

Obtención de carbón activado a partir de residuos orgánicos y su aplicación para el tratamiento de aguas residuales

Obtaining activated carbon from organic waste and its application for wastewater treatment

Berenice Michelle Ramírez Torres¹, Miguel Ángel Ortiz Gonzalez¹, José Ignacio Ceseña Quiñonez¹, Alma Hortensia Serafín Muñoz^{1*}

¹División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
[*sermuah@ugto.mx](mailto:sermuah@ugto.mx)

Resumen

Actualmente es necesaria la búsqueda de alternativas para la eliminación de contaminantes como los metales pesados de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua a fin de evitar el daño a la salud del hombre, a los ecosistemas acuáticos y al medio ambiente

En el presente trabajo de investigación se propone una metodología para producir carbón activado a partir de residuos orgánicos. El carbón activado se utilizaría para tratar las aguas residuales contaminadas de los ríos de Guanajuato, México, que contienen principalmente plomo (Pb), cobre (Cu) y hierro (Fe). Este enfoque aborda dos problemas ambientales importantes: la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y el tratamiento de aguas residuales. El estudio también explora posibles mejoras para aumentar la eficiencia del tratamiento.

Palabras clave: carbón activado, residuos orgánicos, aguas residuales contaminadas, metales pesados, tratamiento de aguas residuales

Abstract

The search for alternative methods to eliminate contaminants such as heavy metals from wastewater discharged into water bodies is imperative to protect human health, aquatic ecosystems, and the environment. This research proposes a methodology for producing activated carbon from organic waste. The activated carbon would be used to treat contaminated wastewater from rivers in Guanajuato, Mexico, which contain mainly lead (Pb), copper (Cu), and iron (Fe). This approach addresses two important environmental issues: municipal solid waste (MSW) generation and wastewater treatment. The study also explores potential improvements to increase treatment efficiency.

Keywords: activated carbon, organic waste, contaminated wastewater, heavy metals, wastewater treatment.

Introducción

En las últimas décadas la contaminación por metales ha sido un tema muy polémico en diversas regiones del mundo, esta problemática surge del uso intensivo de metales en actividades industriales, impulsadas por el afán del progreso económico. Sin embargo, este crecimiento industrial ha tenido un alto costo ambiental y social, especialmente en zonas como Guanajuato, donde la minería es una de las principales actividades económicas y que más genera contaminantes, como son principalmente los metales, estos elementos, al ser altamente tóxicos, se infiltran en el suelo y el agua, contaminando los ecosistemas y poniendo en riesgo la salud de las poblaciones aledañas. (RAMOS GÓMEZ Magdalena & AVELAR Javier, 2011). El recurso hídrico es uno de los más vulnerables a esta contaminación. Los metales pesados se acumulan en los ríos, lagos y manantiales, ingresando a la cadena alimenticia y poniendo en riesgo la salud de las personas que dependen de este vital líquido. Entre los metales pesados más peligrosos se encuentran el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), plomo (Pb), Cobre (Cu), Hierro (Fe) entre otros, y los cuales, en altas concentraciones, estos elementos pueden causar graves daños y alteraciones en la salud humana (Ivette et al., s/f). El Plomo (Pb) es un elemento metálico pesado, suave y moldeable de color azul grisáceo. La industria minera es un principal contribuyente en la contaminación de algunos mantos acuíferos, ríos y muchas de estas veces termina en la red de servicio de agua para muchas comunidades. Su capacidad para

acumularse en la sangre lo convierte en una amenaza constante para la salud humana, ya que su alta toxicidad puede desencadenar graves consecuencias, especialmente en el sistema nervioso central. Incluso una intoxicación leve por plomo puede provocar daños cerebrales irreversibles, afectando principalmente a los niños pequeños, quienes se encuentran en una etapa crucial de desarrollo neurológico. (Pernía, 2018) Según la NOM-127-SSA1-1994 *Salud ambiental. agua para uso y consumo humano. límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*, el Límite Máximo Permissible para el plomo en agua es de 0.01 mg/L.

