

[Información tecnológica](#)

versión On-line ISSN 0718-0764

Inf. tecnol. v.17 n.3 La Serena 2006

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300003>

Información Tecnológica-Vol. 17 N°3-2006, pág.: 9-14

MEDIO AMBIENTE

Evaluación de Carbón Activado Producido a partir de Lodo Generado en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

Production and Evaluation of Activated Carbon from Sludge Generated in a Sewage Treatment Plant

Hilda A. Moreno (1), Carmen V. Droppelmann (2)* y María E. Verdejo (1)

(1) Universidad Tecnológica Metropolitana, Dpto. Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Dieciocho 390, 4° Piso, Santiago-Chile.

(2) Universidad Andrés Bello, Facultad de Ecología y Recursos Naturales, República 275, 2° piso, Santiago-Chile (e-mail: vdroppelmann@unab.cl).

* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Resumen

En este trabajo se evaluó el carbón activado producido a partir de lodo generado en una planta de tratamiento de aguas servidas. El lodo utilizado proviene de un lodo activado tipo aireación extendida y la transformación fue realizada mediante un proceso de activación química con cloruro de zinc y pirólisis. La pirólisis se realizó a diferentes temperaturas (550, 600, 650°C) y tiempos (30, 45 y 60 minutos). El rendimiento en carbón obtenido fluctuó entre el 42 y 66%, registrándose el mayor rendimiento a la temperatura de 550°C. La capacidad de adsorción, para el carbón activado obtenido, evaluada mediante la constante de adsorción lineal, para el colorante cristal violeta, fluctuó entre los 0,05 y 0,132 L/g. De acuerdo a esto, el mejor carbón se obtuvo cuando la temperatura de pirólisis fue de 650 °C. No resulta estadísticamente significativo el efecto del tiempo de pirólisis, en la constante de adsorción lineal.

Palabras claves: *carbón activado, aguas servidas, adsorción, activación química*

Abstract

This study evaluated the activated carbon produced from the sludge generated in a sewage treatment plant. The sewage sludge used came from an extended aeration plant, and the transformation was carried out by means of a process of chemical activation with zinc chloride and pyrolysis. Pyrolysis was done at different temperatures (550, 600, 650°C) and times (30, 45 and 60 minutes). The yield of the carbon obtained fluctuated between 42% and 66%, with the highest yield recorded at 550°C. The adsorption capacity for the activated charcoal obtained,

evaluated by means of the constant of linear adsorption for the dye crystal violet, fluctuated between 0,05 and 0,132 L/g. According to this, the best charcoal was obtained when pyrolysis temperature was 650°C. The effect of the pyrolysis time on the constant of linear adsorption was not statistically significant.

Keywords: *activated carbon, sewage sludge, adsorption, chemical activation*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en Chile se ha incrementado el número de plantas de tratamiento de aguas servidas, pasando de un 8% de cobertura de tratamiento en 1989 a un 66% en 2003, proyectándose al 2009 un 98% de cobertura (SISS, 2003); esto trae consigo un considerable aumento en los volúmenes de lodos generados y la necesidad de definir diversas posibilidades de uso.

Entre las alternativas de revalorización del lodo, suele nombrarse su uso como mejorador de suelos, alternativa que con el transcurso del tiempo se ha hecho cada vez menos viable debido a que la normativa que regula su disposición, es cada vez más restrictiva. Entre otras alternativas está la posibilidad de usar el lodo como materia prima para la fabricación de carbón activado y este utilizarlo a su vez en la remoción de contaminantes.

El primer paso para la obtención de carbón activado es la carbonización o pirólisis de la materia, proceso que se realiza a temperaturas entre los 500 y 700°C. El segundo paso, la activación, se puede llevar a cabo gracias al uso de gases como aire, vapor de agua o dióxido de carbono a temperaturas entre 800 y 1000°C. También se puede activar el carbón realizando la pirólisis en presencia de agentes químicos, como el cloruro de zinc o el ácido fosfórico (Alley, 2001).

