



ARTÍCULO ORIGINAL

Tratamiento de agua residual de la industria textil por bioadsorción de carbón activado proveniente de la cáscara de coco

**Sesi de Monserrat Hidalgo-Castañeda¹, Raúl Alejandro Limón-Hernández^{1*},
Verónica López-Hernández¹, Oscar Enrique Morales-Moguel¹, José Luis
Xochihua-Juan¹, Iriana Hernández-Martínez¹**

¹ ingeniería en Procesos Químicos. Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Veracruz, México.

Recepción 31 de mayo de 2024. Aceptación 20 de junio de 2024

Resumen

PALABRAS CLAVE

Agua residual, carbón activado, bioadsorción, activación.

En industrias textiles durante el proceso de teñido de telas se genera una gran cantidad de agua residual coloreada cuyas características fisicoquímicas provocan un impacto ambiental negativo al verterlas sin tratamiento previo a cuerpos de agua. El uso del carbón activado como parte del tratamiento es una alternativa viable, ya que, ayuda a remover las partículas de los colorantes textiles mediante su proceso de adsorción. Debido a esto, en el presente proyecto se estableció como objetivo la evaluación del carbón activado a partir de la cáscara de coco, ya que en zonas costeras de Veracruz abundan los residuos de este fruto, carecen de valor económico y pueden llegar a ser una problemática por su incorrecta disposición final. Para el proyecto, se realizó la recolección de materia prima y posteriormente su caracterización fisicoquímica; se carbonizó el material y una parte se activó por medio físico, se realizaron pruebas experimentales con carbón activado y sin activar a diferentes concentraciones de colorante textil. De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que, el carbón activado físicamente tiene una mayor capacidad de absorción a comparación del carbón sin activar, obteniendo hasta un 98% de remoción, concluyendo así que se trata de un producto con suma utilidad para el tratamiento de aguas, creando beneficios económicos y disminuyendo el impacto ambiental en aguas y suelos.

KEYWORDS

Wastewater, activated carbon, bio adsorption, activation.

Abstract

In textile industries, during the fabric dyeing process, colored wastewater is generated, its physicochemical characteristics cause a negative environmental impact by discharging them into bodies of water without a treatment. The use of activated carbon as part of the treatment is a viable alternative since it helps remove the particles of textile dyes through its adsorption process. Due to this, in the present project, the objective was established to evaluate activated carbon from coconut shells, since in coastal areas of Veracruz there is an abundance of waste from this fruit, they have no economic value and can become a problem due to its incorrect final disposal. For the project, raw material was collected and subsequently its physicochemical characterization was carried out; The material was carbonized, and a part was activated by physical means. Experimental tests were carried out with activated and inactivated carbon at different concentrations of textile dye. According to the results obtained, it was observed that physically activated carbon has a greater absorption capacity compared to inactivated carbon, obtaining up to 98% removal, thus concluding that it is a very useful product for the treatment of waters, creating economic benefits and reducing the environmental impact on waters and soils.

Introducción

A través del tiempo el ser humano ha aplicado la ciencia y la tecnología para satisfacer sus necesidades y en consecuencia propicia efectos perjudiciales que involucran la pérdida de ecosistemas naturales, contaminación ambiental, etcétera (Limón, 2024; Trujillo *et al.*, 2021; Peñafiel *et al.*, 2020; Carrasco *et al.*, 2012). El término de contaminación se le atribuye a toda modificación indeseable en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas de los recursos naturales (aire, agua y suelo) (Trujillo *et al.*, 2021; Garzón-Gutiérrez, 2022).

La contaminación del agua es generada a partir de diversas actividades antropogénicas (Pimienta-Serrano y Pacheco-Bustos, 2022), destacando la doméstica, industrial (Rajasulochana y Preethy, 2016) y agroindustrial (Genanaw *et al.*, 2021; Aguilar *et al.*, 2022). Las formas de contaminación contemplan descargas, dispersiones y emisiones de sustancias (orgánicas e inorgánicas) (Rajasulochana y Preethy, 2016).

Lo anterior, es debido a la gestión ineficiente y disposición final inadecuado de los residuos generados (Aguilar *et al.*, 2022), mismo que intensifica la problemática ambiental y produce efectos nocivos a los seres vivos (flora y fauna) y salud humana (Rajasulochana y Preethy, 2016; Anzules y Castro, 2022).