Otra problemática muy relevante en el estado de Guanajuato son los residuos orgánicos que son los restos de comida, cáscaras y otros desechos biodegradables que desechamos diariamente y que son una importante fracción de los residuos industriales, domésticos y de comercio. Los residuos orgánicos causan diversos impactos ambientales que están directamente relacionados con un mal manejo de estos y una inadecuada disposición final de los mismos, tales como la generación de lixiviados, olores, gases de efecto invernadero, principalmente metano. El Informe sobre el Índice de Desperdicio de Alimentos 2024 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente destaca que los últimos datos del 2022 muestran que se desperdiciaron 1050 millones de toneladas de alimentos. Según las estimaciones de la FAO (2022) alrededor del 19% de los alimentos disponibles para los consumidores se perdieron en el comercio minorista, los servicios alimentarios y los hogares, y un 13 % en los alimentos perdidos en la cadena de suministro. Debido a que la pérdida y el desperdicio de alimentos generan hasta el 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, el lograr reducir las emisiones derivadas del desperdicio de alimentos es fundamental para el medio ambiente. FAO (2022)

El carbón activado se puede definir como una serie de carbones porosos, amorfos y preparados químicamente para que tengan un elevado grado de porosidad y una alta superficie específica interna. (Sevillano & Torres, 2013). Esta estructura única, en conjunto con la naturaleza química del carbono, le otorga una habilidad especial que es atraer y atrapar moléculas específicas del fluido que lo rodea y a este proceso se le conoce como adsorción, al sólido que adsorbe se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada, adsorbato. La unión entre el carbón y adsorbato se lleva a cabo por medio de las fuerzas London estas pertenecen a las fuerzas de Van der Waals y las cuales son relativamente débiles y reversibles. (Sevillano & Torres, 2013). 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. Si bien los orígenes exactos del uso del carbón activado se pierden en el tiempo, existen evidencias que sugieren que sus primeros usos se dieron en el ámbito médico. Se dice que Hipócrates, alrededor del año 400 a. C., recomendaba filtrar el agua con carbón obtenido de madera carbonizada para combatir los malos olores. Esta práctica ancestral marca el inicio de una larga trayectoria en la que el carbón activado ha demostrado ser un aliado invaluable en la búsqueda de agua limpia y segura. (Díaz, 2012) 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, en este caso nuestro carbón su origen es de residuos orgánicos. En un estudio realizado por (Ivette et al., s/f) en Bogotá, Colombia, se evaluó la eficacia del carbón activado a base de cascara de coco para eliminar contaminantes del agua. Las cáscaras de coco se obtuvieron de Pimpiguasi, Portoviejo, y se activaron mediante activación física a una temperatura de 700 °C durante una hora. El experimento empleó unidades de filtración para evaluar la eliminación de contaminantes. El análisis del agua tratada reveló mejoras en los sólidos suspendidos, el cloro libre residual, la turbidez, el color y el pH. Los resultados indican que 100 g de carbón activado lograron una eficiencia de eliminación del 75.68%. En otro estudio realizado por (jenny paola tovar guevara, 2016) en Bogotá, Colombia, se evaluó la eficacia del carbón activado recubierto con caucho de polisulfuro como material adsorbente para eliminar cadmio y plomo de los cuerpos de agua. El experimento empleó una muestra de agua con una concentración inicial de plomo (Pb) de 0.157 mg/L. El carbón activado recubierto logró eliminar 0.079 mg/L de Pb de la muestra. En otro estudio realizado (Dorregaray De La Cruz, 2018) en Huancayo, Perú, se estudió el potencial de los residuos de piña para la producción de carbón activado con el fin de eliminar metales como el cadmio y el plomo del agua contaminada. El carbón activado se produjo mediante pirólisis a diferentes temperaturas (400 °C, 500 °C y 600 °C) en ambientes inertes. En los experimentos se aplicaron 200 g de carbón activado durante 3 horas para eliminar los metales. Los resultados mostraron que el carbón activado producido a 600 °C presentó la mayor eficacia, eliminando el 98,64% del cadmio y el 87,64% del plomo. Estos resultados sugieren que el carbón activado derivado de residuos de piña tiene un potencial prometedor como alternativa eficaz y ecológica para eliminar metales pesados de las aguas contaminadas.