El carbón activado, generado a partir de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales ha sido probado como buen adsorbente para remover diversos contaminantes: H₂S (Lu y Lau, 1996; Jeyaseelan y Lu, 1996), compuestos orgánicos volátiles (Chiang y You, 1987; Rio et al., 2005), los colorantes azul de metileno (Graham et al., 2001; Rozada et al., 2003; Pikkov et al., 2001) y cristal violeta (Graham et al., 2001, Otero et al., 2003), fenol (Tay et al., 2001; Chen et al., 2002; Calvo et al., 2001, Pikkov et al., 2001; Rio et al., 2005) tetracloruro de carbón (Chen et al., 2002), safranina (Rozada et al., 2003), xilidina (Pikkov et al., 2001), aminas (Pikkov et al., 2001), mercurio (II) (Zhang et al., 2005) y cobre (Rio et al., 2005) entre otros.

Para la producción de carbón activado a partir de lodo, todos los autores consultados, utilizan activación química. Lu y Lau (1996) usando lodo generado en una planta municipal, logran mayor área superficial y mayor área de microporos utilizando como activador ZnCl₂ respecto a H₂SO₄. Por otro lado Zhang et al., (2005) logran una mayor adsorción de mercurio en carbón activado generado a partir de lodo orgánico, cuando la activación se realiza con ZnCl₂ respecto a cuando se realiza con H₃PO₄ y H₂SO₄.

En la [Tabla 1](#) se registran condiciones óptimas de pirólisis y de concentración de ZnCl₂ reportados en la literatura.

Las isotermas de adsorción relacionan la concentración en equilibrio del soluto en el adsorbente (q) y en la fase fluida (c), describiéndose en la [Tabla 2](#) las isotermas más comunes.

Otero et al., (2003) ensayan la adsorción de cristal violeta en carbón activado generado a partir de lodo doméstico estabilizado anaeróbicamente, estos autores usan como agente activador

H₂SO₄ y pirolisan por 30 minutos a 625°C, de acuerdo a las isothermas por ellos reportadas, para carbón con un tamaño de partícula entre 0,12 y 0,5 mm a 25°C obtienen una constante de adsorción lineal de 0,18 L/g.

Tabla 1: Condiciones óptimas de pirólisis y de concentración de ZnCl₂

Tipo de lodo	Intervalo de temperatura de pirólisis (°C)	Intervalo de tiempo de pirólisis (h)	Intervalo de concentración de ZnCl ₂ (M)	Condiciones para mayor área superficial	Condiciones para mayor área de poros	Autores
Doméstico	440-950	0,3-3,0	1-7	650°C, 2 h, 5M	650°C, 2h, 3M	Lu y Lau, (1996)
Doméstico	400-900	0,3-1,0	0,5-4	850°C, 1 h, 3M	-	Zhai et al., (2004)
Petroquímica	400-700	0,17-1,0	0-5	600°C, 0,5 h, 3M	-	Chiang et al., (2003)

Tabla 2: Isothermas más comunes (Belter et al., 1988)

Isoterma	Ecuación
Lineal	$q = k_L c$
Freundlinch	$q = k_F c^n$
Langmuir	$q = \frac{q_0 c}{k_L + c}$

En este trabajo se obtuvo y caracterizó carbón activado producido a partir de lodo generado en una planta de tratamiento de aguas servidas. La caracterización de este se realizó por su capacidad de adsorción de cristal violeta, colorante usualmente utilizado en la industria textil (Bhole et al., 2004).

Entre los contaminantes que contienen los efluentes de las empresas textiles están los colorantes. Estos representan, incluso a bajas concentraciones, un importante impacto en los cuerpos de agua (Vinod y Anirudhan, 2003). El color genera problemas estéticos y al reducir la penetración de la luz, produce una disminución de los procesos fotosintéticos (Bhattacharya y Venkobachar, 1997).

Para la remoción de colorantes desde aguas residuales el método más usado es la adsorción y el adsorbente de mayor uso es el carbón activado (Yu-Liyeh, 1995).

