

ACTIVACIÓN QUÍMICA DE CARBÓN DE LEÑA DE QUEBRACHO COLORADO DE VILLAMONTES

ARDUZ MENDIETA PABLO ¹

¹ Investigador Junior – Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Medio Ambientales – Carrera de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

Correo electrónico: pabloarzman@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de la investigación es el determinar el mejor y más eficiente método de activación química de bajo coste de carbón de leña comercial de Quebracho Colorado de Villamontes, debido a que este carbón es el más abundante y accesible de la región con el que cualquier persona pueda obtener carbón activado con reactivos como el Ácido Fosfórico y el Cloruro de Calcio que son de bajo coste y accesibilidad.

El carbón activado es un carbón altamente poroso que tiene la característica de retener en su interior moléculas de contaminantes. Normalmente es utilizado como filtro adsorbedor de olores y contaminantes para purificar el agua y el aire.

La activación química activa a los carbones con reactivos deshidratantes, como el Ácido Fosfórico y el Cloruro de Calcio, a temperaturas elevadas.

Para el proceso de investigación se molió la materia prima a un tamaño de partícula menor a 0,125 mm, luego se procedió a la impregnación con el reactivo precursor y se procedió a activar a una de las temperaturas seleccionadas (400°C, 600°C u 800°C). De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de Azul de Metileno y Número de Iodo, el mejor procedimiento de activación química es la Activación con Ácido Fosfórico a una proporción de Carbón/

Reactivo de 1/2 a una temperatura de 600°C, siendo este método de activación óptimo para producir carbón activado de forma artesanal con propiedades de adsorción comparables con un carbón activado comercial.

PALABRAS CLAVE

Carbón, Activación Química, Carbón de Leña, Activado, Quebracho Colorado, Accesibilidad.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the best and most efficient low cost chemical activation method of charcoal from Quebracho Colorado from Villamontes, because this coal is the most abundant and accessible in the region for anyone could obtain activated carbon with reagents such as Phosphoric Acid and Calcium Chloride that are low cost and accessible. Activated charcoal is a highly porous charcoal that has the characteristic of retaining in its interior molecules of contaminants. It is normally used as an adsorber filter for odors and contaminants to purify water and air. Active chemical activation of coals with dehydrating reagents, such as phosphoric acid and calcium chloride, at elevated temperatures. For the research process, the raw material was ground to a particle size of less than 0.125 mm, then the impregnation was carried out with the precursor reagent and activated at one

of the selected temperatures (400 ° C, 600 ° C or 800 ° C). According to the results obtained in the analyzes of Methylene Blue and Iodine Number, the best chemical activation procedure is Activation with Phosphoric Acid at a ratio of Coal / Reagent of 1/2 at a temperature of 600 ° C, being This method of optimum activation to produce artistically activated carbon with adsorption properties comparable with a commercial activated carbon.

KEYWORDS

Charcoal, Chemical Activation, Charcoal, Activated, Quebracho Colorado, Accesibility.

INTRODUCCIÓN

El Carbono es el sexto elemento de la tabla periódica, con una masa atómica de 12 uma y símbolo C, este elemento es el cuarto más abundante en el universo. El carbono es la base de la química orgánica, es el elemento que forma más compuestos, aproximadamente 16 millones de compuestos con un aumento de 500000 compuestos por año. El carbono tiene 7 formas alotrópicas de las cuales las principales son el grafito, el diamante y el fullereno. (Menéndez-Díaz, 2006)

Se puede definir que un carbón activado es aquel material de origen biológico que se prepara artificialmente mediante procesos específicos, con los que se pretende dotarlo de una determinada estructura porosa. La característica más importante, de estos materiales es su elevada capacidad adsorbente, basada esencialmente en una estructura porosa muy desarrollada.

