

**Adsorción de amoniaco en carbón activado de *pinus tropicalis* de Pinar del Río**

***Adsorption of ammonia in activated carbon from pinus tropicalis* of Pinar del Río**

**René Antonio Rojas Concepción**

Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Instructor de la Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Dirección de Informatización, Pinar del Río, Cuba, teléf.: +5348763767, rene@upr.edu.cu; ID: <http://orcid.org/0000-0002-7622-5551>

**José Guadalupe Rutiaga Quiñones**

Ingeniero en Tecnología de la madera, profesor Titular de la Universidad Michoacana de San Nicolás De Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de La Madera, Michoacán, México, teléf.: +5214431871679, jrutiaga@yahoo.com.mx; ID: <http://orcid.org/0000-0002-8617-8947>

**Francisco Márquez Montesino\***

Doctor en Ciencias Forestales (Química Aplicada), profesor Titular de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Departamento de Química, ciudad de Pinar del Río, Cuba, teléf.: +5348762355, marquezmontesino1992@gmail.com; ID: <http://orcid.org/0000-0003-0434-0531>

**Para citar este artículo / to reference this article / para citar este artigo**

Rojas, R., Rutiaga, J. G. y Márquez, F. (2020). Adsorción de amoniaco en carbón activado de *pinus tropicalis* de Pinar del Río. *Avances*, 22(2), 277-289. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/541/1613>

**Recibido:** 5 de diciembre de 2019

**Aceptado:** 3 de marzo de 2020

**RESUMEN**

Los residuos forestales del procesamiento de la madera, son contaminantes y fuentes de posibles incendios, perjudicial para la sociedad. Por tal razón la creación de un producto de gran importancia como es el

carbón activado, convierte al aserrín en materia prima con valor agregado. Esto condujo a plantear el objetivo de determinar las posibilidades del carbón activado con ácido fosfórico, obtenido del aserrín de *pinus*

*tropicalis*, para la adsorción de vapores de amoníaco, el cual es un posible contaminante por escape en diferentes industrias cubanas, lo cual constituye un problema a resolver. Para la caracterización de los carbones, se determinó la influencia de la concentración del ácido, relación de impregnación y temperatura de activación en el desarrollo de la estructura porosa medida por la técnica de yodo. Además de la biomasa seleccionada, se experimentó con aserrín de *pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea*, a modo de comparación, ambos de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los experimentos mostraron que la activación con ácido fosfórico con concentración de 40 % y temperatura de activación de 500 °C, se produce un carbono activado con buenas propiedades para la adsorción de vapores de amoníaco, así como buenos valores de índice de yodo. Para una concentración del ácido de 40 %, temperatura de activación de 500 °C y una relación de impregnación de 2, se obtuvieron los mejores resultados en valores de índice de yodo y adsorción de vapores de amoníaco. Los resultados de *pinus tropicalis* fueron superiores a los de *pinus caribaea*.

**Palabras clave:** pino, carbón activado, adsorción.

#### ABSTRACT

The accumulation of forest residues in sawmills and other industrial sites of wood processing, can become a polluting center

and a possible source of fire, which will always be harmful to society. For this reason, the creation of a product of great importance such as activated carbon, converts sawdust into raw material with added value. This led us to consider the objective of determining the possibilities of activated carbon with phosphoric acid, obtained from sawdust of *tropicalis* pine, for the adsorption of ammonia vapors, which is a possible exhaust contaminant in different Cuban industries. For the characterization of the coals, the influence of the acid concentration, impregnation ratio and activation temperature on the development of the porous structure measured by the iodine technique was determined. In addition to the selected biomass, it was experimented with sawdust of *pinus caribaea* var. *Caribaea*, by way of comparison, both from the province of Pinar del Río, Cuba. Experiments showed that activation with phosphoric acid with a concentration of 40% and activation temperature of 500 °C, produces an activated carbon with good properties for the adsorption of ammonia vapors, as well as good iodine index values. For an acid concentration of 40%, activation temperature of 500 °C and an impregnation ratio of 2, the best results were obtained in iodine index values and adsorption of ammonia vapors.