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo un estudio experimental para saber si nuestra propuesta de la utilización de carbón activado proveniente de residuos orgánicos funciona para la remoción de metales pesados en aguas de ríos, el cual puede ser una excelente alternativa para dar solución a uno de los diversos problemas que se tiene en el recurso hídrico, y en la contaminación por residuos orgánicos.

Metodología

ETAPA I. Procedimiento de la elaboración del Carbón-I y Carbón-II

Recolección de residuos orgánicos.

Se realizó una recolección de residuos orgánicos, incluyendo principalmente los negocios de frutas y verduras, los residuos incluían cáscaras y residuos de diversos tipos de fruta y verdura tales como piña, mango, naranja, col, repollo, lechuga, fresas, manzanas, entre otros. Se partieron de dos muestras: 1. Mezcla de cáscaras de fruta y vegetales (residuo I), y 2. Residuos de hueso de mango (residuo II).

Pretratamiento de residuos y obtención de carbón activado

Se realizó un triturado y posteriormente un drenado, para obtener dos fases (Figura 1 y 2): una fase sólida húmeda (biomasa) y una fase líquida (lixiviado). La fase sólida primero paso a un contenedor para secarse al aire libre durante 48 horas (Temperatura ambiente de aproximadamente 30°C), posteriormente se llevó a una estufa a 70°C durante 24 horas y una parte de la biomasa se va a compostar para un huerto urbano, y la otra parte de la fase de sólida va al proceso de pirolisis a 400-450°C en ausencia de oxígeno para producir el carbón, como subproductos de la pirolisis se obtuvieron alquitrán y biogás, después de obtener el carbón se deja enfriar a temperatura ambiente y se tritura levemente en un mortero para que pasé por diversos tamices, el primer tamiz es la malla 04 que es para obtener un carbón granular del tamaño de 4760 micras (μm), por la malla 20 para obtener un carbón pulverizado de 841 micras (μm), y por último por la malla 325 para obtener un carbón más pulverizado de 44 micras (μm). Posteriormente se llevó a 200° C en la mufla durante 20 minutos. Los carbonos activados provenientes e mezcla y hueso de mango, se nombraron carbón-I y carbón-II, respectivamente.

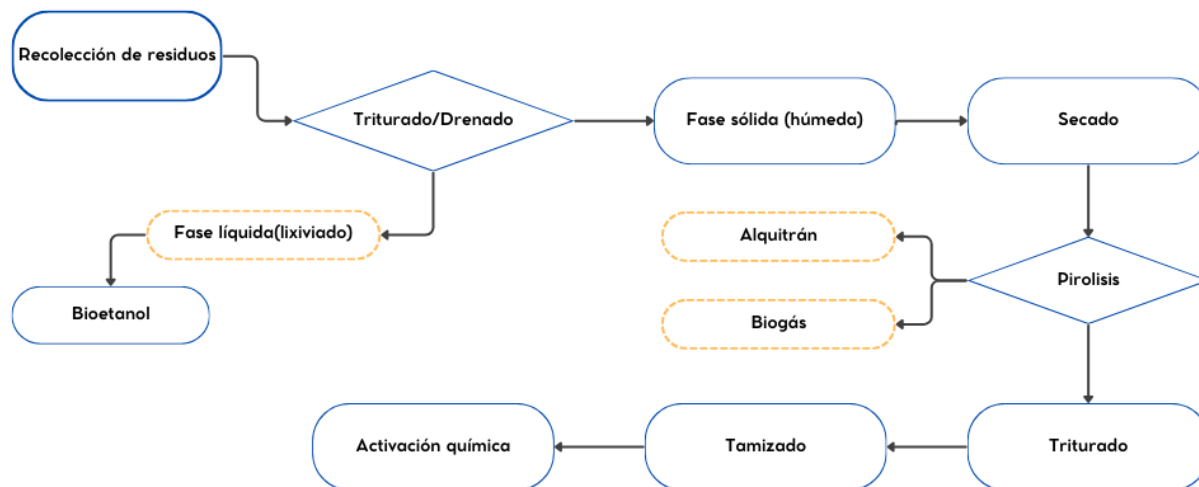


Figura 1. Diagrama del procedimiento de la elaboración del carbón activado.

