Producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales

Production of activated carbons from agro-industrial wastes

Gerardo Cruz Cerro⁽¹⁾, Carlos Canepa La Cotera⁽²⁾, Dorian Aguirre⁽²⁾

Resumen

Diferentes carbones activados fueron obtenidos de residuos agroindustriales de los departamentos de Piura y Tumbes (Perú): cáscara de la vaina de *Theobroma cacao*, parte externa e interna de la semilla de *Manguifera indica* y cáscara de *Coffea arabica*. Los materiales tamizados a tamaños de 0,5 – 1 mm fueron activados químicamente con ZnCl₂ y carbonizados en atmosfera de nitrógeno por 2 horas a 600 °C. Los carbones activados fueron caracterizados como rendimiento (%), análisis elemental (%), área superficial de BET (Brunauer–Emmett–Teller, S_{BET}) en m²/g, área superficial en la región microporasa en m²/g y área superficial en la región mesoporosa en m²/g. Se aplicaron también análisis de microscopia y test de adsorción de azul de metileno. Se obtuvieron carbones con alta área superficial de BET de entre 892 y 1180 m²/g, y predominante área superficial en la región microporosa. Basados en imágenes de microscopia electrónica, los carbones activados presentan una estructura porosa bien desarrollada, con distintos poros de múltiples formas y tamaño. Todas las muestras de carbones activados analizados, presentaron capacidad de remoción de azul de metileno, llegando a remociones de casi el 100 %. Adicionalmente el tipo de interacción entre el azul de metileno y el carbón activado es de naturaleza química al ajustarse los valores de remoción a un modelo de cinética de *pseudo*-segundo orden.

Palabras clave: carbón activado, residuos agroindustriales, activación ZnCl₂, características poros, adsorción azul de metileno

Abstract

Different activated carbons were obtained from agro-industrial waste of Piura and Tumbes (Peru): shell pod of *Theobroma cacao*, outside and inside part of *Manguifera indica* pits and husk of *Coffea arabica*. Materials sizes of 0.5 to 1 mm were chemically activated with ZnCl2 and carbonized under nitrogen for 2 hours at 600° C. Activated carbons were characterized as yield (%), elemental analysis (%) surface area BET (Brunauer-Emmett-Teller, S_{BET}) in m²/g, surface area on microporous region in m²/g, surface area in the region mesoporous in m²/g, and methylene blue adsorption test were performed. The obtained activated carbons exhibited high BET surface area of between 892 and 1180 m²/g, and predominant superficial area in the microporous region. Based on electron microscopy images, the activated carbons present a porous developed well structure with different pores of many shapes and sizes. All samples analyzed showed activated carbon removal capacity of methylene blue, reaching removal of almost 100%. Additionally the type of interaction between the methylene blue is activated carbon and chemical nature of the removal values adjusted to a kinetic model of pseudo-second order

 $Keywords: activated \ carbon, agro-industrial \ waste, ZnCl_2 \ activation, pore \ characteristics, methylene \ blue \ adsorption$

¹ Departamento de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Tumbes gcruzc@untumbes.edu.pe

² Departamento de Química y Física, Universidad Nacional de Tumbes

Introducción

En Perú existe gran variedad productos agrícolas que no son aprovechados de ma nera óptima, generando problemas impor tantes a los productores, como pérdidas económicas que resultan de la ineficiencia en el aprovechamiento de las materias primas, debido a que en muchos de los casos las partes como cáscara y/o semillas, representan más del 50 % en peso del total de las mismas. Estos materiales por lo general no tienen un uso actual y tienen que ser dispuestos, con los costos de acopio, recolección y disposición final que esto representa.