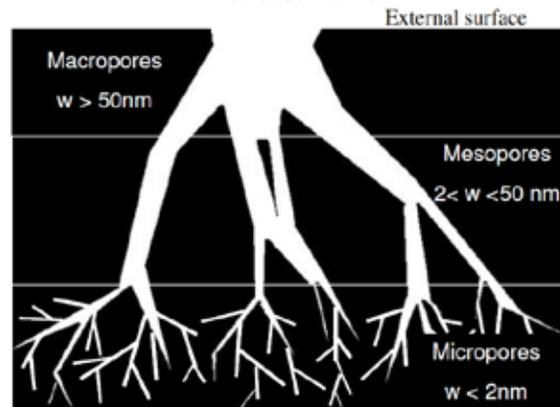
Las propiedades de cada carbón activo dependen en gran medida del material biológico de partida, ya que éste determina de forma esencial las características estructurales del carbón

resultante. Lo que se hace en la preparación de carbones activos es abrir poros, pero respetando la estructura original del material de partida (Martínez).

La porosidad es la principal propiedad física que caracteriza al carbón activado; esta propiedad está en función de los diferentes poros y de acuerdo a su distribución. De acuerdo a la IUPAC los poros se clasifican en tres grupos:

- Macroporos con un tamaño de poro mayor a los 50 nm.
- Mesoporos con un tamaño de poro entre 2 a 50 nm.
- Microporos con un tamaño de poro menor a los 2 nm.

FIGURA I: Representación de la Red de Poros del Carbón Activado.



Fuente: J.A. Menéndez (2006)

El carbón activado se obtiene mediante procesos de carbonización y activación de la materia prima.

Mediante el proceso de carbonización se consigue obtener un carbón de baja superficie específica, debido a que en este proceso lo que se hace es eliminar elementos como oxígeno e hidrógeno, por descomposición del material de partida en atmósfera inerte (de nitrógeno, usualmente), resultado de ello es un material formado por uniones de microcristales grafiticos elementales,

usualmente taponados por alquitranes y residuos de carbonización, lo que disminuye notablemente la capacidad adsorbente.

La activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas. En la carbonización se eliminan elementos como el hidrógeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono, o mezcla ambos) que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica (Donacio Luna, 2007).

La activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico como el ácido fosfórico, cloruro de zinc o el hidróxido de potasio, y el material impregnado se calienta en un horno a 500–700 °C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de materia volátil y alquitranes. El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado (Donacio Luna, 2007).

Un carbón activado es estructuralmente un material carbonoso no grafitico, casi cualquier material sólido carbonoso se puede convertir en carbón activado. Hay, por lo tanto, una variedad de posibles materias primas tales como madera, biomasa lignocelulósica, turba, lignito y carbón de leña que se pueden utilizar para hacer carbón activado. Sin embargo, hay algunas limitaciones, dado que el carbón activado es desordenado e isotrópico, la materia prima en el momento de carbonización y activación no debe pasar a través de un estado fluido o pseudofluido debido

al hecho de que la estructura sólida tiende a transformarse en una estructura ordenada.

Las propiedades resultantes del producto dependen del precursor, y, en consecuencia, los carbonos se pueden adaptar para aplicaciones seleccionadas. Además, las propiedades de carbón activado resultante, también están influenciadas en gran medida por el tratamiento de activación. La selección de la materia prima adecuada se basa en los siguientes criterios (Rodríguez-Reinoso, 1997):

Posibilidad de producir un carbón activado bueno en términos de capacidad de adsorción, de alta densidad y dureza.

Baja materia inorgánica. La capacidad de absorción se mide por unidad de masa, y puesto que los materiales inorgánicos no son porosos, su presencia reduce la capacidad de adsorción.

Disponibilidad y costo. Al igual que con cualquier otro producto, el precio de la materia prima afecta el costo final, por lo que una alta disponibilidad es importante para asegurar la estabilidad de precios. También debe tenerse en cuenta que hay una considerable pérdida de masa en todos los tratamientos de activación, y mientras menor sea el rendimiento del producto, mayor será el costo. Los rendimientos de los productos pueden variar considerablemente, y pueden ser tan bajo como 5 a 10% de carbonos a base de madera.