El agua comúnmente es utilizada como materia prima y/o servicio auxiliar (líquida o vapor) en distintos procesos industriales. Cuando el agua no se integra en el producto final, actúa como un agente disolvente que puede arrastrar diversos compuestos químicos, lo cual altera su composición fisicoquímica y puede adquirir cierta toxicidad que lo transforma en un agua residual (Limón, 2018; Trujillo *et al.*, 2021; Calle *et al.*, 2021).

Las problemáticas ambientales de una gestión ineficiente del agua residual involucran la contaminación de aguas superficiales originada por descargas directas y la

contaminación de mantos freáticos por el escurrimiento e infiltración de contaminantes vertidos en el suelo (Ibana *et al.*, 2021).

La industria textil requiere grandes volúmenes de agua para sus procesos. Como dato interesante, se ha reportado que por cada kilogramo de productos textiles se utiliza alrededor de 100 a 200 litros aproximadamente (Buscio *et al.* 2015; Tabales *et al.*, 2021; Ludmer *et al.*, 2023; Muriel-Páez y Pullas, 2022). Las aguas residuales de la industria textil contienen diversas sustancias químicas: colorantes, surfactantes, sales inorgánicas empleados en su línea de producción (Buscio *et al.* 2015; Soltani y Safari, 2016; Yurtsever *et al.*, 2016).

Una de las estrategias aplicadas para la eliminación de agentes contaminantes en aguas residuales (industriales y municipales) es el carbón activado (CA) basado en el proceso de adsorción física (Rincón *et al.*, 2015; Carrasquero *et al.*, 2022). Este tipo de material se ha utilizado desde la adsorción de CO₂, captación de metano (Mejía, 2018) y eliminación de colorantes de las aguas residuales (Rincón *et al.*, 2015; Carrasquero *et al.*, 2022; Bretón-Jiménez *et al.*, 2020). El carbón activado (CA) es un material adsorbente obtenido del proceso de carbonización de materias de origen vegetal (biomasa lignocelulósica) o mineral (Solís-Fuentes *et al.*, 2012). El término activado es utilizado para destacar que el material carbonizado ha recibido una preparación específica para promover un incremento su grado de porosidad y área superficial, cuya finalidad es mejorar su capacidad de adsorción (Zambrano-Campitelli y Pérez-Hernández, 2023; Solís-Fuentes *et al.*, 2012; Arévalo y Reátegui, 2020).

Los métodos de preparación y/o activación de carbón activado (CA) pueden ser físicos (Rincón *et al.*, 2015; Mejía, 2018) o químicos (Carrasquero *et al.*, 2022, Castellar-Ortega *et al.*, 2019; Zambrano-Campitelli y Pérez-Hernández, 2023). El método de activación química presenta la desventaja de generar residuos de los precursores o activantes (H₃PO₄, KOH, NaOH) provenientes del proceso de lavado del material

carbonizado. La activación física ofrece una alternativa con menor impacto ambiental al evitar el uso de sustancias químicas e incluso resulta ser más económica (García-Guel *et al.*, 2019; Murrieta-Barrera, 2019; Benabithé *et al.*, 2005).

Por otra parte, la producción de adsorbentes como el CA es posible a partir del aprovechamiento de residuos agrícolas (Arévalo y Reátegui, 2020) u orgánicos que serían la materia prima o precursores, por ejemplo, la cáscara de coco (Zambrano-Campitelli y Pérez-Hernández, 2023; Arévalo y Reátegui, 2020).

El cultivo y la producción de coco es muy abundante, principalmente en países tropicales (Zambrano-Campitelli y Pérez-Hernández, 2023). En 2020, la producción de coco en México fue de aproximadamente 234,976 toneladas, lo que equivale a un área de cultivo de 17,483 hectáreas y un rendimiento promedio nacional de 13.4 toneladas por hectárea (Axayacatl, 2023).

En este sentido, se han reportado diversos estudios en el que se ha propuesto el uso de residuos orgánicos para la elaboración de CA e incluso la aplicación del mismo. Burgos y Jaramillo (2015) utilizaron residuos de las cáscaras de cacao y coco provenientes de la provincia del Guayas para realizar carbón activado a diferentes temperaturas y tiempos con la finalidad de analizar el efecto en la calidad de adsorción. Por otro parte, Silupú, *et al.* (2017) caracterizaron y evaluaron carbones activados comerciales con estructuras microporosas y mesoporosas, los cuales se utilizaron en filtros para la descontaminación de metales pesados y microorganismos coliformes presentes en agua de río.