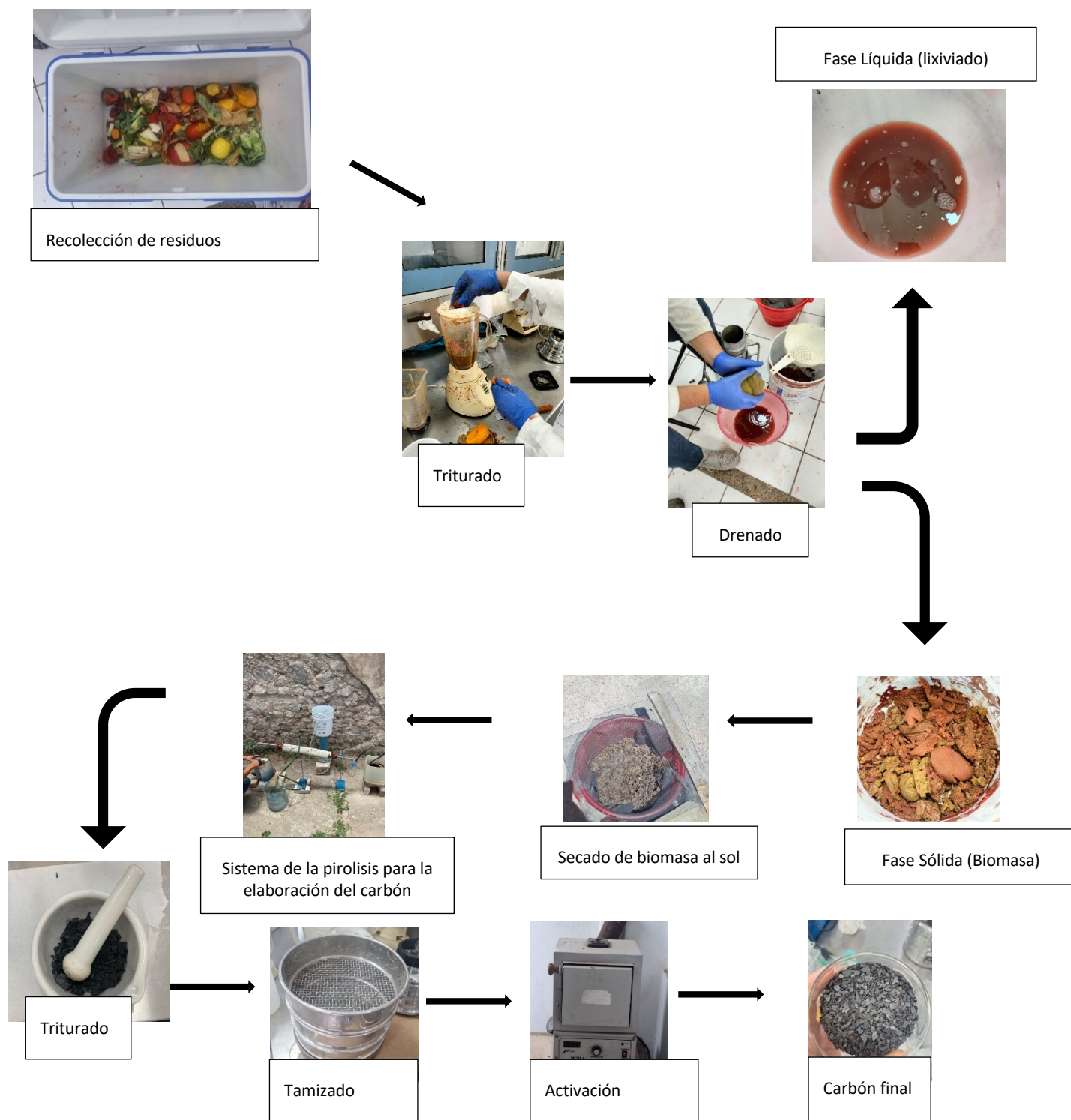


Figura 2. Esquema metodológico en la elaboración del carbón activado.

Etapa II. Metodología para el tratamiento de coagulación para agua residual de río.