Para el presente proyecto se utilizará carbón de leña de Quebracho Colorado producido en el departamento de Tarija, el cual, según datos de la ABT de Tarija, es la principal materia prima del carbón de leña comercial, el cual se produce aproximadamente unas 2380 toneladas al año en el departamento (Dato de la gestión 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se utilizó el Carbón de Leña de Quebracho Colorado de Villamontes como materia prima, como precursores se utilizaron el Ácido Fosfórico al 85% de grado técnico-alimenticio y el Cloruro de Calcio Anhidro con una pureza estimada del 99%

La metodología seguida para el proceso fue:

- **MOLIENDA Y TAMIZADO.**

La materia prima se redujo en tamaño con un martillo común hasta obtener pedazos pequeños de carbón, los cuales posteriormente fueron molidos en un molino de rodillos perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U.) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S), hasta alcanzar la granulometría deseada de tamaño de partícula menor a 0,063 mm.

Para obtener un alto rendimiento del uso de la materia prima se combinaba la molienda con el tamizado, separando las partículas grandes de las pequeñas de carbón para poder molerlas hasta el tamaño requerido y así obtener la muestra de una granulometría homogénea.

El tamizado fue realizado con una zaranda o tamiz perteneciente al L.O.U. de la U.A.J.M.S., el cual fue usado para verificar que la totalidad de la muestra se encuentre en un tamaño de partícula inferior a 0.063mm.

- **ANÁLISIS DE LA HUMEDAD DE LA MATERIA PRIMA.**

El análisis de humedad de la materia prima fue realizado en una balanza de humedad y secador de infrarrojos de marca Sartorius en la cual se

pesó una muestra de 6 g. y se la secó a 105 °C hasta peso constante.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE IODO DE LA MATERIA PRIMA.**

La determinación del número de Iodo de la materia prima se realizó para conocer la capacidad de adsorción del carbón de leña de quebracho colorado de Villamontes, siendo este análisis un parámetro comercial de calidad de carbones activados.

El procedimiento del análisis se realizó de acuerdo a la norma AWWA B 600-78 de la American Water Works Association y su equivalente la norma ASTM D4607-94.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE AZUL DE METILENO DE LA MATERIA PRIMA.**

El análisis de azul de metileno sirve para determinar la capacidad de adsorción de los carbones activados con moléculas de similares dimensiones del azul de metileno. El método de análisis del número azul de metileno se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos por el compendio de métodos de test para el carbón activado del concilio europeo de federaciones de manufactureros químicos (Concilio Europeo de Manufactureros Químicos, 1986) y la norma técnica colombiana NTC-4467.

- **IMPREGNACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.**

La impregnación es la etapa del proceso de obtención de carbón activado en la cual la materia prima se junta y/o mezcla con el reactivo o precursor activante. En el caso del presente proyecto se utilizó como activantes el ácido fosfórico y el cloruro de calcio, para cada uno de

los cuales se realizaron los siguientes procesos:

a) Impregnación con Ácido Fosfórico

- En cada uno de los tres crisoles utilizados se agregó 17 gr de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.
- A cada uno de los crisoles con carbón se colocó respectivamente 20; 30 y 40 gr de Ácido Fosfórico al 85%.
- Se agitó suavemente las mezclas de carbón con ácido hasta que las mezclas sean homogéneas.
- Se colocaron los crisoles en una estufa a 110°C durante 6 horas.

b) Impregnación con Cloruro de Calcio.

- Se utilizaron tres crisoles a los cuales se colocó 17 gr de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.
- A cada uno de los crisoles con carbón se agregó respectivamente 17; 25,5 y 34 gr de Cloruro de Calcio Anhidro.
- Luego se puso a cada crisol 40 gr de agua para crear una solución de la mezcla.
- Se agitó suavemente las mezclas hasta que las mezclas sean homogéneas.
- Se colocaron los crisoles en una estufa a 110°C durante 6 horas.

ACTIVACIÓN QUÍMICA.

Luego del proceso de impregnación viene la etapa más importante que es la activación química. El procedimiento de la activación es el siguiente:

- Introducir los crisoles con las muestras impregnadas dentro de la mufla a utilizar.