**Key words:** pine, activated carbon, adsorption.

## INTRODUCCIÓN

El Carbón Activado (CA) es un material con elevada capacidad de adsorción y tiene varios usos dependiendo de las necesidades, como en muchas industrias, para el tratamiento de aguas residuales, medicina, decoloración de azúcar, adsorción de vapores, adsorción de virus y bacterias, entre otras aplicaciones.

En la obtención del CA, se destacan dos métodos generales de activación, la activación física y la activación química acorde a Loannidou & Zabanioto (2007).

En la activación física hay dos etapas. La primera consiste en el tratamiento térmico del material de partida en atmósfera inerte, o sea la pirolisis. En esta etapa se libera la materia volátil quedando una estructura carbonosa. La segunda etapa es la activación donde una corriente de dióxido de carbón o vapor de agua oxida al carbón creando una estructura porosa en el mismo, (Bansal, Donnet, & Stoekli, 1988). Puede utilizarse como agente activante (sustancia química) otros gases como el oxígeno y combinaciones de los diferentes agentes activantes. De esta manera se eleva el porcentaje de carbono fijo en el carbón obtenido. Resultados similares han sido publicados por Bilen (2019) y Malucelli *et al.* (2019), a la vez que disminuye el porcentaje de material volátil que es bastante elevado en la biomasa forestal según Ruiz-Aquino *et al.* (2019). No obstante, es necesaria la presencia de material volátil, pues ello facilita el desarrollo

de la superficie porosa durante el proceso de activación.

En la activación química, el material de partida es inicialmente impregnado con la sustancia química, degradándose el material celulósico volátil. Esta etapa facilita que el precursor carbonice a baja temperatura. La activación química es preferida sobre la activación física debido a las bajas temperaturas de activación y el corto tiempo necesario para el proceso de activación. Después de la impregnación, en ausencia de aire, el material impregnado es calentado en un horno, en atmósfera inerte, a temperatura entre 400 y 800 °C. Posteriormente, el material es enfriado, lavado y secado. El agente activante más comúnmente utilizado es el ácido fosfórico tal como refieren Vernersson, Bonelli, Cerrella & Cukierman (2002) y Soleimani & Tahereh (2007) en sus reportes. Además, se utiliza cloruro de zinc, ácido sulfúrico, entre otros, Nieto, Terrones, & Rangel (2011).

El CA tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en polvo como granular en medio líquido y gaseoso. En medio gaseoso encuentra sus aplicaciones en el almacenamiento y separación de gases y vapores, entre ellos está el NH<sub>3</sub> como reporta Rodríguez de Moraes & de Nóbrega (2007) y Márquez, Zanzi, Birbas, Aguiar & Ramos (2013). Esta sustancia ha sido estudiada por adsorción por estar presente en los procesos industriales, siendo necesario separarlo para una mayor limpieza de gases y

descontaminación, Saha & Deng, (2010).

Debido a la acumulación de residuos forestales en aserraderos y demás sitios industriales del procesamiento de la madera, los que pueden convertirse en centros contaminantes y de posibles fuentes de incendios, siempre perjudicial para la sociedad, se propuso el objetivo de determinar las posibilidades del carbón activado con ácido fosfórico, obtenido del aserrín de *pinus tropicalis*, para la adsorción de vapores de amoniaco, lo cual constituye

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Experimental:** En este trabajo se utilizó aserrín de *pinus tropicalis* de la empresa Forestal Integral San Juan y Martínez, provincia de Pinar del Río, Cuba. El aserrín fue mezclado con una disolución de ácido fosfórico original al 85 % sobre la base de los resultados publicados por Márquez, Ocampo, & Brown (1995), Márquez, Zanzi, Birbas, Aguiar, & Ramos (2013), Moreno, Márquez, Rutiaga, Rico, & Carrillo (2018), (Emre et al. (2019) y Xue et al. (2019). Para su comparación, también se realizaron ensayos con carbón activado de aserrín de *Pinus Caribaea* Morelet *var. caribaea*, correspondiente a las plantaciones forestales del municipio Viñales, Pinar del Río, debido a que son plantaciones del mismo género y a que existen en los aserraderos gran acumulación de aserrín de este pino. Además, se ha reportado adsorción de amoniaco en carbones activados de esta especie de pino (Márquez, Pimentel, Martínez