Los resultados indicaron un porcentaje de adsorción cercano al 100%. Finalmente, Zambrano y Pérez (2022), elaboraron carbón activado a partir de endocarpio de coco utilizando para la activación hidróxido de potasio, además, llevaron a cabo estudios de cinética de adsorción con soluciones de anaranjado de metilo a diferentes concentraciones. En resumen, emplear fibra de cáscara de coco como precursor de carbón activado resulta viable debido a su disponibilidad, bajo costo de procesamiento, brindar valor comercial a un residuo orgánico y proponer con una alternativa en la remoción de contaminantes.

Material y métodos

El presente trabajo se desarrolló en 5 etapas que se describen a continuación.

Recolección y caracterización del precursor

Se obtuvo la materia prima de diversos negocios dedicados a la venta de coco en la ciudad de Gutiérrez Zamora, Ver; los cuales fueron analizados visualmente para descartar aquellos que no se consideraron aptos, realizando la caracterización de la cáscara de coco.

Para la determinación de humedad, primero se cortó el residuo previamente seleccionado en cubos pequeños de aproximadamente entre 2-3 cm².

A continuación, se pesó en charolas de aluminio, anotando el peso inicial y posteriormente se introdujo en la estufa de secado (ECOSHEL, Modelo 9023-A) por 2 horas a una temperatura de 105 °C ± 5 °C; finalmente, se anotó el peso de la materia prima ya libre de humedad y se realizaron los cálculos correspondientes aplicando la ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(m_0 - m_{ss})}{m_0} \times 100\%$$

Ecuación 1. Fórmula para determinar porcentaje de humedad

Se determinó el porcentaje de cenizas, utilizando crisoles a peso constante, se agregaron 3 g de cáscara de coco, previamente libre de humedad y a continuación, se ingresó el crisol con la muestra en la mufla (ARSA AR-340) por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 500 °C. Al finalizar se pesó el crisol y se registró el peso final para realizar los cálculos (ecuación 2).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{g de residuo fijo}}{\text{muestra}} \times 100\%$$

Ecuación 2. Fórmula para determinar porcentaje de cenizas

A partir del resultado del porcentaje de cenizas, se determina el porcentaje de sólidos volátiles utilizando la ecuación 3.

$$\% \text{ SV} = 100\% - \% \text{ cenizas}$$

Ecuación 3. Fórmula para determinar sólidos volátiles

Finalmente, para determinar la densidad se colocó la muestra en una probeta limpia y tarada y a continuación se pesó para determinar la masa y medir el volumen, a partir de esto, los cálculos se realizaron aplicando la ecuación 4.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{peso de muestra (g)}}{\text{volumen de muestra (ml)}} \times 100$$

Ecuación 4. Fórmula para determinar densidad

Obtención del carbón

El material libre de humedad se sometió a un proceso de carbonización, colocándolo en la mufla (ARSA AR-340) a una temperatura de 300°C por 2 horas, obteniéndose así la estructura porosa; después, se enjuagó el carbón en agua destilada para eliminar cualquier residuo y se secó por una hora a 105°C en el horno de secado (ECOSHEL, Modelo 9023-A).

Activación del carbón

Una vez obtenido el carbón se llevó a cabo la activación física de este, sometiéndolo a una temperatura de 900°C por una hora en una mufla (ARSA AR-340), con la finalidad de que el poro del carbón sea más amplio, al finalizar, se enjuagó el carbón ya activado en agua destilada y se secó a 105°C por una hora en el horno de secado (ECOSHEL, Modelo 9023-A).

Diseño experimental

Se preparó una muestra sintética de agua residual con 3300 ppm de colorante azul comercial simulando la concentración del agua residual del teñido. Se empleó un diseño factorial completo 2² (Tabla 1) considerando el tipo de carbón (activado y sin activar) y la concentración del carbón en el agua residual (4% y 6%).