Otro de los problemas se deriva principal mente de disponer estos residuos inadecua damente, muchas veces bajo condiciones inseguras en botaderos, generando contaminación ambiental como malos olores, contaminación de suelos y posiblemente por fenómenos de lixiviación la contamina ción de aguas subterráneas y superficiales aledañas. Por otro lado, originan la prolife ración de enfermedades debido a la posib<u>i</u> lidad de reproducción de ciertos vectores como moscas y roedores que llegan a las poblaciones aledañas a las áreas de dispo sición. Además causan impactos de índole paisajística y de contaminantes atmosférica producto de la descomposición de los mis mos; dada su naturaleza orgánica, o de la quema, en el peor de los casos. Los contaminantes atmosféricos generados son de cuidado dado la generación de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, así como la liberación de compuestos orgánicos volátiles y material par ticulado menor de 10 micras causantes de múltiples problemas de salud.

Muchos son los productos de índole agrícola y agroindustrial que son generados dentro de las departamentos Tumbes y Piura y que son subutilizados; esto incluyen materiales como las cáscaras de coco, cáscaras de cacao, paja y cascara de arroz, desechos orgánicos de banano, semillas de mango, semillas de algarroba, semillas de ciruela, semillas de maracuyá o fruta de la pasión, hollejos y semillas producto del proceso

de extracción de aceite esencial de limón, residuos de la pirolisis de caña de azúcar, residuos del tostado y pilado de café, entre otros.

Uno de los métodos más utilizados para el tratamiento de aguas contaminadas tanto residuales como de origen natural es el uso de filtros de carbón activado, el cual es un material de alta área superficial (entre 900 y 1200 m²/g ó más) que adhiere contami nantes de diversa naturaleza sea inorgánica como metales pesados o de naturaleza or gánica como compuestos fenólicos, permi tiendo su depuración. A pesar de su efect<u>i</u> vidad es un método utilizado en casos solo específicos debido al alto costo del carbón, necesitándose la búsqueda de nuevas materias primas baratas que permitan disminuir los costos de los mismos y poder hacerlo accesible para aplicaciones comunes y su uso en zonas rurales sobre todo en la región Tumbes para menguar las consecuencias de la contaminación con metales pesados del rio.

Algunos de estos residuos agroindustriales tienen importantes cantidades de material carbonáceo tal como celulosa, hemicelulosa y lignina, teniendo un potencial de uso como materia prima continua para la producción de carbón activado de alta calidad. Algunos de estos materiales se vienen investigando: cascara de la vaina del cacao (Cruz et al., 2012, Ahmad et al. 2012, Theivarasu and Mylsamy, 2010, Bello et al., 2011, Ahmad et al., 2011), cascara de café (Boudrahem et al., 2009, Oliveira et al., 2009), semilla de mango (Akpen et al., 2011, Kwaghger and Ibrahim, 2013), semilla de guayaba (Rah man and Saad, 2003), nueces de macadamia (Ahmadpour and Do 1997), cáscara de arroz (Adekola y Adegoke, 2005, Jameel and Hus sain, 2009, Khan et al., 2010), cáscara de piñón (Ramakrishnan and Namasivayam, 2009), cáscara de palma aceitera (Lua and Jia, 2007) cáscara de la semilla de palma (Gueu et al., 2006), residuos de sago (Kadir velu et al., 2004), diferentes almendras (Ha yashi et al., 2002), residuos de la molienda de olivo (Moreno-Castilla et al., 2001).

Bajo esta coyuntura se planificó este trabajo de investigación que tuvo como objetivo: producir y caracterizar carbón activado a partir de residuos agroindustriales proce dentes de las regiones Tumbes y Piura.

Material y métodos

Se recolectaron residuos carbonáceos de distintas áreas agroindustriales de los departamentos de Tumbes y Piura - Perú, específicamente: cáscara de la baya de cacao (CPH), parte externa (MSEP) e interna (MSEP) de la semilla de mango y cáscara de café (CH). De cada tipo de residuo agroin dustrial se tomaron muestras compuestas, al azar de 10 kg, los cuales se homogenizaron y de donde se tomaron sub-muestras para ser sometidas a los análisis de muestreo.

