lo largo del tiempo y en la actualidad utilizado en diferentes áreas como un material con alto valor agregado.

El carbón activado ha demostrado ser un material efectivo en los procesos de adsorción y remoción de ciertos contaminantes que por fuerzas de Van Der Waals atraen y retienen moléculas de otros compuestos presentes en el agua.

La elaboración de carbón activado se puede realizar bajo procesos físicos y químicos utilizando diferentes agentes químicos y materias primas además de ser versátiles las maneras de producción. Se observa que para obtener carbón activado se pueden usar varias técnicas y métodos con características óptimas y rentables.

En la actualidad han sido varias las investigaciones que relacionan el uso de carbón activado con el tratamiento de diferentes tipos de aguas contaminadas especialmente con metales pesados y colorantes en estas. Se encuentra que la eficiencia de remoción es alta dependiendo de la manera en la que se use, proponiéndose nuevas alternativas de empleo y nuevos campos de investigación



Referencias

- Cardenas, G. (2015). *Obtención de carbón activado a partir de mezclas de carbones minerales de bajo rango*. Tunja: Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Cerón, Astrid y León, Yeni. (2010). *Activación física de cascarilla de arroz aglomerada con engrudo de almidón de yuca para la obtención de carbón activado*. (F. d. Físicoquímicas, Ed.) Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Franco, J., Martínez, Ó., & Fernández, L. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 14(1), 42-49. Obtenido de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/2725/2145>
- Gloria, D., Hormaza, A., & Suarez, D. (2010). Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas. *Revista Gestión y Ambiente*(1), 73-84.
- Grisales, A., & Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. (F. d. Tecnología, Ed.) Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 27 de Febrero de 2019, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6965/628162G869.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrero, D. (2011). *Remoción de mercurio de drenajes de minería por adsorción sobre carbón activado*. (T. d. Ambiental, Ed.) Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 27 de Febrero de 2019
- Li, Y., Ding, X., Guo, Y., Wang, L., Rong, C., Qu, Y., . . . Wang, Z. (2011). A simple and highly effective process for the preparation of activated carbons with high surface área. *Materials Chemistry and Physics*, 127, 495-500. Recuperado el Noviembre de 2016, de <http://www.usc.es/congresos/ecsoc/18/files/B/b036/index.pdf>
- Liu, D., Zhang, W., Lin, H., Li, Y., Lu, H., & Wang, Y. (2016). A green technology for the preparation of hig capacitance rice husk- based activited carbon. *Journal of cleaner*



production, 1(112). Recuperado el Noviembre de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615008859>

Mor, S., Chooden, K., & Ravindra, K. (2016). Application of agro-waste rice husk ash for the removal of phosphate from the wastewater. *Journal of cleaner production*(129), 673-680. Recuperado el 28 de Febrero de 2018

Ospina, V., Buitrago, R., & López, D. (2014). Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuierilla. *Tecno lógicas*(32), 75-84. Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100008

Rincón, J., Rincón, S., Guevara, Pedro, Ballén, D., Morales, J., & Monroy, N. (2015). Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de el cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. *Revista Acad Colombia*, 151(39), 171-175. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n151/v39n151a04.pdf>

Rodríguez, Y., Salinas, L., Ríos, C., & Vargas, L. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Bioteología en el sector agropecuario e industr*, 10, 146-156. Recuperado el Noviembre de 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17.pdf>

Rodríguez, Y., Salinas, L., Ríos, Carlos, & Luz, V. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10, 146-156. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17.pdf>

Rojas, H., Guerrero, D., Vásquez, O., Valencia, & Jesús. (2011). Aplicación del Modelo de Bohart y Adams en la remoción del mercurio de drenajes de minería por adsorción con carbón activado. *Información Tecnológica*, 23(3), 21-31. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/bibliotecavirtual.unad.edu.co/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=0d100d09-6ab2-487f-94d2-d4b813c604bd%40sdc-v-sessmgr05>



Sevilla, U. d. (2010). *Manual de carbón activado*. Sevilla, España. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Solis, J., Morales, M. A., & Durán, M. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnol. Ciencia Ed*, 27(1), 36-48. Recuperado el Noviembre de 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48224413006>

Sugashini, S., Mohamed, K., & Begum, S. (2016). Preparation of activated carbon from carbonized rice husk by ozone activation for Cr (VI) removal. *New carbon materials*(3), 252-261.

Torres, P., Cruz, C., González, M., Gutiérrez, M., Barba, L., Escobar, J., & Delgado, G. (2008). Reducción de pentaclorofenol en el agua cruda del río Cauca mediante adsorción con carbón activado en procesos de potabilización. *Ingeniería e Investigación*, 28, 92-95. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2945880>

Zhu, K., Fu, H., Zhang, J., Lv, X., Thang, J., & Xu, X. (Mayo de 2012). Studies on removal of NH₄⁺ -N from aqueous solution by using the activated carbons derived from rice husk. *Biomass and Bioenergy*, 43, 18-25. Recuperado el Noviembre de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412001766>