Tabla 1. Tratamientos obtenidos del diseño experimental

Tratamiento	Carbón	Concentración de carbón
T1	Sin activar	4%
T2	Activado	4%
T3	Sin activar	6%
T4	Activado	6%

Pruebas experimentales

Se utilizó 100 mL de agua sintética y se homogenizó con carbón de acuerdo con lo establecido en el diseño experimental, se tomaron muestras cada 20 minutos por una hora, para determinar la calidad de remoción del carbón en el agua teñida, realizando el procedimiento por duplicado. Para obtener la remoción de colorante se utilizó una curva de calibración obtenida de un espectrofotómetro UV-vis (VELAB, Modelo VE- 5100 UV) a 607 nm (ecuación 5).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{A_1 - A_f}{A_1} \times 100\%$$

Ecuación 5. Fórmula para determinar porcentaje de remoción

Finalmente, con los resultados recabados se obtuvieron los isoterms de absorción para validar el carbón activado según la metodología de López *et al.*, (2019).

Resultados

En la figura 1 se aprecia una vista a 20X de un gránulo de carbón activado obtenido, de manera visual se observa la porosidad en la superficie y el color característico del carbón. En relación con su caracterización se obtuvo una humedad de $85.22 \pm 5.22\%$, cenizas de $12.93 \pm 1.85\%$ y sólidos volátiles de $87.07 \pm 1.85\%$ lo cual concuerda con estudios realizados por Burgos y Jaramillo (2015) quienes reportaron humedad de 68.54% y cenizas de 13%.



Figura 1. Vista por microscopio de carbón activado 20x

En los experimentos de adsorción de colorante presentes utilizando carbón activado y sin activar, se analizó el comportamiento de la capacidad de adsorción en función del tiempo. Los resultados de concentración de equilibrio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados experimentales de los tratamientos

Tratamiento	Porcentaje de remoción %	Concentración en equilibrio ppm
T1	76.93 ± 2.12^a	761.18 ± 74.51
T2	90.39 ± 5.27^{bc}	316.89 ± 11.39
T3	81.15 ± 0.20^{ac}	621.96 ± 6.85
T4	98.44 ± 1.89^{bc}	51.27 ± 12.63

*Letras diferentes representan una diferencia estadística significativa.

Puede observarse una reducción apreciable del contenido de concentración de colorante y aumento de porcentajes de remoción con respecto a la concentración inicial de la solución. Además, con el carbón activado las concentraciones finales se mostraron prácticamente constantes a partir de los 20 minutos de tiempo siendo el tratamiento 4 el que mejores resultados presentó.

El análisis de media a través de la prueba de Tukey indicó que el tratamiento 4 con el tratamiento 2 son iguales, sin embargo, el tratamiento 4 con el 1 no comparten similitud, en cambio el tratamiento 3 es igual al tratamiento 1 y 2.

Con relación a las pruebas de remoción del carbón con y sin activar en los tratamientos utilizando 4% (Figura 2), se obtuvo un porcentaje de remoción del 90.39% en una hora de adsorción de carbón activado, a diferencia del carbón sin activar que solo logró 76.93%. El tiempo significativo se encontró a los 20 minutos, en tiempos superiores, aunque la remoción aumentó ligeramente no fueron cambios significativos, lo cual en caso de aplicación en filtros marcaría el tiempo de retención hidráulica a los 20 minutos.

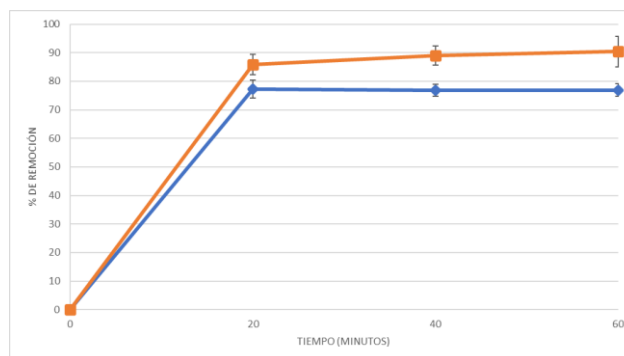


Figura 2. Gráfico de remoción de colorante frente al tiempo de contacto con carbón activado al 4%

En cuanto al porcentaje de remoción a una concentración de carbón de 6% (Figura 3), se puede observar que se muestra un porcentaje de remoción del 81.15% después de una hora con el carbón sin activar; en cambio, se determinó que con el carbón activado a la misma concentración y en el mismo tiempo se logró un porcentaje de remoción del 98.44%. En relación con el tiempo significativo, se encontró que a los 20 minutos no hay

cambio en relación con el uso de concentración de 4% de carbón activado.