EXPERIMENTAL

Los lodos utilizados en este estudio fueron producidos en un lodo activado de aireación extendida y provinieron de la planta de tratamiento de aguas servidas APB N°1 que procesa las aguas del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile.

Como patrón de comparación se utilizó carbón activado comercial de lignito □Hydrodarco□ de una granulometría entre 1,4 y 2,4 mm y un área superficial en el intervalo de 600-650 m²/g.

Para la elaboración del carbón activado se siguieron los siguientes pasos: Se secó el lodo a 105°C hasta peso constante. Se activó químicamente con ZnCl₂, por cada gramo de lodo seco se adicionaron 2 mL de una solución 3M de ZnCl₂ y se mezclaron por 24 horas. Se secó a 105°C hasta peso constante. Se tomaron muestras de 50 g y se pirolizaron en una mufla que opera en forma batch, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, sin utilizar gas de arrastre. Esta pirólisis se realizó a tres temperaturas (550, 600 y 650°C) y tiempos distintos (30, 45 y 60 minutos). Cada muestra de carbón obtenido se lavó con 100 mL de HCl concentrado (37%) a 30°C manteniendo en agitación por 6 horas. Se filtró y lavaron las muestras con agua destilada hasta alcanzar una conductividad eléctrica de 10-15 mS. Se secó a 105°C hasta peso constante. Se tamizó y se seleccionó el carbón que quedó entre los tamices de 10 y 12 mesh y se mantuvo en desecador. El rendimiento se calculó considerando la masa de carbón activado obtenida respecto al peso seco del lodo usado.

La capacidad de adsorción del carbón activado se determina en sistema batch, mediante isotermas de adsorción a 20°C. El tiempo al que se alcanza el equilibrio se determina por prueba cinética (Bhole et al., 2004) en una muestra de 100 mL de solución de cristal violeta (5 mg/L) en presencia de 1 g de carbón activado preparado mediante pirólisis a 600°C por 30 minutos. La concentración de cristal violeta se mide por absorbancia a 590 nm.

Para obtener los puntos correspondientes a las distintas isotermas de adsorción se mezcló durante el tiempo necesario para llegar a equilibrio, 1 g de carbón activado con 100 mL de soluciones de cristal violeta a distintas concentraciones (8; 7,5; 5 y 2 mg/L). Se filtró y se midió la concentración de cristal violeta en el líquido. La concentración en el carbón se calculó mediante balance de masa (ecuación (1)). Los puntos de la isotermas de determinan por duplicado.

$$c_F V = cV + qM \quad (1)$$

Para determinar el tipo de isoterma que mejor representa los datos experimentales, se correlacionaron los datos en equilibrio, para cada tipo de carbón, a las isotermas lineal, de Freundlich y de Langmuir. Para la isoterma lineal se correlacionó q versus c, para la de Freundlich ln(q) versus ln(c) y para la de Langmuir 1/q versus 1/c, optándose por la isoterma que presentará un mayor coeficiente de determinación.

RESULTADOS Y DISCUSION

El rendimiento del carbón activado obtenido ([Figura 1](#)) depende de las condiciones de la pirólisis, lográndose, como era de esperarse, el máximo rendimiento en las condiciones de proceso más suaves. Los rendimientos obtenidos son algo mayores que los reportados por Chiang et al., (2003) al operar en similares condiciones de pirólisis, esto se atribuye a que esos investigadores usan lodo no digerido.

Como puede verse en la [Figura 2](#), de acuerdo a la prueba cinética realizada, el tiempo de equilibrio está en torno a los 10 minutos.

En la [Figura 3](#) se muestra la isoterma obtenida con el carbón activado generado mediante pirólisis a 650°C y 45 minutos.