un problema a resolver en las industrias químicas. Para ello se estableció un esquema experimental de obtención de un carbón activado por activación química, a partir de aserrín de *pinus tropicalis*, de las plantaciones forestales de la zona norte del municipio de San Juan y Martínez, provincia de Pinar del Río, Cuba. Se hizo una caracterización de su capacidad de adsorción de yodo y amoniaco en condiciones normales de temperatura y presión.

& González-Peña (2013). Las muestras de ambas variedades de pino, recibieron el mismo tratamiento.

### **Proceso de activación del carbón:**

**Activación:** Las muestras de pino fueron secadas en un horno eléctrico a 60 °C durante 48 horas, acorde a la norma (ASTM E1757-01, 2007).

Posteriormente, las muestras de aserrín de pino fueron impregnadas con una disolución de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 30 %, 40 % y 50 %, en masa. La relación de impregnación (RI), volumen/volumen ( $cm^3/cm^3$ ) fue de 1:1 y 1:2, acorde a los resultados obtenidos por Márquez, Ocampo & Brown (1995); Suárez, Martínez & Tascón (2001) y Moreno, Márquez, Rutiaga, Rico & Carrillo (2018). La mezcla impregnada se mantuvo en reposo por un tiempo de 12 horas para la total absorción del ácido por parte de la biomasa. Para la activación, se

seleccionaron los valores de temperatura de activación de 400 °C y 500 °C.

**Análisis del carbón activado:** La capacidad de adsorción de los carbones activados, fue determinada por dos vías diferentes: número de yodo para determinar el índice de yodo, que es un valor aproximado a la superficie microporosa de un adsorbente. La adsorción de amoníaco se efectuó además para determinar la capacidad de descontaminación de estos carbones y las condiciones para los mejores resultados.

*Número de yodo:* Para obtener información acerca del desarrollo de la superficie porosa, se aplicó la técnica de adsorción de yodo, la cual proporciona un valor aproximado acerca del desarrollo de la superficie porosa, similar al valor proporcionado por la Teoría BET (Thommes *et al.*, 2015).

Para la determinación del índice de yodo se aplicó la norma ASTM D4607-94, 2006. Se colocó 0.1 g de carbón activado en un frasco con 25 mL de solución de yodo. La muestra se mezcló con la solución de yodo con agitación magnética durante un minuto. Posteriormente se filtró, tomándose 10 mL del filtrado usando una pipeta volumétrica, depositándose el volumen en otro recipiente. Finalmente, la solución filtrada fue valorada con disolución de tiosulfato de sodio hasta su decoloración. El número de yodo se

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Número de yodo:* De la *Tabla 1* puede derivarse que los carbones activados obtenidos a 500 °C, para ambas especies de

determinó por la siguiente ecuación:

$$\text{Número de yodo} = \frac{I * (A - V) * N * M}{A * B} \quad [1]$$

Donde:

I = cantidad de yodo mezclado con CA (mL)

A = volumen de disolución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> de concentración molar del equivalente de 0.04, usada para la valoración de 10 ml de la disolución de yodo (mL)

V = volumen de disolución de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, usada para la valoración de 10 ml de la disolución filtrada (mL)

B = masa de la muestra (g)

M = masa molar del yodo

N = concentración de la disolución de yodo (concentración molar del equivalente de 0.046)

Se realizaron 12 experimentos acorde a la experiencia obtenida por Márquez *et al.* (2013).