Se recolectó agua del río que atraviesa el camino a Cata, alrededor de las instalaciones del conjunto de laboratorio La Perlita perteneciente a la Universidad de Guanajuato, y en el cual se desechan aguas residuales de la minera mexicana el Rosario, Figura 3. Se tomaron parámetros iniciales de la muestra de agua, los parámetros que se tomaron en cuenta fueron: pH, Conductividad eléctrica, Potencial Redox, Color y Turbidez, y se realizó una determinación de la concentración de metales como Plomo, Cobre y Hierro por medio de absorción atómica. Posteriormente se hizo una prueba de jarras para elegir una concentración adecuada del coagulante Cloruro Férrico y se determinó que la concentración más eficiente era a 300 mg/L en un tiempo de reacción de 1 hora y se realizó la medición de los mismos parámetros en la muestra de agua después de la coagulación.

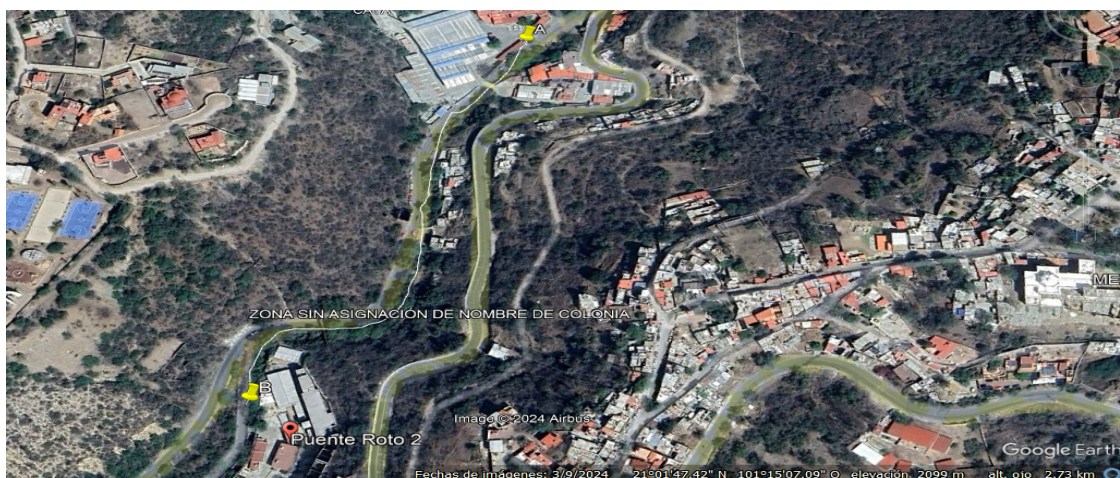


Figura 3. Mapa de la ubicación del río

Puntos importantes por donde pasa el río:

A: Guanajuato Silver (Minera mexicana el Rosario) ubicado en Ex-Hacienda de Bustos s/n, Cata, 36010 Guanajuato, Gto. Con coordenadas 21° 1'54.86"N, 101°15'7.39"O

B: Conjunto de laboratorios "La perlita" de la Universidad de Guanajuato, ubicado en Puente Roto 2, San Luisito, 36013 Guanajuato, Gto. Con coordenadas 21° 1'43.61"N, 101°15'13.41"O.

Tratamiento de agua residual con tratamiento previo de coagulación y con adición de carbón activado-I.

El primer procedimiento que se llevó a cabo fue en hacer una prueba de jarras para determinar la concentración adecuada del carbón activado en una muestra de agua con el tratamiento previo de la coagulación en un tiempo de reacción de 1 hora, y se determinó que la concentración más adecuada fue de 3 mg/L, se adicionó esta concentración de carbón activado a la muestra de agua con la concentración de 300 mg/L del coagulante, posteriormente se filtraron las muestras de carbón con una bomba de vacío y un filtro de celulosa de 20 micras y finalmente, se tomaron las mediciones de los parámetros a considerar. (pH, Conductividad eléctrica, Potencial redox, Color y turbidez), Figura 4.