Las materias primas seleccionadas fueron sometidas a un proceso de activación química utilizando cloruro de zinc (ZnCl₂) como agente activador. El procedimiento se inició con el secado del material en una estufa a una temperatura de entre 80 y 100 °C, hasta alcanzar peso constante. El material seco fue molido y tamizado para obtener tres fracciones: menor de 0,5 mm, entre 0.5 y 1 mm y mayor de 1 mm; de las cuales se utilizó la fracción de entre 0,5 y 1m. A continuación se mezcló con el agente activador en una proporción de 1/1 (materia prima/agente activador).

Luego las muestras fueron colocadas en un reactor con invección de nitrógeno (aproxi madamente 100 ml/min), que es un equipo de carbonización a una temperatura de 600 °C, durante un tiempo de 2 horas y utilizando una rampa de temperatura de 10°C/min. Luego el reactor con el material fue enfriado con aire frio proveniente de un compresor, para luego lavarse secuen cialmente con agua destilada fría y una solución 0,1 N de ácido clorhídrico con enjuague exhaustivo. Finalmente el mate rial fue secado durante 12 horas a una temperatura de 100 °C. Esta metodología se encuentra acorde a los carbones activa dos de mejor calidad obtenidos a partir de la cascara de cacao en el estudio desa rrollado por Cruz et al. (2012).

Obtenidos los carbones activados, éstos fueron caracterizados usando los indicadores: área superficial de BET (m²/g), área superficial en las regiones micro y meso porosa (m²/g), análisis elemental y pruebas de capacidad de adsorción.

El rendimiento fue calculado con la ecuación:

$$R(\%) = \frac{PF}{PI} \times 100$$
 (1)

donde R representa el rendimiento en por centaje, PF es el peso final después del proceso de carbonización y PI es el peso inicial de la materia prima que será usada antes de la adición del agente químico activador.

Se determinó la adsorción de gas nitrógeno (N₂) por los carbones activados obtenidos utilizando un analizador Gemini VII 2390, dentro de las presiones relativas entre los rangos de 0,00945 a 0,99039. El modelo estándar Brunauer-Emmett-Teller (BET) (Brunauer et al., 1938) fue usado para el cálculo del área superficial (SBET), basado en la adsorción selectiva con nitrógeno en el rango de presiones relativas entre0.05 a 0,35. Para la determinación del área me soporosa (S_{meso}) se utilizó el método *t-plot* (considerando la ecuación estándar de Harkin Jura) y el área en la región microporosa se calculó basado en la diferencia entre S_{BET} y S_{meso} (Lowell et al., 2004)

Las imágenes de microscopia electrónica fueron obtenidas usando un Microscopio FEI Quanta 200 (MyAP *Company*) equipado con un detector EDS para la determinación de la composición elemental.

La efectividad de adsorción de los carbones activados fue evaluada utilizando soluciones acuosas de azul de metileno en una concen tración inicial de 50 mg/l. Se adicionó 0,5 g/l de carbón activado a 250 ml de la solu ción de azul de metileno y se aplicó un agitador magnético, de la que se tomaron muestras de la solución a diferentes intér

valos de tiempo entre 0 y 2.5 horas. La ciné tica de remoción de azul de metileno fue estudiada utilizando un modelo *pseudo-se* gundo orden. La forma integrada del modelo se representa por

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{qe} \quad (2)$$

t es el tiempo de adsorción (h); q_t es la cantidad adsorbida en el tiempo t (mg de azul de metileno/g de carbón activado); k2 es la constante de velocidad de *pseudo*-segundo orden (g.mg-1h-1); y q_e es la capacidad de

adsorción calculada para el equilibrio (mg de azul de metileno/g de carbón activado). La cantidad de azul de metileno adsorbido fue calculada aplicando el balance de materia, con la fórmula:

$$q_{t} = \frac{(C_{0} - C_{t})V}{m_{AC}}$$
 (3)

 C_0 y C_t son la concentración inicial y la concentración en solución en el tiempo t de azul de metileno (mg/l), respectivamente. V es el volumen total de la solución (l) y m_{AC} es la masa de carbón activado (g).