*Adsorción de amoníaco:* El carbón activado se puso en contacto con una atmósfera de amoníaco, dentro de una cristalizadora sellada. A las 24 horas se asumió que todo el adsorbente se había agotado por el proceso de adsorción. La muestra fue extraída y pesada nuevamente. La diferencia de peso del carbón activado antes y después de la adsorción, determinó su capacidad de adsorción.

pino, presentan un mayor número de yodo que los obtenidos a 400 °C. Lo anterior puede ser explicado, por el mayor desarrollo

de la estructura porosa (Elisadiki, Abeid, Lazaro, & Enock, 2019) de los carbones activados a este valor de temperatura, lo que facilita la penetración de las moléculas de yodo hasta el interior de los microporos donde se encuentran los sitios de adsorción (Wang, Fan, Yuan, & Liu, 2019). Las muestras de la 5 a la 8, del aserrín de ambas especies, activadas a 500 °C, con disolución de ácido fosfórico al 40 % en masa, alcanzaron un mejor número de yodo en comparación con aquellos preparados con mayor concentración (50 %) y menor concentración (30 %) de la disolución ácida. Tanto a la temperatura de activación de 400 °C como a 500 °C, la relación de impregnación 1:2 condujo a un mayor desarrollo de la microporosidad, lo cual se fundamenta en el mayor índice de yodo para este valor de RI. Esta microporosidad es

consecuencia de la reacción química del agente activante (ácido fosfórico) con el material lignocelulósico del aserrín de madera, lo cual amplía el porcentaje de átomos de carbono, incrementándose la estructura microporosa que facilita la adsorción, en este caso, de las moléculas de yodo y amoníaco. Los mejores resultados obtenidos con la disolución ácida al 40 %, se explica debido a que al valor de 30 %, la presencia de ácido es aún por debajo de la cantidad necesaria para un buen desarrollo de la microporosidad, pero al valor de 50 % la presencia de moléculas del ácido es superior a la necesaria para el buen desarrollo de la microporosidad, provocando un rompimiento de la estructura adecuada para la adsorción, formándose poros mayores o "cráteres", donde no ocurre adsorción.

**Tabla 1.** Número de yodo de los carbones activados obtenidos.

Muestras	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (% en masa)	RI	Precursor	Número de yodo de los CA obtenidos a 400 °C	Número de yodo de los CA obtenidos a 500 °C
1	50	1	PT	330	370
2	50	2	PT	359	392
3	50	2	PC	379	398
4	50	1	PC	413	438
5	40	1	PT	336	391
6	40	2	PT	365	415
7	40	2	PC	449	462
8	40	1	PC	428	443
9	30	1	PT	297	309
10	30	2	PT	305	315
11	30	2	PC	315	331
12	30	1	PC	301	212

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

PC: *pinus caribaea var. Caribaea*

PS: *pinus tropicalis*

Las muestras de la 1 a la 4, que fueron tratadas con una disolución al 50 % en masa del agente activante, también mostraron un elevado número de yodo en las muestras activadas a temperatura de 400 °C. Pero los índices de yodo con igual concentración de la disolución ácida, a la temperatura de activación de 500 °C, supera los valores alcanzados a la temperatura de activación de 400 °C, mientras que los valores más bajos de índice de yodo se alcanzaron con concentración ácida de 30 % a ambos valores de temperatura de activación. Se concluyó, que los índices yodo a 500 °C, con concentración ácida de 40 %, fueron los mejores de todos los ensayos. Lo anterior confirma que el mayor desarrollo de la microporosidad en estos carbones se

alcanza a la temperatura de 500 °C con una concentración de la disolución ácida de 40 %. Los resultados anteriores condujeron al estudio experimental de la adsorción de las moléculas de amoníaco.

*Adsorción de vapores de amoníaco:*  
Los resultados de adsorción de vapores de amoníaco, se muestran en la Tabla 2.

En correspondencia con los resultados de índice de yodo, las muestras de la 5 a la 8 presentan los mejores valores de adsorción de amoníaco. Lo anterior representa que el desarrollo de la estructura porosa que más favorece la adsorción de amoníaco, se alcanza activando el material de partida con la disolución ácida al 40 %, a la temperatura de activación de 500 °C.