- Programar la mufla a la temperatura requerida y seleccionada. Para la presente investigación se realizó la activación química a tres diferentes temperaturas, las cuales son 400° C, 600° C y 800° C.
- Iniciar el calentamiento de la mufla y dejarla operar 24 horas.
- Pasadas las 24 horas de operación apagar la mufla y dejar enfriar lentamente hasta que sea seguro retirar las muestras.
- Una vez retiradas las muestras de la mufla, se procede a pesarlas.
- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE IODO DEL PRODUCTO OBTENIDO.**

Al igual que la materia prima el procedimiento del análisis del número de Iodo del producto obtenido se realizó de acuerdo a las normas de la American Water Works Association AWWA B 600-78, Concilio Europeo de Manufactores Químicos, 1986 y la norma ASTM D4607-94, donde una solución de Iodo 0.1 N se filtra en una masa determinada de carbón activado y luego se titula con tiosulfato de Sodio 0.1N para conocer la concentración residual de la solución filtrada.

- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE AZUL DE METILENO DEL PRODUCTO OBTENIDO.**

Del mismo modo que la materia prima los análisis para determinar adsorción del azul de metileno por el producto obtenido se realizó por el procedimiento explicado en las normas ya mencionadas.

• COMPARACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO CON UNO COMERCIAL.

A un carbón activado comercial de marca CLARIMEX se le realizaron las pruebas de Número de Iodo y de Azul de Metileno para comparar los resultados con el del carbón activado obtenido por el proceso.

RESULTADOS.

Humedad de la materia prima.

La humedad de la materia prima fue analizada con una balanza de humedad y/o secador de infrarrojos de marca Sartorius, para ello se analizó 6 muestras de carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes pulverizado, las cuales fueron muestreadas del carbón a utilizar para cada lote de carbones que entraron a la mufla. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 1: Resultados del Análisis de Humedad de la Materia Prima.

Número de Muestra	Humedad [%]
1	3.68
2	3.83
3	4.48
4	3.54
5	4.26
6	4.42

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

Donde el promedio (media aritmética) de los datos de humedades de 4.035%, por lo tanto, se considera ese valor como el de la humedad de la materia prima.

Resultados de la prueba de Número de Iodo.

La prueba de Número de Iodo se define como la masa en miligramos de Iodo atómico que se adsorbe por gramo de carbón cuando la concentración de la solución residual de Iodo filtrada por el carbón es igual a 0.02 N.

Los resultados obtenidos en esta prueba para el carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes, los carbones activados obtenidos en el proceso de investigación y el carbón activado comercial se dan en las siguientes tablas:

TABLA 2: Número de Iodo de la Materia Prima.

m_c	Número de Iodo
6 gr	146.2784

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

TABLA 3: Número de Iodo de los Carbones Activados obtenidos a diferentes condiciones.

Temperatura de Activación	Reactivo	Proporción de Reactivo	Número de Iodo
400°C	H ₃ PO ₄	1/1	378.770
		1/1,5	408.499
		1/2	399.473
600°C	CaCl ₂	1/1	212.239
		1/1,5	223.998
		1/2	252.624
600°C	H ₃ PO ₄	1/1	444.687
		1/1,5	477.424
		1/2	423.760

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

TABLA 4: Número de Iodo del Carbón Activado Comercial marca CLARIMEX.

m_c	Número de Iodo
1.776	708.887

FUENTE: Elaboración Propia. 2016

Resultados de la prueba de adsorción de azul de metileno.

En la prueba de azul de metileno se determinó la cantidad decolorada de la solución por 0.1 gramos de carbón; la prueba se realizó a cada uno y a todos los diferentes carbones. El valor del número de azul metileno es igual al volumen de la solución de azul de metileno que fue decolorado por gramo de carbón activado.

Los resultados obtenidos en esta prueba para el carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes, los carbones activados obtenidos en el proceso de investigación y el carbón activado comercial se dan en las siguientes tablas:

TABLA 5: Número de Azul de Metileno de la Materia Prima.

Masa de Carbón (gr.)	Volumen Utilizado (ml)	Número de Azul de Metileno
0.1	2	20

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

TABLA 6: Número de Azul de Metileno de los Carbones Activados obtenidos a diferentes condiciones.