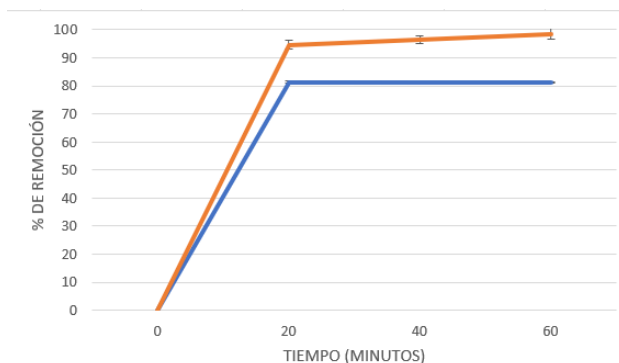


Figura 3. Gráfico de remoción de colorante frente al tiempo de contacto con carbón activado al 6%

Para el ANOVA de porcentaje de remoción con respecto al tipo de tratamiento se obtuvo un P-Value de 0.007, determinando así una hipótesis alternativa lo que nos dice que no todos los tratamientos son iguales por lo que al menos un tratamiento es diferente.

Con base a los resultados se encontró que la variable de tipo de carbón tuvo diferencia significativa ($p < 0.05$) dando mejores resultados el carbón activado. Mientras que, la concentración utilizada de carbón en las muestras de agua no mostró variaciones significativas ($p > 0.05$) lo cual indica que es mejor utilizar 4% para economizar el proceso.

Las isotermas de adsorción son muy importantes para diseñar procesos, proporciona la información sobre la capacidad de adsorción del adsorbente a las condiciones estudiadas. De los resultados obtenidos y realizando los cálculos correspondientes al isoterma de Langmuir (Figura 4) se encontró un ajuste del 97.54% y una capacidad máxima de adsorción correspondiente a 13.3511 mgg^{-1} . Este resultado indica que, por cada gramo de carbón activado, se pueden remover 13.3511 mg de colorante, por lo que se puede tomar como base para cálculo de la cantidad de empaque en el caso de diseñar filtros o columnas de adsorción.

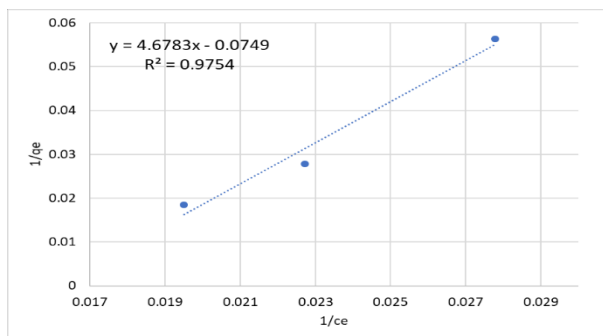


Figura4. Gráfico de isotermas de adsorción por Langmuir

Aunque hay muchos modelos de isotermas de adsorción, las ecuaciones de Langmuir y Freundlich son de las más frecuentemente utilizadas en la literatura. Estas expresan una relación no lineal entre el colorante adsorbido en el adsorbente y el colorante en la solución. Estos modelos de dos parámetros son simples y dan una buena descripción del comportamiento experimental en una amplia gama de condiciones operativas.

Conclusiones

Con los resultados experimentales del presente trabajo se logró evaluar la capacidad de adsorción y el porcentaje de remoción de colorantes textiles del carbón activado por medio de la temperatura utilizando como precursor residuos de coco. De acuerdo con las pruebas, el carbón activado físicamente muestra mayores remociones de colorante que el carbón que no se encuentra activado, logrando una remoción máxima experimental de $98.44 \pm 1.898\%$, haciéndolo un producto ideal para su uso como filtro en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, siendo un producto sostenible para con el agua y el suelo. También se concluyó que se trata de un producto rentable, pues está elaborado con un deshecho orgánico, por lo que esta materia prima se vuelve de fácil acceso y con bajos costos. En los experimentos de adsorción se obtuvo que el carbón activado muestra remociones mayores al carbón sin activar con una capacidad de adsorción máxima de 13.3511 mg/g de carbón. Cabe mencionar que en experiencias previas no se obtuvieron remociones en concentraciones menores al 2% por lo que se abre una oportunidad de realizar un análisis de optimización a futuro para encontrar la dosificación necesaria para remover el colorante. De igual forma se podría analizar la influencia del pH en el proceso de adsorción ya que al trabajar con agua sintética, el pH se mantuvo con valores ligeramente ácidos pero cercanos al neutro, por lo que se debe evaluar la influencia del pH principalmente para agua residual real cuyos pH en procesos de teñido son generalmente básicos por la presencia de soluciones básicas utilizadas como fijadores de color.