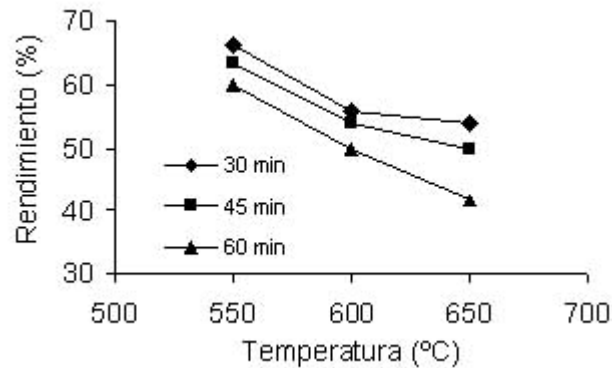


Fig. 1: Rendimiento de lodo en carbón activado a las distintas temperaturas y tiempos de pirólisis.

De acuerdo a los coeficientes de determinación obtenidos, los datos de las isotermas se ajustan mejor a un modelo lineal que al de Freundlich o de Langmuir. En la [Tabla 3](#) se muestran las constantes de adsorción (lineal) obtenidas para las distintas condiciones de pirólisis. La mayor constante de adsorción (0,132 L/g) se obtiene cuando se adsorbe el cristal violeta con carbón activado obtenido por pirólisis a 650°C por 45 minutos. Es interesante hacer notar que las constantes de adsorción obtenidas, no difieren en el orden de magnitud, respecto de las logradas por Otero et al., (2003), autores que también evalúan el comportamiento de carbón activado generado a partir de lodo como adsorbente de cristal violeta.

Las constantes de adsorción lineal obtenidas, de acuerdo a un análisis de correlación lineal, previa verificación de normalidad ($p < 0,05$), resulta estadísticamente dependiente de la temperatura de pirólisis y no del tiempo de pirólisis.

Tabla 3: Constantes de adsorción obtenidas

Temp. de pirólisis, °C	Tiempo de pirólisis, min	Constante de Adsorción L/g	r^2 ($p < 0,01$)
550	30	0,048	0,974
550	30	0,051	0,976
550	45	0,059	0,965
550	45	0,054	0,933
550	60	0,066	0,923
550	60	0,066	0,989
600	30	0,067	0,987
600	30	0,077	0,987
600	45	0,075	0,974
600	45	0,086	0,974
600	60	0,111	0,974
600	60	0,096	0,952
650	30	0,119	0,990
650	30	0,124	0,923
650	45	0,132	0,939
650	45	0,132	0,947
650	60	0,120	0,989
650	60	0,117	0,927

Comercial		0,193	0,972
Comercial		0,231	0,963

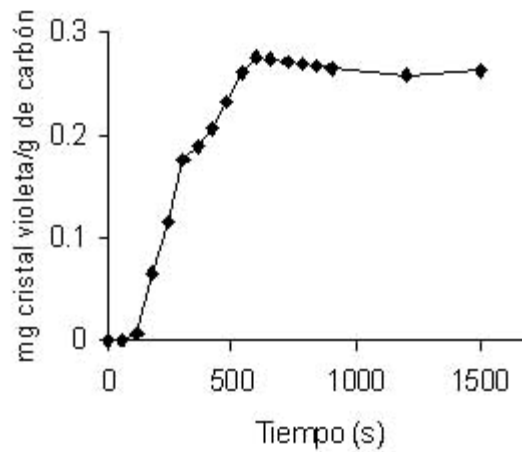


Fig. 2: Cinética de la adsorción.

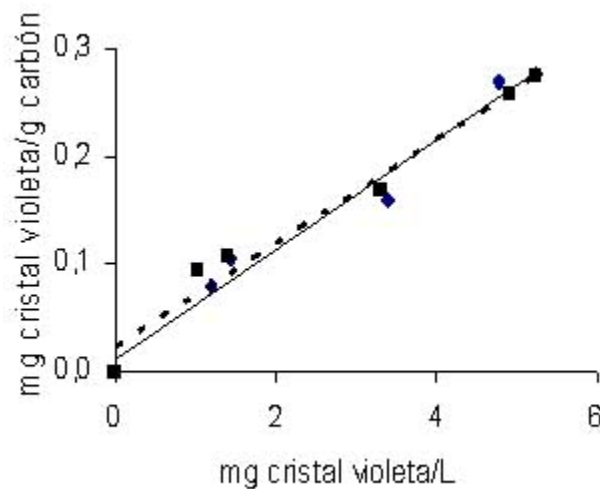


Fig. 3: Isotherma para cristal violeta y carbón activado generado mediante pirólisis a 650°C por 45 minutos. Los símbolos u y ϕ se utilizan para diferenciar cada duplicado.

