



DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v8i14.0407>

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS DE CASCARILLA DE ARROZ

### DETERMINATION OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ACTIVATED CARBONS OBTAINED FROM RICE HUSK

Peña-Murillo Sandra Emperatriz <sup>1</sup>; Zambrano-Nevarez Eddie Manuel <sup>1\*</sup>; Rosero-Rojas Jaime Amado <sup>2</sup>; Novillo-Celleri Johnny Enrique <sup>2</sup>; Cedeño-Loja Pedro Darío <sup>2</sup>; Cárdenas-Briones Denis Kevin <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Guayaquil. Ciudadela Universitaria Av. Delta S/N y Av. Kennedy. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito Km 1 ½ vía Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

\*Correo: eddie.zambranon@ug.edu.ec

#### Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas de tres variedades de carbones activados obtenidos a partir de cascarilla de arroz. La variable independiente se definió como el método de activación aplicado al carbón activado, que incluyó tres modalidades: la activación con ácido fosfórico (CAAF), la activación física (CAF) y la activación con ácido cítrico (CAAC). Las variables respuesta fueron rendimiento (%) y adsorción de naranja de metilo (mol/g). Cada experimento se llevó a cabo en cuatro ocasiones, sacando sus medias estadísticas. Los resultados validaron que el tipo de activación aplicado al carbón varía las variables dependientes, el tratamiento con CAAC evidenció los mejores valores en rendimiento (41,6 %) y el de CAAF para la adsorción de naranja de metilo ( $4 \times 10^{-4}$  mol/g). Se concluye que el CAAF y CAAC representan la variedad de carbón activado con un mayor potencial en términos de aplicaciones de adsorción.

**Palabras claves:** carbón activado, adsorción, tratamiento de agua.

#### Abstract

This study aimed to determine the physicochemical properties of three varieties of activated carbons obtained from rice husks. The independent variable was defined as the activation method applied to the activated carbon, which included three modalities: activation with phosphoric acid, physical activation, and activation with citric acid. The dependent variables were yield (%) and methylene orange adsorption (mol/g). Each experiment was conducted four times, and their statistical means were calculated. The results confirmed that the type of activation applied to the activated carbon affects the dependent variables. The treatment with activated carbon with citric acid demonstrated the best values in terms of yield (41,6 %), and activated carbon with phosphoric acid was the most effective for methylene orange adsorption ( $4 \times 10^{-4}$  mol/g). It was concluded that activated carbon with phosphoric acid and citric acid, represent varieties of activated carbon with greater potential for adsorption applications.

**Keywords:** activated carbon, adsorption, water treatment.

#### Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 22 de septiembre de 2023.

Fecha de aceptación: 10 de noviembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2024.





## 1. Introducción

La producción de arroz es una de las actividades agrícolas más significativas en Ecuador (MAGAP, 2020), su elevada producción ocasiona desechos en masivas cantidades como es el caso de su principal subproducto (cascarilla de arroz) (Naveda et al., 2019), dado que el 20% del peso del grano consiste en desechos (Tobar y Quijije, 2017).

Se han presentado diversas alternativas para aprovechar la cascarilla de arroz como fuente de biocombustible (Altamirano, 2021; Bastidas y Vera, 2020). Un reemplazo parcial del cemento en la mezcla de concreto (Castro et al., 2021) y la transformación en carbón activado son sus principales aplicaciones (Mejía, 2018).

A partir de la cascarilla de arroz, es posible obtener dos productos: carbón activado y sílice, gracias a su notoria porosidad y gran área superficial (Quijano, 2013). El carbón activado se deriva del carbón amorfo que se ha sometido a un proceso de activación con el propósito de aumentar su área superficial hasta 300 veces gracias a la creación de

poros internos. La mayoría de los carbones activados comerciales tienen un área que oscila entre 500 y 1500 m<sup>2</sup>/g (Sevilla, 2011).

Conforme a la investigación de López et al. (2020), el carbón activado, gracias a su estructura porosa interna altamente desarrollada, posee la habilidad de adsorber olores y gases nocivos, lo que también contribuye a su eficacia en eliminar sabores, colores, sustancias contaminantes y compuestos orgánicos.

El carbón activado obtenido de la cascarilla de arroz encuentra una amplia gama de aplicaciones, como para la purificación de agua contaminada (Anchatuña et al., 2019), tanto como adsorbente y catalizador, en la eliminación de olores y sabores indeseados, así como la extracción de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en líquidos o gases, en el proceso de blanqueo de aceites comestibles (Prada y Cortés, 2010) y también se emplea en la industria como un agente de adsorción para procesos de recuperación, purificación, separación y como soporte en



columnas de cromatografía (Quijano, 2013).