Contribución de los autores

SMHC, diseño del trabajo, análisis estadístico y redacción.

RALH, diseño del trabajo, análisis estadístico y redacción.

IHM, diseño y recolección de datos.

JLXJ, recolección de datos y redacción.

FJCD, recolección de materia prima y redacción.

EECA, recolección de materia prima y redacción.

Financiamiento

No se recibió ningún patrocinio para llevar a cabo este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Presentaciones previas

Ninguna.

Referencias

- Aguilar, S., Estrella, M. E. y Cabadiana, H. U. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. AXIOMA, (27), 5-11.
- Anzules, Í. D. C. P. y Castro, D. W. M. (2022). Contaminación ambiental. Recimundo, 6(2), 93-103.

- Arévalo, F. H. y Reátegui, K. (2020). Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza (*Cucurbita ficifolia*) obtenido por método químico. *Revista Forestal del Perú*, 35(1), 21-30.
- Benabithé, Z. Z., Rodríguez, D. A. R., Castiblanco, E. A., Janna, F. C., Giraldo, C. A. L. y Schile, J. D. P. (2005). Producción de carbón activado a partir de carbón subbituminoso en reactores de lecho fluidizado por proceso autotérmico. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 72(147), 46-56.
- Bourgeois, M. J. y Barragán, H. L. (2010). Contaminación de cursos de agua dulce. Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: la crisis de la sustentabilidad. 1ra ed. HL Barragán (ed.). La Plata, Universidad Nacional de La Plata, 199-216.
- Bretón-Jiménez, E., Melgar-Urbina, E. J., Hernández-Rivera, M. Á., Loredó-Cancino, M. y Dávila-Guzmán, N. E. (2020). Remoción del colorante AV7 presente en solución acuosa mediante carbón activado. *Ingenierías*, 23(89), 6-13.
- Buscio V., Marín M.J., Crespi M. y Gutiérrez-Bouzán C. (2015). Reuse of textile wastewater after homogenization-decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes. *Chem. Eng. J.* 265, 122-128. DOI: 10.1016/j.cej.2014.12.057
- Burgos Campuzano, G. E., & Jaramillo Quiroz, J. L. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad Ciencias Químicas).
- Carrasco, A. E., Sánchez, N. E. y Tamagno, L. E. (2012). Modelo agrícola e impacto socioambiental en la Argentina: monocultivo y agronegocios. Series: Serie Monográfica Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una nueva Latinoamérica; Monografía N° 1.
- Calle, O. E. B., Rivera, M. A. O. y Lalvay, X. A. L. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 153-166.
- Carrasquero, S., Montiel, A. R. D. y Andrade, G. D. J. C. (2022). Capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido del epicarpio de cítricos *sinensis* en la remoción de indigotina.
- Castellar-Ortega, G., Mendoza C, E., Angulo M, E., Paula P, Z., Rosso B, M. y Jaramillo C, J. (2019). Equilibrium, kinetic and thermodynamic of direct blue 86 dye adsorption on activated carbon obtained from manioc husk. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2), 7231-7238.
- Fajardo Sanchez, S. A. (2022). Carbón activado a partir de la cáscara de coco para la remoción de cobre en relave minero metalúrgico, Callao, 2022.
- Filippín, A. J., Luna, N. S., Pozzi, M. T., & Pérez, J. D. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 59-71.
- García-Guel, Y. Y., Múzquiz-Ramos, E. M. y Ríos-Hurtado, J. C. (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22(1), 1-16.
- Garzón-Gutiérrez, S. A. (2022). Derecho a vivir libres de la contaminación ambiental como herramienta de preservación de la vida humana: un imperativo de supervivencia. *Saberes Jurídicos*, 2(1), 2-8.
- Pimienta-Serrano, E. V. y Pacheco-Bustos, C. (2022). Perspectivas sobre el impacto ambiental de las actividades antropogénicas y la generación de residuos sólidos en playas del Caribe colombiano. *Ingeniería y competitividad*, 24(2).
- Genanaw W, Kanno GG, Derese D, Aregu MB. Effect of Wastewater Discharge From Coffee Processing Plant on River Water Quality, Sidama Region, South Ethiopia. *Environmental Health Insights*. 2021;15. doi:10.1177/11786302211061047