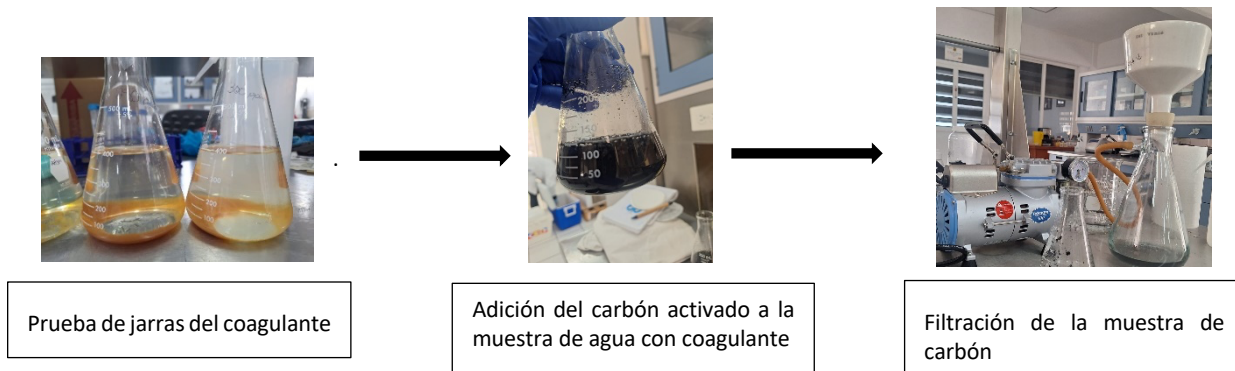


Figura 4. Metodología esquemática del tratamiento de agua residual con tratamiento previo de coagulación y con adición de carbón activado-I.

Tratamiento de agua residual con tratamiento previo de coagulación y sin coagulación, con por carbón activado.

Se tomaron 50 ml de la muestra ya coagulada con cloruro férrico a 300 mg/L y 50 ml de agua cruda del río y se colocaron 10 ml de cada una de la muestras en cada tubo, a cada tubo se le administró una cantidad diferente de carbón activado 2 (Hueso de mango) en el Tubo 1: 0.10 g, Tubo 2: 0.05g, Tubo 3: 0.03 g, Tubo 4: 0.01 y en el Tubo 5: 0.005g, posteriormente se colocaron en el agitador a 5 revoluciones por min durante 1 hora y se filtraron cada una de las muestras con filtro de celulosa, para después tomar las mediciones de parámetros de : pH, Conductividad eléctrica, Potencial Redox, Color, Turbidez, concentración de Plomo, Hierro y Cobre (las cuales se hicieron aleatoriamente en las muestras, tomando en cuenta principalmente la de más alta concentración y la de más baja concentración).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de la primera etapa , para obtener los carbonos activados a través del proceso de pirólisis, se desarrolló un prototipo de pirolizador. El prototipo desarrollado mostró una eficacia operativa del 75%. La el porcentaje de obtención del carbón (w/w), con respecto a la materia sólida proveniente de los residuos I y II , fueron $66.8 \pm 1.6\%$ y un $53.2 \pm 2.2\%$, respectivamente. Con respecto a los resultados de la aplicación metodológica con el coagulante los parámetros obtenidos del agua cruda del río y en comparación el agua tratada con el coagulante de cloruro férrico a 300 mg/L se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de agua cruda y agua con coagulante.

Tipo de muestra/ Parámetros	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	P. Redox (mV)	Color (Pt- Co)	Turbidez (NTU)	Plomo (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cobre(mg/L)
Agua Cruda	7.46 ± 0.06	2150 ± 1.2	160 ± 1.5	259 ± 1.7	25 ± 0.7	39.85 ± 0.3	0.288 ± 0.2	0.044 ± 0.06
Agua 300 mg/L de Cloruro Férrico	6.15 ± 0.08	1345 ± 1.4	202 ± 1.8	35 ± 1.8	3 ± 0.9	39.81 ± 0.4	0.44 ± 0.3	0.066 ± 0.07



Figura 3. Resultado de la coagulación

Como se puede observar la remoción de algunos parámetros como de la conductividad eléctrica, el color y la turbidez es bastante, además como se puede apreciar a simple vista es que el agua queda bastante clara, lo que nos indica que la parte de la coagulación fue muy efectiva, y se recomendaría a esta concentración para tratar agua no tan contaminada, pero en este proceso no tenemos ninguna remoción de los metales medidos.



7a



7b

Figura 4. a) Adición del carbón; b) Resultados después de filtrar el carbón, en comparación con el agua cruda.