**Tabla 2.** Porcentaje de amoníaco adsorbido por los carbones activados.

Muestras	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (% en masa)	RI	Precursor	Adsorción del CA obtenido a 400 °C	Adsorción del CA obtenido a 500 °C
1	50	1	PT	39 %	51 %
2	50	2	PT	42 %	54 %
3	50	2	PC	30 %	49 %
4	50	1	PC	28 %	44 %
5	40	1	PT	41 %	57 %
6	40	2	PT	53 %	64 %
7	40	2	PC	39 %	54 %
8	40	1	PC	31 %	30 %
9	30	1	PT	31 %	32 %
10	30	2	PT	36 %	36 %
11	30	2	PC	32 %	34 %
12	30	1	PC	27 %	31 %

**Fuente:** Elaboración propia.

**Leyenda:**

PC: pinus caribaea var. Caribaea

PT: pinus tropicalis

Las muestras de la 1 a la 4 y de la 9 a la 12 fueron preparadas con disolución de ácido fosfórico al 50 % 30 %

respectivamente. Estas muestras presentaron valores elevados de adsorción de amoníaco, pero no superados por las muestras

activadas con disolución ácida al 40 %. Los resultados anteriores ratifican que para concentraciones de la disolución ácida de 40 % en masa, los mejores resultados de adsorción se obtienen a 500 °C, lo cual se corresponde con el mayor desarrollo de la microporosidad acorde a los índices de yodo alcanzados.

Asimismo, puede sugerirse, que además de la estructura porosa determinada por adsorción de yodo, y que se muestran en la Tabla 1, la adsorción de vapores de amoníaco pudo ser favorecida por una adsorción química. Lo anterior se fundamenta en la presencia de grupos funcionales de carácter ácido unidos a átomos de oxígeno a través de enlaces por puente de hidrógeno (H-O) o formando grupos carbonilos (C=O), los que se forman con preferencia a la temperatura de activación de 500 °C, en el enrejado carbonoso (Rehman, Park, & Park, 2019). Este análisis puede ser objeto de estudio en posteriores reportes.

Todas las muestras estudiadas para ambas especies de pino, manifestaron un crecimiento de la adsorción de amoníaco con concentración de la disolución ácida de 40 % en masa para los CA obtenidos a 500 °C, resultados similares fueron reportados por Márquez *et al.* (2013) y Moreno *et al.* (2018). Estos resultados demuestran que no es necesario elevar la concentración del ácido por encima de 40 % ya que los valores de adsorción no difieren como para justificar la concentración de 50 %, lo que implica mayor gasto de reactivo.

La RI de 1:2 fue apropiada para una buena adsorción de amoníaco en las muestras de carbones activados obtenidos a partir de ambas variedades de pino.

En todos los casos se observó una relación de la capacidad de adsorción con el incremento de la temperatura de activación y la RI (Bansal, Donnet, & Stoeckli (1988); Danish, Hashim, Mohamad, & Sulaiman (2014).

Los experimentos mostraron que la activación con ácido fosfórico, con concentración de 40 % y temperatura de activación de 500 °C, conduce a la obtención de un carbono activado con buenas propiedades para la adsorción de vapores de amoníaco. Para una concentración del ácido de 40 %, temperatura de activación de 500 °C y una relación de impregnación de 1:2, se obtuvieron los mejores resultados en valores de índice de yodo y adsorción de vapores de amoníaco.

Es de destacar que los valores de adsorción de yodo, así como la adsorción de amoníaco, en los carbones activados de ***Pinus Tropicalis***, fueron superiores a los alcanzados en los carbones activados obtenidos a partir de aserrín de ***Pinus Caribaea*** Morelet *var. Caribaea*. Lo anterior puede explicarse por el mayor porcentaje de carbono fijo de los carbones activados del ***Pinus Tropicalis*** en comparación con los carbones activados del ***Pinus Caribaea*** Morelet *var. Caribaea*, tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Porcentaje de carbono fijo para.