- Ibana-Lopez, Karla, Sihuy-Perales, Mayra, Garate-Quispe, Jorge, Araújo-Flores, Julio, Herrera-Machaca, Marx, Alarcón Aguirre, Gabriel, & Rodriguez-Achata, Liset. (2021). Contaminación de agua superficial de la periferia urbana de Puerto Maldonado, al sureste de la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(6), e20365.
- Limón, R. A. (2018). Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz. *Universidad Veracruzana*.
- Limón, R. A. (2024). Tratamiento de agua residual por electrocoagulación en un beneficio de café localizado en Huatusco, Veracruz. *Centro Universitario Bondpland y Humboldt*.
- López-Hernández, V., Morales-Moguel, O. E., Sosa-Fomperosa, A., Limón- Hernández, R. A., & Hernández-Martínez, I. (2019). Validación de la remoción de azo compuestos con carbón activado de exoesqueleto de camarón. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7(2), 241-250.
- Ludmer, G., Schuffer, N., Schteingart, D., Isaak, P., & Ibarra, I. (2023). Historia comparada de la industria textil-indumentaria argentina con el mundo.
- Mejía, M. V. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, 23(3), 411-419.
- Murrieta-Barrera, L. S. (2019). Evaluación de la capacidad de adsorción de carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la remoción de iones de arsénico en aguas residuales industriales.
- Muriel-Páez, M. y Pullas, M. (2022). El cáñamo, una fibra textil sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12155-12182.
- Peñafiel, A. P. P., Palafox Muñoz, A., Marín Marín, A. I., Oliveira, A. L. C. D., Santos, A. H., Ensabella, B. y Lopez Javier, S. (2020). *Boletín Geocrítica Latinoamericana* (no. 5 oct 2020).
- Rajasulochana, P. & V, Preethy. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water - A comprehensive review. *Resource-Efficient Technologies*. 2. 10.1016/j.refffit.2016.09.004.
- Rakhmania, Kamyab, H., Yuzir, M. A., Abdullah, N., Quan, L. M., Riyadi, F. A., & Marzouki, R. (2022). Recent Applications of the Electrocoagulation Process on Agro-Based Industrial Wastewater: A Review. *Sustainability* (Switzerland), 14(4). <https://doi.org/10.3390/SU14041985>.
- Rincón, J., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J. C. y 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 de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151), 171-175.
- Silupú, C. R., Solís, R. L., Cruz, G. J., Gómez, M. M., Solís, J. L., & Keiski, R. L. (2017). Caracterización de filtros comerciales para agua a base de carbón activado para el tratamiento de agua del río Tumbes-Perú. *Revista Colombiana de Química*, 46(3), 37-45.
- Solís-Fuentes, J. A., Morales-Téllez, M., Ayala-Tirado, R. C. y del Carmen Durán-de-Bazúa, M. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(1), 36-48.
- Soltani, R. D. C., & Safari, M. (2016). Periodate-assisted pulsed sonocatalysis of real textile wastewater in the presence of MgO nanoparticles: Response surface methodological optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 181-190.
- Tabales, J. M. N., del Amor Collado, E. y Carmona, F. J. R. (2021). Economía circular en la industria de la moda: pilares básicos del modelo. *Revista de ciencias sociales*, 27(4), 162-176.
- Trujillo, S. A., Cortés, C. P., Vinasco, M. C., Ortega, J. D., & Cruz, C. A. (2021). Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito - Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y*

Ambiente, 23(2).

Yurtsever, A., Çınar, Ö., & Sahinkaya, E. (2016). Treatment of textile wastewater using sequential sulfate-reducing anaerobic and sulfide-oxidizing aerobic membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 511, 228-237.

Zambrano Campitelli, M. E., & Pérez Hernández, M. M. (2023). Elaboración de carbón activado a partir de endocarpio de coco para la remoción de anaranjado de metilo en fase acuosa. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39.