En la tabla 2 observamos los parámetros que se obtuvieron de agregar distintas concentraciones del carbón activado en 10 ml de agua tratada con coagulante a 300 mg/L y en 10 ml de agua cruda del río. Podemos observar que la adición del carbón después de la coagulación nos aumenta los parámetros como de conductividad, color y turbidez, pero una adición de carbón activado directamente en el agua cruda en concentraciones bajas como de 0.005 o 0.01 nos disminuye un poco la conductividad, y considerablemente los parámetros de color y turbidez. Sin embargo, se observó una remoción significativa de metales pesados, Tabla 2, comparado con otras referencias como en (Dorregaray De La Cruz, 2018) donde nos indica que la remoción de Plomo carbón activado de cáscaras de piña tiene una eficiencia del 87.65 %, de un 36.8 % de remoción de plomo utilizando carbón activado de los residuos de coco y cacao (Macías Cedeño Génessis Mariuxi, 2021). En otro estudio realizado por (Lara et al., 2016) se evalúa el desempeño de la cáscara de

cacao como material residual adsorbente de metales pesados (Plomo y Cadmio) en solución acuosa sintética, mediante un sistema continuo de lecho fijo, y teniendo una eficiencia de 91,32 y 87,80% respectivamente para Pb y Cd. En otro estudio utilizando carbón activado a partir de la cáscara de frijol de soya adsorbiendo colorantes, con una eficiencia del 97.5 % (Sepúlveda, 2014). Otro estudio nos muestra que para la remoción de hierro de una eficiencia de 72 % utilizando carbón activado de cáscara de plátano (Emilio & Teresita, 2022).

Tabla 2. Parámetros con la adición de carbón activado

Tipo de muestra/ Parámetros	Concentración de Carbón (g)	pH	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	P. Redox (mV)	Color (Pt- Co)	Turbidez (NTU)	Plomo (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cobre(mg/L)
Agua Cruda (Sin Tratar)	0.1	7.8 $\pm$ 0.8	2300 $\pm$ 1.5	233 $\pm$ 1.2	180 $\pm$ 1.9	20 $\pm$ 1.1	39.85 $\pm$ 0.4	0.265 $\pm$ 0.6	5.042 $\pm$ 0.03
Agua Tratada con Carbón-I	N/A	5.78 $\pm$ 0.6	2020 $\pm$ 1.4	191 $\pm$ 1.7	13 $\pm$ 1.3	1 $\pm$ 1.5	9.11 $\pm$ 0.2	0.14$\pm$ 0.9	0.066 $\pm$ 0.07
Agua Tratada con Carbón-II	0.03	7.05 $\pm$ 0.4	2150 $\pm$ 1.3	182 $\pm$ 1.7	39 $\pm$ 1.5	5 $\pm$ 1.3	N/A	0.09$\pm$ 0.8	N/A

Conclusiones

En base a los resultados obtenido, el proceso de coagulación de cloruro férrico fue muy eficiente, sumado con la investigación sobre la remoción de metales pesados mediante carbón activado proveniente de residuos se obtuvieron resultados que contribuyen en diversidad del uso de bioproductos obtenidos de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos que demuestran un alto para elaborar carbón activado ya que aborda la problemática ambiental de la contaminación por residuos orgánicos y ofrece una solución sostenible y económica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Comité de Veranos UG 2024, por su valioso apoyo; así como a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (DAIP) de la UG; por su apoyo académico al Dr. Ulises Emiliano Rodríguez Castrejón, al M.C. Mayela Janeth Zavala Sánchez, M.C. Hugo López Alvarado; a las profesoras M.C. Guadalupe Medina Mejía, Dr. Pedro Cano Muñoz, Dra. Norma Gutiérrez Ortega y Dra. Esthela Ramos Ramírez.

Referencias

Alfredo, L., Lopez, G., & de Cartagena, U. (n.d.). *Adsorción De Cr (Vi) Utilizando Carbón Activado A Partir De Cáscara De Naranja Jorge Armando Garzon Santamaria*.

Camargo Valero, M., & Eduardo Cruz Torres, L. (n.d.). *Remoción de Sustancias Húmicas por Coagulación con Alumbre*.