Es importante señalar que el carbón obtenido presenta gran fragilidad, lo que no permitiría, al menos directamente, su uso en columnas de adsorción.

CONCLUSIONES

Es técnicamente posible generar un carbón activado a partir de lodo de planta de tratamiento de aguas servidas capaz de adsorber en forma eficiente cristal violeta.

En las condiciones de trabajo se logra un rendimiento máximo en masa de carbón activado del 66% y un mínimo del 42% con relación al lodo seco.

La isoterma que mejor representa los datos experimentales fue la lineal, siendo las constantes de adsorción dependientes de la temperatura y no del tiempo de proceso.

La mayor constante de adsorción (0,132 L/g) se obtuvo al pirolisar el lodo a 650°C por 45 minutos.

NOMENCLATURA

q: Concentración en equilibrio de adsorbato en el adsorbente, masa adsorbato/masa adsorbente

c: Concentración en equilibrio de adsorbato en el fluido, masa adsorbato/volumen solución.

c_F : Concentración de adsorbato en el fluido antes de la adsorción, masa adsorbato/volumen solución.

k_E : Constante de adsorción lineal, volumen solución/masa masa de adsorbente.

k_F : Constante de adsorción de Freundlich, $(\text{masa adsorbato})^{1-n} (\text{volumen de solución})^n / \text{masa adsorbente}$.

n: Constante empírica de la ecuación de Freundlich, adimensional.

q_0 : Constante empírica de la ecuación de Langmuir, masa adsorbato/masa adsorbente.

k_L : Constante empírica de la ecuación de Langmuir, masa adsorbato/volumen solución.

V: Volumen de fluido

REFERENCIAS

Alley, E. P. and Associates, Inc. □Manual de control de la calidad del aire□, 1ª edición, McGraw-Hill, México (2001) [[Links](#)]

Belter, P. A., E. L. Cussler y W. Hu, □*Bioseparations: Downstream processing for biotechnology*□, 145-148, Wiley Interscience, U. S. A. (1988). [[Links](#)]

Bhattacharya, K. G. y C. Venkobachar, □*Removal of cadmium (II) by low cost adsorbents*□, Journal of the Environmental Engineering Division, 110, 110-112 (1984). [[Links](#)]

Bhole, B. D., B. Ganguly, A. Madhuran, D. Deshpande y J. Joshi, □*Biosorption of methyl violet, basic fuchsin and their mixture using dead fungal biomass*□, Current Science, 86 (12), 1641-1645 (2004). [[Links](#)]

Calvo, L. F., M. Otero, A. Morán y A. I. García, □*Caracterización de adsorbentes obtenidos a partir de lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales*□, Información Tecnológica, 12(3), 29-35(2001). [[Links](#)]

Chen, X., S. Jeyaseelan y N. Graham, □*Physical and chemical properties study of the activated carbon made from sewage sludge*□, Waste Management, 22(7), 755-760(2002). [[Links](#)]

Chiang, P. C. y J. H. You, □*Use of sewage sludge for manufacturing adsorbents*□, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 65, 922-927(1987). [[Links](#)]

Chiang, H-L, C. G. Choa, S-Y., Chen y M-C Tsai, □*The reuse of biosludge as an adsorbent from a petrochemical wastewater treatment plant*□, Journal of the Air and Waste Management Association, 53 (9), 1042-1051 (2003) [[Links](#)]