Muestras	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (% en masa)	RI	Precursor	Carbono Fijo (%)*
1	50	1	PT	41
2	50	2	PT	45
3	50	2	PC	38
4	50	1	PC	33
5	40	1	PT	48
6	40	2	PT	51
7	40	2	PC	46
8	40	1	PC	35
9	30	1	PT	26
10	30	2	PT	32
11	30	2	PC	29
12	30	1	PC	24

**Leyenda:**\*Valores obtenidos por análisis gravimétrico en los laboratorios de Química de la Universidad de Pinar del Río.

Se recomienda continuar profundizando en el estudio del proceso de adsorción de vapores de amoníaco con carbones activados obtenidos a partir de biomasa forestal, a través de las técnicas espectroscópicas de Espectroscopía Infrarroja y Espectroscopía

fotoeléctrica de emisión, con el fin de ampliar el espectro de conocimiento acerca de la influencia de los grupos funcionales presentes en la estructura carbonosa en la adsorción de las moléculas reportadas en este estudio.

## CONCLUSIONES

La relación de impregnación, temperatura de activación y concentración de la disolución ácida influyen en las propiedades de obtención del carbón. En general las condiciones de activación estudiadas posibilitaron un incremento de la superficie porosa facilitando su capacidad de adsorción. No obstante, en determinadas condiciones la capacidad de adsorción se vio disminuida. Fue necesario ajustar la relación de impregnación, la temperatura de activación y la concentración de la disolución ácida para

mejorar la adsorción de yodo (número de yodo) y vapor (amoníaco), respectivamente. Los carbones activados obtenidos a partir de *Pinus Tropicalis* tiene mayor número de yodo que los carbones obtenidos del *Pinus Caribaea* Morelet var. *Caribaea*. Los mayores números de yodo fueron obtenidos con concentración de la disolución ácida de 40 % en masa y temperatura de activación de 500 °C. Asimismo, los mayores valores de adsorción de amoníaco fueron logrados en los carbones obtenidos de *Pinus Tropicalis* con

una concentración de la disolución ácida de 40 % en masa, relación de impregnación de 1:2 y una temperatura de activación de 500 °C. Estos resultados son halagadores desde el punto de vista industrial y ambiental, debido a que, con la obtención y aplicación de los carbones activados, se contribuye activamente al saneamiento industrial en los

patios de los aserraderos, al dársele un valor de uso al aserrín, a la vez de que se eleva el valor agregado de ese al poder obtenerse un adsorbente carbonoso capaz de descontaminar el ambiente atmosférico de industrias donde puedan ocurrir escapes de vapores de amoníaco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anas, M., & Williams, P. T. (2012). Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. *Biomass and Bioenergy* (37), 142-149. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.019>
- ASTM D4607-94. (2006). Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated. West Conshohocken. Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM E1757-01. (2007). Standard Practice for Preparation of Biomass for Compositional Analysis. West Conshohocken. Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM International.
- Bansal, R. C., Donnet, J. B., & Stoeckli, F. (1988). Active Carbon. Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/01932699008943255>
- Bilen, M. (2019). Proximate and Ultimate Analysis Before and After Physical & Chemical Demineralization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 362. Recuperado de <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012092>
- Danish, M., Hashim, R., Mohamad, M. N., & Sulaiman, O. (2014). Optimized preparation for large surface area activated carbon from date (*Phoenix dactylifera* L.) stone biomass. *Biomass and bioenergy* (61), 167-178. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.12.008>
- Elisadiki, J., Abeid, Y., Lazaro, R., & Enock, T. (2019). Porous carbon derived from *Artocarpus heterophyllus* peels for capacitive deionization electrodes. *Carbon*(147), 582-593. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.03.036>
- Emre, T., Seyda, G., Abdulmalik, Y., Munirah, A., Almessiere, B., & Ayhan, B. (2019). Boron-incorporated Sulfonated polysulfone/polyphosphoric