Resultados

Caracterización de los carbones activados

A pesar de que las diferentes materias primas tuvieron las mismas condiciones de procesamiento durante la activación y carbonización, el rendimiento de los carbones varía significativamente y se encuentra en

el rango de entre 14,39 % para el caso del carbón de la cascara de cacao y 24,80 % para el caso del carbón de la parte externa del mango (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de los carbones activados por muestra.

Código de muestra	Rendimiento (%)	S _{BET} (m ² /g)	S _{micro} (m ² /g)	S _{meso} (m ² /g)	S _{meso} / S _{micro}
СРН	14,39	1179,3	1036,9	142,4	0,14
MSEP	24,80	892,0	832,2	59,8	0,07
MSIP	19,26	1064,2	999,7	64,5	0,06
СН	15,96	1146,2	1023,3	122,9	0,12

S_{BET} = Area superficial BET (*Brunauer–Emmett–Teller*)

Smicro = Área superficial en la región microporosa

S_{meso}= Area superficial en la región mesoporosa

 S_{meso}/S_{micro} = Ratio área en la región mesoporosa y área en la región microporosa

Todos los carbones activados analizados presentan áreas superficiales de BET entre 890 y 1180 m²/g. El carbón obtenido de la cáscara de la vaina del cacao (CPH) fue la muestra con mayor área superficial y volumen en la región microporosa, luego el carbón de cascara de café, el de la parte interna y externa de la semilla del mango, en orden descendente.

La composición elemental de los carbones activados indica que el carbono es el prin cipal componente en las muestras analiza das, en menor proporción está el oxígeno, luego los elementos como zinc, fierro y cloro

y elementos menores en cantidad poco significativa (tabla 2).

Basado en las imágenes de microscopia electrónica (SEM), todos los carbones ac tivados tienen una estructura porosa bien desarrollada. Es posible apreciar poros de diferentes tamaños, inclusive poros dentro de otros poros. Los poros tienen formas irregulares, no perfectamente circulares. Se pueden apreciar además la presencia de residuos del agente químico activador y subproductos de pirolisis en la superficie de los carbones activados (figura 1).

Código de muestra	С	0	Al	Si	S	Cl	Fe	Zn	P
СРН	88,80	6,86	0,00	0,07	0,34	1,13	0,98	1,82	
MSEP	79,87	10,31	0,09	0,04	0,22	1,32	3,11	5,05	
MSIP	82,23	8,12	0,00	0,05	0,24	1,49	1,70	5,88	0.29
СН	85.97	7,34	0,23	0,25	0,29	0.,97	0,80	4,14	

Tabla 2. Composición química elemental de los carbones activados (%)

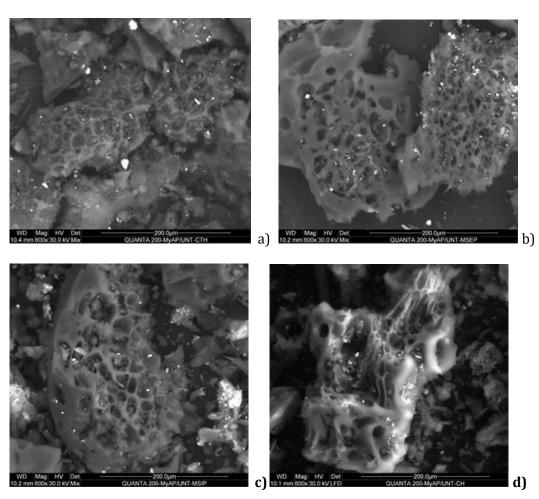


Figura 1. Imágenes de microscopia electrónica de carbones activados de: a) cascara de la baya de cacao, b) parte externa de La semilla de mango c) parte interna de la semilla de mango, d) cáscara de café