En consecuencia de lo mencionado, el propósito de este estudio fue evaluar diversas variedades de carbones activados derivados de cascarilla de arroz y activados mediante métodos tanto físicos como químicos, como una opción para la adsorción de contaminantes acuosos.

## 2. Metodología

La cascarilla de arroz de la variedad INIAP-11 se obtuvo del sitio Las

Jaguas del cantón Rocafuerte provincia de Manabí de la República del Ecuador.

Los análisis metodológicos se efectuaron en un laboratorio de química.

La variable independiente del estudio, fue el tipo de activación del carbón activado con tres niveles. Todos los tratamientos fueron ejecutados en cuatro repeticiones, obteniéndose 12 unidades experimentales, que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** *Tratamientos del estudio*

Factor	Tratamiento
Carbón mediante activación con Ácido fosfórico (CAAF)	T1
Carbón mediante activación con Ácido cítrico (CAAC)	T2
Carbón mediante activación física (CAF)	T3

Las variables respuesta fueron rendimiento (%) y adsorción de naranja de metilo (mol/L). Cada unidad experimental partió con 25 g de cascarilla de arroz para la obtención de carbón activado.

### 2.1. Síntesis de los carbones activados

Se seleccionaron al azar 5 kilogramos de cascarilla de arroz de la variedad INIAP-11, la cual estaba en la fase de pilado avanzada. Luego, se trasladaron a las instalaciones del laboratorio.



El proceso inicial de preparación para la activación comenzó con la deshidratación de 500 gramos de cascarilla de arroz en un horno KOTTERMANN D3165 Hänigsen (220 voltios, 925 vatios) a una temperatura de 105 °C durante una hora, esto se llevó a cabo en un recipiente de porcelana con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de humedad de la muestra. A continuación, se redujo el tamaño del material a aproximadamente 1-2 mm (malla 10-18 mesh) al pasar por un tamiz FISHER SCIENTIFIC COMPANY (ASTM E-11).

Para llevar a cabo el proceso de activación física, se tomó una muestra de 25 gramos y se colocó en un mortero de 100 mm, luego, se humedeció con agua destilada y se hirvió hasta alcanzar una conductividad de 0,5 microsiemens por centímetro. Posteriormente, se trasladó a un horno de mufla TERMOLYNE. FB1315M, el cual tiene un rango de temperatura que va desde 25 hasta 1125 °C, y se mantuvo a una temperatura de 400 °C durante dos horas. Después de este proceso, el material se enfrió en una mufla durante 24 horas hasta

que alcanzó la temperatura ambiente. Finalmente, el material resultante se lavó con agua destilada hasta que su pH llegó a ser neutro.

Para la activación química, se comenzó con la utilización de 25 gramos de cascarilla de arroz y se los mezcló con 50 ml de una solución de ácido fosfórico (40 %) en un mortero de 100 mm durante un período de 24 horas, para su posterior secado en un horno KOTTERMANN a una temperatura de 150 °C por dos horas. A continuación, se sometieron a una temperatura de 400°C en un horno de mufla TERMOLYNE durante otras dos horas para lograr la carbonización, después, se enfriaron en una mufla durante 24 horas. Luego, se lavaron con agua destilada caliente hasta que el pH alcanzó un valor neutro, y el material resultante se secó a 105 °C por el lapso de 24 horas. Este mismo proceso se repitió para la activación con ácido cítrico (Hidalgo y Rivera, 2017).

Una vez obtenidas las tres variantes, es decir, el carbón activado con ácido fosfórico, el carbón activado físicamente y el carbón activado con ácido cítrico, se procedió a llevar a



cabo su caracterización, la cual se describirá a continuación.

## 2.2. Rendimiento

Se calculó utilizando la ecuación 1, que se basa en la proporción entre la cantidad de carbón generado y el peso inicial de la cascarilla de arroz después de haber sido deshidratada.

$$\% R = \left( \frac{\text{peso del carbón activado}}{\text{peso de la cascarilla seca}} \right) \times 100 \text{ (Ec. 1)}$$