- acid electrolytes for supercapacitor application. *Soft Materials*, 2(17), 203-211. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/1539445X.2019.1588132>
- Loannidou, O., & Zabanioto, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(11), 1966-2005. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.1398&rep=rep1&type=pdf>
- Malucelli, L. C., Silvestre, G. F., Carneiro, J., Vasconcelos, E. C., Guiotoku, M., & Maia, C. M. (2019). Biochar higher heating value estimative using thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08597-8>
- Márquez, F., Ocampo, G. y Brown, A. (1995). Procedimiento para la obtención de Carbón activado granular por vía química a partir de aserrín. Patente 22383
- Márquez, F., Zanzi, R., Birbas, D., Aguiar, L., & Ramos, B. A. (2013). Carbón activado de semillas de tomate para adsorción de vapores de amoníaco, benceno y gasolina. *Ingeniería Mecánica*, 2(16), 83-90. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442013000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442013000200001)
- Márquez, F., Pimentel D.Y., Martínez J.A., González-Peña M.M. (2013). Carbón activado con ácido fosfórico a partir de aserrín de pino: adsorción de amoníaco y gasolina. XI Congreso mexicano sobre recursos forestales, 1-4 de octubre, Saltillo, Coahuila, México
- Moreno, O., Márquez, F., Rutiaga, J. G., Rico, J. L., & Carrillo, A. (2018). Performance of activated carbon obtained from pine wood and determination of its adsorption capacities of ammonia and gasoline vapors. *Wood Research*, 63(6), 1003-1012. Recuperado de <http://www.woodresearch.sk/wr/201806/08.pdf>
- Nieto, C., Terrones, M., & Rangel, J. R. (2011). Development of highly microporous activated carbon from the alcoholic beverage industry organic by-products. *Biomass and bioenergy* (35), 103-112. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.025>
- Rehman, A., Park, M., & Park, S. J. (2019). Current Progress on the Surface Chemical Modification of Carbonaceous Materials. *Coatings* (9), 103. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/coatings9020103>

- Rodríguez, C., de Moraes, D., & da Nóbrega, S. W. (2007). Ammonia adsorption in a fixed bed of activated carbon. *Bioresource Technology* (98), 887-891. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.03.024>
- Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Santiago-García, Santiago-García, W., Fuente-Carrasco, M. E., Sotomayor-Castellanos, J. R., & Carrillo-Parra, A. (2019). Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in Mexico. *Wood Research*, 64 (1), 71-82. Recuperado de <http://www.woodresearch.sk/articles.php?volume=19&issue=74>
- Saha, D., & Deng, S. (2010). Adsorption equilibrium and kinetics of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and NH<sub>3</sub> on ordered mesoporous carbon. *Journal of Colloid and Interface Science* (345), 402-409. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.01.076>
- Soleimani, M., & Tahereh, T. (2007). Agricultural Waste Conversion to Activated Carbon by Chemical Activation with Phosphoric Acid. *Chemical Engineering & Technology*, 30(5), 649-654. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/ceat.200600325>
- Suárez, F., Martínez, A., & Tascón, J. M. (2001). Porous texture of activated carbons prepared by phosphoric acid activation of apple pulp. *Carbon* (39), 1111-1115. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00053-7)
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodríguez, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution. *Pure Appl. Chem.*, 87, 1051-1069. Recuperado de <https://doi.org/10.1515>
- Vernersson, T., Bonelli, P. R., Cerrella, E. G., & Cukierman, A. L. (2002). Arundo donax cane as a precursor for activated carbons preparation by phosphoric acid activation. *Bioresource Technology* (83), 95-104. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00205-X)
- Wang, D., Fan, W., Yuan, S., & Liu, T. (2019). Improving hierarchical porous structure of carbon aerogels for more efficient ion transport for supercapacitors with commercial level mass loading. *Electrochimica Acta*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134811>
- Xue, D., Zhu, D., Xiong, W., Cao, T., Wang, Z., Lv, Y., Li, L., Liu, M. & Gan, L. (2019). Template-Free, Self-Doped Approach to Porous Carbon Spheres with High N/O Contents for High-

Performance Supercapacitors. ACS  
*Sustainable Chem. Eng.*, 7(7), 7024-  
7034. Recuperado de

<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06774>.

*Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license*