N° Muestra	Temp. De Activación	Reactivo	Proporción Carbón/Reactivo	Número de Azul de Metileno
1	400°C	H ₃ PO ₄	1/1	70
2			1/1,5	86.667
3			1/2	75
4		CaCl ₂	1/1	48.333
5			1/1,5	56.667
6			1/2	63.333
7	600°C	H ₃ PO ₄	1/1	81.667
8			1/1,5	111.667
9			1/2	96.667

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

TABLA 6: Número de Azul de Metileno del Carbón Activado Comercial marca CLARIMEX.

Masa de Carbón (gr.)	Volumen Utilizado (ml)	Número de Azul de Metileno
0.1	14	140

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

Rendimientos y eficiencias de adsorción de los carbones activados obtenidos.

Las eficiencias y rendimientos obtenidos de cada uno de los métodos de activación química deben ser analizados para poder determinar cuál de los diferentes métodos es el mejor.

El rendimiento en masa no es el único parámetro comparativo y éste en sí no es importante y determinante a la hora de seleccionar el método más eficiente, para ello se determina la eficiencia de adsorción del azul de metileno y el número de Iodo, los cuales indican cuanto mejoraron la calidad en estos parámetros los diferentes métodos de activación química estudiados, tomando como parámetro inicial los valores de adsorción de azul de metileno y número de Iodo de la materia prima.

El rendimiento en masa de los diferentes carbones activados obtenidos se define como la relación entre la masa del producto obtenido y la masa de la materia prima utilizada, por lo tanto, el porcentaje del rendimiento en masa es igual a:

$$\eta_{masa} = \frac{m_{\text{Carbón Activado}}}{m_{\text{Materia Prima}}} \times 100\%$$

La eficiencia del Número de Iodo se define como la relación entre el Número de Iodo del Carbón Activado Obtenido y el Número de Iodo de la materia prima, el porcentaje de la eficiencia del número de Iodo es igual a:

$$\eta_{Iodo} = \frac{I_{\text{Carbón Activado}}}{I_{\text{Materia Prima}}} \times 100\%$$

La eficiencia del Número de Azul de Metileno es definida como la relación del Número de azul de metileno del carbón activado entre el número de azul de metileno de la materia prima. El porcentaje de la eficiencia del número de azul de metileno es

igual a:

$$\eta_{ADM} = \frac{A_{N_{\text{Carbón Activado}}}}{A_{N_{\text{Materia Prima}}}} \times 100\%$$

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de las eficiencias de los números de Iodo, Azul de Metileno, además del valor del rendimiento en peso de todos los tratamientos de activación química que se realizaron. Las eficiencias y el rendimiento fueron obtenidos con los valores promedio del Número de Iodo, Número de Azul de Metileno y las diferentes masas obtenidas.

Tabla 8: Rendimiento y Eficiencias del Carbón Activado.

N° de Muestra	Temp. De Activación	Reactivo	Proporción. M.P./R	Rendimiento en masa	η_i	η_{ADM}
1	400°C	H ₃ PO ₄	1/1	91.683 %	258.938 %	350 %
2			1/1,5	96.636 %	279.262 %	433.335 %
3			1/2	98.865 %	273.092 %	375 %
4	400°C	CaCl ₂	1/1	69.720 %	145.093 %	241.665 %
5			1/1,5	66.670 %	153.132 %	283.335 %
6			1/2	63.148 %	172.701 %	316.665 %
7	600°C	H ₃ PO ₄	1/1	81.052 %	304.001 %	408.335 %
8			1/1,5	84.063 %	326.381 %	558.335 %
9			1/2	90.609 %	289.695 %	335. %

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

De acuerdo a los resultados obtenidos el mejor carbón activado que se obtuvo es el que fue activado con Ácido Fosfórico a una temperatura de activación de 600 °C y una relación másica de materia prima/reactivo de 1/1.5.

Comparación del mejor carbón activado con uno comercial.