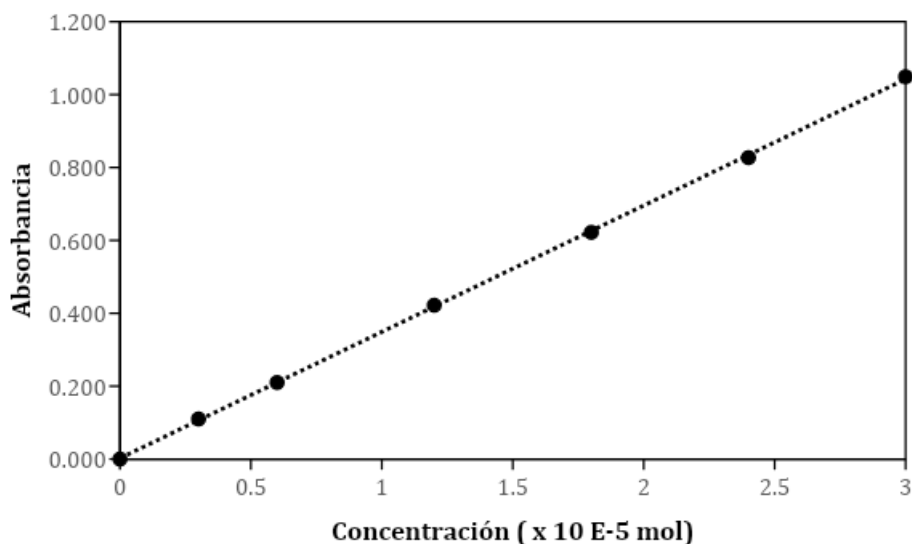
## 2.3. Adsorción de naranja de metilo

Se elaboró una solución de referencia utilizando anaranjado de metilo con una concentración de  $3,0 \times 10^{-5}$  mol/L. Este proceso comenzó con la creación de una solución madre de  $1,0 \times 10^{-3}$  mol/L, la cual se obtuvo disolviendo 0,327345 gramos de anaranjado de metilo (cuyo peso molecular es de 327,34 gramos/mol) en 1000 mL de agua destilada. Luego, se tomó una porción de 30 mL de esta solución madre y se completó el volumen con agua

destilada en un matraz volumétrico de un litro.

Se tomó un tubo de ensayo que contenía 10 mL de la solución estándar y se le añadieron 200 mg de carbón activado previamente deshidratado, luego se llevó a cabo un proceso de adsorción en el cual se tomaron lecturas en intervalos de tiempo de 2, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos. Una vez concluido el proceso de adsorción, se filtró la solución y se efectuaron lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible de la marca HACH DR/2000 a una longitud de onda de 465 nm. A partir de estos datos, se determinó la concentración utilizando una curva estándar.

Con antelación, se llevó a cabo la construcción de una curva de calibración estándar en la que se compararon los valores de absorbancia con las concentraciones conocidas (Figura 1).



**Figura 1.** Curva estándar de calibrado naranja de metilo  $3 \times 10^{-5}$  mol

La cantidad de anaranjado de metilo adsorbido se determina por la ecuación 2.

$$\text{mol/g carbón} = \frac{(CS-CF) \times 5}{100} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

CS= concentración molar de la solución estándar.

CF= concentración molar del filtrado.

El resultado se expresa en términos de la cantidad de moles de

anaranjado de metilo adsorbidas por cada gramo de carbón activado, y se basó en el método descrito por Lehner (2010).

### 3. Resultados y discusión

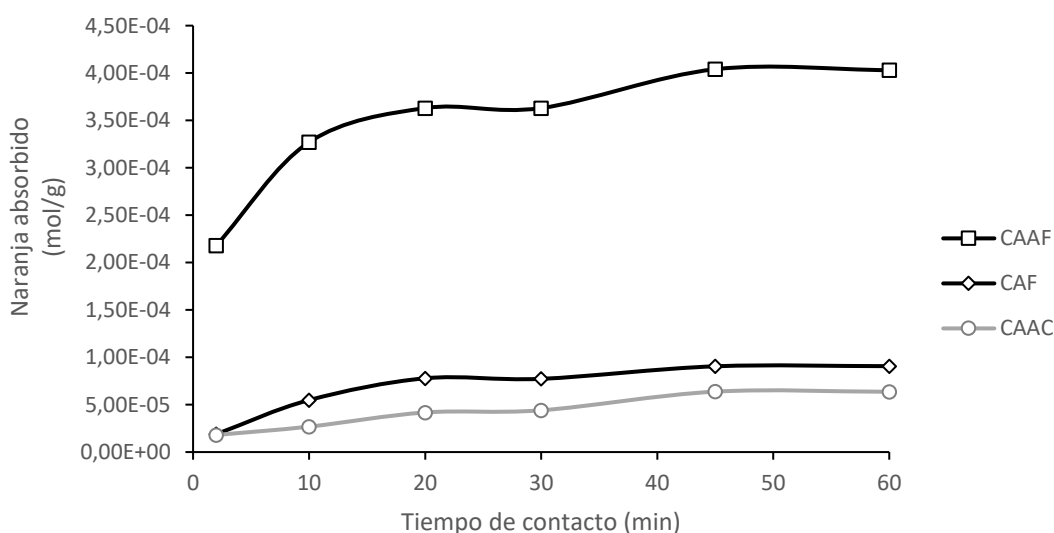
Como se puede observar en la tabla 2, los datos revelan que los rendimientos fueron del 32,8% para el CAAF, del 41,6% para el CAAC y del 25,8% para el CAF. Es importante resaltar que el mejor rendimiento se obtuvo con el CAAC.