CARBOTECNIA (2023) EFECTOS AMBIENTALES DEL COBRE. RECUPERADO DE [HTTPS://WWW.CARBOTECNIA.INFO/APRENDIZAJE/QUIMICA-DEL-AGUA/COBRE-EN-EL-AGUA/](https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/cobre-en-el-agua/)

Cynthia Viridiana Sepúlveda Cervantes. (2014). *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 Colorante Verde De Malaquita*.

DANIELA MEDINA GONZÁLEZ, K., & ALBERTO MANRIQUE-ABRIL, R. (N.D.). *REVISTA NACIONAL DE INGENIERÍA USE OF ACTIVATED COAL FOR WATER TREATMENT. REVIEW AND CASE STUDIES*.

De Buenavista, B., San, Y., & De Los, J. (2012). *Evaluación Preliminar De Riesgos Para La Salud Humana Por Metales Pesados En Las: Vol. XXIV*. Mayo-agosto. DE [HTTP://WWW.LENNTech.ES/PERIODICA/ELEMENTOS/CU.HTM](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm).

de, c., ambiental, i., paredes, e. o., luz, r., segura, m., asesor, A., JUAN, M., & FLORES CERNA, C. (N.D.). *FACULTAD DE INGENIERÍA. De, T. (n.d.). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL*.

Díaz, J. Á. Menéndez. (2012). El carbón en la vida cotidiana: De la pintura rupestre al ascensor espacial. *CreateSpace*.

Dorregaray De La Cruz, H. J. (2018). *Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cáscaras de la fruta piña (Ananas comosus) para remover metales pesados (Cd2+, Pb2+) desde soluciones acuosas*.

EL CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. (2007). CARBOTECNIA S.A. DE C.V.

Emilio, C. M. L., & Teresita, F. G. M. L. (2022). *Efecto del carbón activado de cáscara de plátano (musa paradisiaca variedad hartón) en la remoción de hierro total del agua del subsuelo de la Universidad Nacional de Ucayali. Ucayali, Perú*.

GUERRERO, D. (2011). *REMOCIÓN DE MERCURIO DE DRENAJES DE MINERÍA POR ADSORCIÓN SOBRE CARBÓN ACTIVADO. (T. D. AMBIENTAL, ED.)*

Ivette, K., Moreira, B., Ruben, A., & Moreno, G. (n.d.). *Remoción De Cadmio Y Plomo En Agua Con Carbón Activado Recub. (n.d.)*.

Jenny Paola Tovar Guevara. (2016). *Remoción De Cadmio Y Plomo En Agua Con Carbón Activado Recubierto En Caucho De Polisulfuro*.

Lara, J., T., Villabona, Á., A., & Granados Conde, C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion*.

LENNTech. (2017). EFECTOS AMBIENTALES DEL COBRE.

Macías Cedeño Génessis Mariuxi. (2021). *Aprovechamiento De Residuos De Cáscara De Cacao En La Obtención De Carbón Activado Para Ser Usado Como Medio Filtrante*.

Pernía, B. (2018). *Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador*.

Ramos Gómez Magdalena, & Avelar Javier. (2011). *Movilidad De Metales En Jales Procedentes Del Distrito Minero De Guanajuato, México*.

RINCÓN, J. M., RINCÓN, S., GUEVARA, P., BALLÉN, D., MORALES, J. C., & MONROY, N. (2015). PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS A PARTIR DE CARBÓN DEL CERREJÓN Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE TINTORERÍAS. *REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*, 39(51), 171. [HTTPS://DOI.ORG/10.18257/RACCEFYN.138](https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.138).

SEVILLANO, Á. S., & TORRES, P. B. (2013). *OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE MADERA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO. FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA. TUNJA: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*.

URIBE, L. M., ESPERANZA LÓPEZ, M., & GIOVANNI GONZÁLEZ, A. (N.D.). *ACTIVACIÓN DE CARBÓN MINERAL MEDIANTE PROCESO FÍSICO EN HORNO TUBULAR HORIZONTAL Y ATMÓSFERA INERTE*.

ZHU, K., FU, H., ZHANG, J., LV, X., TANG, J., & XU, X. (2012). STUDIES ON REMOVAL OF $\text{NH}_4^+\text{-N}$ FROM AQUEOUS SOLUTION BY USING THE ACTIVATED CARBONS DERIVED FROM RICE HUSK. *BIOMASS AND BIOENERGY*, 43, 18–25.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.005>