- Graham, N., X. G. Chen y S. Jeyaseelan, □ *The potential application of activated carbon from sludge to organic dyes removal*□, Water Science Technology, 43(2), 245-252(2001). [[Links](#)]
- Jeyaseelan, S. y G. Q. Lu, □ *Development of adsorbent/catalyst from municipal wastewater sludge*□, Water Science and Technology, 34 (3-4), 499-505 (1996). [[Links](#)]
- Lu, G. Q., J. C. F. Low, C. Y. Liu, y A. C. Lua, □ *Surface area development of sewage sludge during pyrolysis*□, Fuel, 74(3), 344-348 (1995). [[Links](#)]
- Lu, G. Q. y D. D. Lau, □ *Characterisation of sewage sludge-derived adsorbents for H₂S removal. Part 2: Surface and pore structural evolution in chemical activation*□, Gas Separation and Purification, 10(2), 103-111 (1996). [[Links](#)]
- Martin, M. J., A. Artola, M. D. Balaguer y M. Rigola, □ *Towards waste minimization in WWTP: activated carbon from biological sludge and its application in liquid phase adsorption*□, Chemical Technology and Biotechnology, 77(7), 825-833(2002). [[Links](#)]
- Otero, M., F. Rozada, L. F. Calvo, A. I. Garcia y A. Moran, □ *Elimination of Organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge*□, Dyes Pigment, 57(1), 55-65 (2003). [[Links](#)]
- Mavros, P., A. C. Daniilidou, N. K. Lazaridis y L. Stergiou, □ *Colour removal from aqueous solutions. Part I. Flotation*□, Environmental Technology, 15(7), 601-616(1994). [[Links](#)]
- Pikkov, L., J. Kallas, T. Ruutmann y E. Rikmann, □ *Characteristics of activated carbon produced from biosludge and its use in wastewater pos-treatment*□, Environmental Technology, 22(2), 229-236(2001). [[Links](#)]
- Rio S., C. Faur-Brasquet, LL. Coq, P. Cour-coux y P. L. Cloirec, □ *Experiment design methodology for the preparation of carbonaceous sorbents from sewage sludge by chemical activationapplication to air and water treatments*□, Chemosphere, 58 (4), 423-437 (2005). [[Links](#)]
- Rozada, F., L. F. Calvo, A. I. García, J. MartínVillacorta y M. Otero, □ *Dye adsorption by sewage sludgebased activated carbons in batch and fixedbed systems*□, Bioresource Technology, 87(3), 221-230(2003). [[Links](#)]
- SISS, Superintendencia de Servicios Sanitarios, □ *Informe de gestión del sector sanitario*□, (en línea) (fecha de consulta: Febrero 14, 2005), acceso libre, <http://www.siss.cl/repositoriosiss/archivos/estu/documentos/informegestion/informes/versión%20final%20ig%202003.pdf> (2003) [[Links](#)]
- Tay, J. H., X. G. Chen, S. Jeyaseelan y N. Graham, □ *A comparative study of anaerobically digested and undigested sewage sludges in preparation of activated carbon*□, Chemosphere, 44(1), 53-57(2001). [[Links](#)]
- Vinod, V. P. y T. S. Anirudhan, □ *Adsorption behavior of basic dyes on the humic acid immobilized pillared clay*□, Water, Air and soil Pollution, 150(1-4), 193-217(2003). [[Links](#)]
- Yu-Liyeh, R. □ *Colour removal from dye waste-waters by adsorption using powdered activated carbon. Mass transfer studies*□, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 63(1), 48-

54(1995). [[Links](#)]

Zhai, Y., X. Weil, G. Zeng, K. Chu, B. Huang, A. Chakma, □ *Adsorbent prepared from sewage sludge by chemical activation and its application to sulfur dioxide adsorption*□, Science Paper on Line, (en línea), (Fecha de consulta: Febrero 22, 2005), acceso libre, <http://www.paper.edu.cn/scholar/download.jsp?file=weixianxun-1> (2004) [[Links](#)]

Zhang, F-S., J. O. Nriagu y H. Itoh, □ *Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge*□, Water Research, 39(2-3), 389-395(2005). [[Links](#)]

© 2014 Centro de Información Tecnológica

Casilla de Correos 724

La Serena

FonoFax: 56-51-551158

GRATIS 56-51-551158

 e-Mail

citchile@entelchile.net