**Tabla 2.** Rendimiento y capacidad de adsorción de los carbones activados

Tratamiento	Rendimiento (%)	Adsorción de naranja de metilo (mol/g)
T1-CAAF	32,8	$4 \times 10^{-4}$
T2-CAAC	41,6	$6,4 \times 10^{-5}$
T3-CAF	25,8	$9,1 \times 10^{-5}$

La figura 2 y la tabla 2 proporcionan una representación más clara de la capacidad de adsorción de los tres tipos de carbón a lo largo del tiempo. El CAAF mostró el mejor desempeño con una concentración de  $4 \times 10^{-4}$  mol/g, seguido por el CAF con  $9,1 \times 10^{-5}$  mol/g y el CAAC con  $6,4 \times 10^{-5}$  mol/g. Estos resultados de

adsorción de anaranjado de metilo permiten hacer una estimación de qué tipo de carbón podría ser más eficiente en la eliminación de carotenos, lo que tiene un impacto directo en el proceso de adsorción y distingue un tipo de carbón activado de otro.



**Figura 2.** Curva de adsorción de naranja de metilo de los carbones activados con respecto al tiempo

### 3.1. Discusión

La operación de lavado, filtración y secado de los carbones puede resultar en la pérdida de material, lo que se refleja en un mejor desarrollo experimental en el caso de CAAC y CAAF (Díaz et al., 2023). Además, las propiedades del carbón activado están significativamente

influenciadas por el proceso de activación, esto implica que cambios en los parámetros del proceso de activación, como la concentración de ácido o el tiempo de activación, afectan directamente el rendimiento y otros parámetros posteriores (Palacios y Vera, 2021).





Carbones activados químicamente con ácido fosfórico, producidos a partir de cáscaras de naranja, mostraron rendimientos comparables del 36 % (Peña et al., 2012). Asimbaya et al. (2015) obtuvieron rendimientos máximos de 29,3 % con aserrín de laurel al activar químicamente con ácido fosfórico, argumentando dichos valores al hecho de que al existir menor tamaño de partícula, tenderá aumentar la capacidad de adsorción. Otras investigaciones llevadas a cabo para producir carbón activado a partir de distintos tipos de desechos orgánicos, como cáscaras de naranjas, cascarillas de café y bagazo de caña, han arrojado rendimientos cercanos al 40 %, 33 % y 35 %, respectivamente (Solís et al., 2012).

La capacidad de adsorción del anaranjado de metilo es un factor de gran relevancia y de acuerdo con Farrera et al. (2017) se relaciona directamente con la eficacia de adsorción del carbón activado. Este parámetro se considera un indicador previo a la experimentación, adicionalmente la adsorción de una sustancia por carbón activado está condicionada por el período de

interacción entre ambas, alcanzando la saturación cuando la cantidad de sustancia adsorbida tiende a estabilizarse con el tiempo. El tiempo de interacción se encuentra en relación directa con la cantidad de colorante eliminado, independientemente de la concentración, en los primeros minutos del proceso, se adsorbe la mayor cantidad de colorante, ya que en ese periodo inicial, el adsorbente dispone de una mayor cantidad de sitios de adsorción que son fácilmente accesibles (Zambrano y Pérez, 2023).

No es común encontrar información detallada sobre la capacidad de adsorción de anaranjado de metilo en las fichas técnicas de carbones activados, aunque se pudo identificar un informe de Jacobi (2012) que indicaba una capacidad de adsorción de 170 mL/g de azul de metileno. Además, Farrera et al. (2017) utilizaron este método para evaluar un carbón activado obtenido a partir de residuos de café y obtuvieron un resultado de  $1,2 \times 10^{-6}$  mol/g.

#### **4. Conclusiones**

La caracterización fisicoquímica de carbones activados obtenidos por



activación física y química, demostraron cambios significativos en todas las variables respuesta. El tratamiento que obtuvo el máximo rendimiento fue CAAC con 41,6 %; el CAAF obtuvo la mejor adsorción de naranja de metilo con el  $4 \times 10^{-4}$  mol/g.