En la siguiente tabla se puede comparar las propiedades y características del carbón activado comercial de marca CLARIMEX (el cual es usado en EMBOL S.A. de Tarija) y el carbón activo obtenido por activación química con ácido fosfórico a 600°C a una proporción de materia prima/reactivo de 1/1.5.

Tabla 9: Comparación entre Carbones Activados.

	Car. Act. CLARIMEX	Car. Activado con H ₃ PO ₄ a 600°C
Número de Iodo	708.887	477.424
Número de Azul de Metileno	140	111.167
Densidad	0.855	1.269

FUENTE: *Elaboración Propia. 2016*

La diferencia entre los carbones activos es notoria debido a que el carbón activado de marca CLARIMEX usa como materia prima el carbón de cáscara de coco, que es menos denso que el carbón de leña de quebracho colorado, y el proceso de activación es realizado bajo una atmósfera pobre en oxígeno. Mientras menos densa sea la materia prima, mejores resultados se obtendrá en términos de adsorción debido a que un carbón altamente poroso es menos denso que uno poco poroso.

El carbón activado obtenido de la leña de Quebracho Colorado obtuvo buenos resultados para ser activado en presencia de una atmósfera rica en oxígeno. De acuerdo a los resultados obtenidos, este carbón es viable para usarlo en diferentes aplicaciones.

DISCUSIÓN.

Se obtuvo carbones activados a 400 °C con Ácido Fosfórico y a 400 °C con Cloruro de Calcio, solo se obtuvo carbón activado a 600 °C con Ácido Fosfórico.

No se obtuvo carbones activados a 800° C debido que a esa temperatura combustionó el carbón, además se observó que con cloruro de calcio a temperaturas mayores de 400°C combustionó e incluso reaccionó el carbón con el Cloruro de Calcio.

Mientras más baja la temperatura de activación con ácido fosfórico del carbón mejores

rendimientos en masa se obtiene; con el cloruro de calcio se obtuvieron los peores valores de rendimiento en masa debido a que la sal es un agente desecante que promueve la oxidación del carbón (combustión).

Los rendimientos o eficiencias en la capacidad de adsorción del carbón activado en base a la materia prima se vieron significativamente aumentadas a casi y más de tres veces a una temperatura de 600°C con ácido fosfórico, y la actividad en los mesoporos con moléculas del tamaño del azul de metileno se ve aumentada a más de cuatro veces de la capacidad del carbón de leña de Quebracho Colorado de Villamontes.

El presente trabajo sirve como referencia para seleccionar un método óptimo para obtener carbón activado a escala industrial, pero para ello se recomienda optimizar los procesos de activación e impregnación y realizar un estudio de los tiempos de duración de los mismos.

Para mejorar la calidad de los carbones activados se recomienda que el proceso de activación se realice en ausencia de oxígeno o a una atmósfera pobre del mismo para evitar la combustión de los mismos.

Es recomendable utilizar Ácido Fosfórico de grado técnico-alimenticio al 85% y no P.A., debido a que no es necesario un grado para análisis, y el costo del ácido fosfórico de grado técnico-alimenticio es menor al 10% del grado para análisis.

Se debe realizar un lavado exhaustivo del carbón activado con agua limpia hasta que el pH sea neutro y dejarlo secar al menos una hora a una temperatura de 105°C debido a que puede haber rastros del activante y de sales que se hayan formado del ácido.

Se debe guardar el carbón activo en un lugar protegido de la humedad y de malos olores debido a que el carbón activado se puede contaminar y disminuir sus capacidades de adsorción.

BIBLIOGRAFÍA

Concilio Europeo de Manufactores Químicos. (1986). Test Methods For Activated Carbon. EFIC.

Donacio Luna, A. G. (2007). Obtención de Carbón Activado a partir de la cáscara de coco. México.

Martínez, J. M. (s.f). Adsorción física de gases y vapores. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Menéndez-Díaz, J. (2006). Types of carbon adsorbents and their production. En T. Bandosz, Activated carbon surfaces in environmental remediation (págs. 1-48). ELSEVIER.

Rodriguez-Reinoso, F. (1997). Introduction to carbon Technologies. Alicante, España: Publicaciones Universidad de Alicante.