El trabajo planteado en la presente investigación verificó que el carbón activado obtenido por desechos de cascarilla de arroz tiene potencial para su uso como alternativa a los adsorbentes tradicionales debido a que se obtuvieron datos que son comparables a las reportadas en la literatura.

## Bibliografía

- Altamirano, C. E. C., Calvopiña, F. G. L., Chicaiza, X. M. P., & Pilco, C. R. J. (2021). Potencialidad de Biocombustibles a partir de Residuos Orgánicos. *Revista Scientific*, 6(21), 40-57. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2021.6.21.2.40-57>
- Anchatuña, D. X. G., Quiñonez, N. Q., Cercado, M. E. J., & Naranjo, D. M. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando adsorbentes naturales. *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(3), 12-23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7046815>
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D., & Guerrero, V. H. (2015). Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto. *Revista Politécnica*, 36(3), 24-24. [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/537/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/537/pdf)
- Bastidas, J. V., & Vera, J. M. (2020). Biocombustible Sólido A Partir De Residuos Que Generan Los Procesos Agroindustriales Del Sector El Empalme. *Ingeniería e Innovación*, 8(22). <https://doi.org/10.21897/23460466.2333>
- Castro, C. M. J., Martínez, R. A. P., Zamora-Ledezma, C., & Zamora-Ledezma, E. (2021). Caracterización preliminar de la ceniza de cáscara de arroz de la provincia Manabí, Ecuador, para su empleo en hormigones. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, 44(1), 44-50. <https://www.redalyc.org/journal/6057/605772532007/605772532007.pdf>
- Díaz-Campozano, E. G., Palacios-Zambrano, J. J., Proaño-Molina, I. E., Vera-Vera, Á. R., & Bosquez-Mestanza, A. L., &

- Mendoza-Pico, V. A. (2023). Remoción de jabones en aceites neutralizados con aplicación de cenizas de cáscara de arroz. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 7(13), 28-39.  
<https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0352>
- Farrera, R., Marroquín, C. A., Cid, M., Dávila, E., García, H., & Méndez, M. A. (2017). Producción de carbón activado a escala de laboratorio a partir de residuos de café. *Revista Pakbal*, 40, 40-44.  
[https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos\\_revista/revistapakbal\\_40\\_pag40-44.pdf](https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag40-44.pdf)
- Hidalgo, C & Rivera, S. (2017). Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria. ESPOL.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102854/DCD102896.pdf>
- Jacobi (2012) Carbón activado para agua potable. Recuperado de: <https://n9.cl/ymg1r>
- Lehner, R. (2010). Planta piloto para carbón activado. ESPOL.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8474>
- López, T., Acevedo, P., y Acevedo, E. (2020). Producción de carbón activado como estrategia para disminuir los residuos agroindustriales generados en Santander. *Unidades Tecnológicas de Santander*, 1-4.  
<https://n9.cl/5hkwm>
- Mejía, M. V. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et technica*, 23(3), 411-419.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) (2020). Panorama agro-estadístico de agosto 2020. Recuperado el 18 de septiembre de 2020 de [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama\\_estadistico/panorama\\_estadistico.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf)
- Naveda Rengifo, R. A., Jorge Montalvo, P. A., Flores del Pino, L., & Visitación Figueroa, L. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 352-361.  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a07v85n3.pdf>
- Palacios Zambrano, J. J., & Vera Vera, Á. R. (2021). Efecto del carbón activado de cascarilla de arroz y dosis de aplicación en el blanqueo del aceite de palma híbrida (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*) (Mater's



- thesis, ESPAM MFL). Archivo digital.  
<https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1584>
- Peña, K. J., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2012). Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 311-323.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042012000200010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042012000200010&script=sci_arttext)
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14, 155-170.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-37092010000300013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092010000300013)
- Quijano, C. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz- una revisión. *Scientia et Technica*, 18(2), 422-429.  
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84929153019.pdf>
- Sevilla, U. (2011). Manual del carbón activo. Aula. aguapedia. org, 1-89.  
<https://acortar.link/OSBGY>
- Solís-Fuentes, J. A., Morales-Téllez, M., Ayala-Tirado, R. C., & 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.  
<https://www.redalyc.org/pdf/482/48224413006.pdf>
- Tobar, E. y Quijije, K. (2017). Estudio de factibilidad en la implementación de una empresa de reciclaje a base de cáscara de arroz en el cantón Daule, provincia del Guayas, con el fin de abastecer a plantas industriales de paneles solares. (Bachelor's thesis, Universidad Estatal de Guayaquil). Archivo digital.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20191>
- 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.  
<https://doi.org/10.20937/rica.54514>