Pruebas de adsorción con azul de metileno

Las curvas de remoción del azul de metileno por los carbones activados presenta en general tres regiones particulares, la primera correspondiente al periodo entre 0 y 30 minutos, con una alta velocidad de remoción de azul de metileno, una segunda región entre 30 minutos y 1 hora, con una velocidad de remoción media, y finalmente una

tercera región entre 1 y 2,5 horas con una velocidad de remoción baja (figura 2).

Los resultados de adsorción de azul de me tileno se ajustan a un modelo de *pseudo*-segundo orden para todos los carbones activados obtenidos dada la relación lineal que guardan t/q_t y el tiempo t (figura 3).

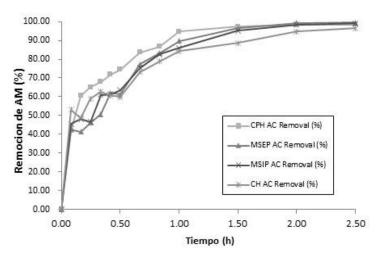


Figura 2. Remoción de azul de metileno con los diferentes carbones activados obtenidos

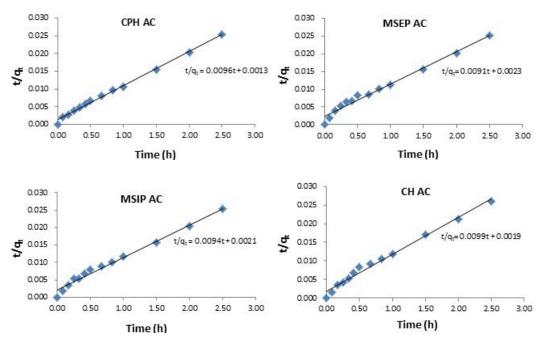


Figura 3. Ajuste a la cinética de p*seudo*-segundo orden para la adsorción de azul de metileno por los carbones activados obtenidos

Discusión

La diferencia entre los rendimientos de los carbones activados podría ser causada por la diferente composición de las materias primas y los diferentes productos de reacción, durante las etapas de activación y carbonización, los que pueden ser más o menos volátiles en uno u otro caso.

Acorde al análisis realizado, las muestras de carbón activado obtenido tienen mayor porosidad en la región microporosa que en la mesoporosa, lo que demuestra que el $ZnCl_2$ es un efectivo agente químico activado dor para la producción de carbón activado de alta porosidad a relativa bajas tempera turas y en una simple etapa.

En cuanto a los valores de área superficial, Oliveira *et al.* (2009) encontró niveles para carbón activado de cascara de café del or den de 1522 m²/g, un valor mayor que el encontrado en el presente estudio, pero

que sin embargo responde al mayor tiempo de carbonización aplicado en el estudio referido de 3 h., comparado con el del pre sente estudio que solo fue de 2 h. No obstante el valor encontrado en este estudio supera al encontrado por Boudrahem *et al.* (2009) de 890 m²/g, quienes usaron tiem pos de carbonización de solo 1 h. Ahmad y Rahman (2011) uso NaOH como agente químico activador para obtener carbón activado de cascara de café de área superficial BET de 745,17 m²/g.

En la muestra CPH, otros autores reportan diferentes niveles de áreas superficiales, pero no superan el valor de este estudio. Se reportan valores de Cruz *et al.* (2012) encontraron 780 m2/g, Ahmad, et al. (2012) 85,09 m²/g, Bello *et al.* (2011) 502,7 m²/g y Ahmad *et al.* (2011) 248 m²/g.

Kwaghger and Ibrahim (2013) usaron HCl para obtener carbón activado de la parte interna de la semilla de mango con alta área superficial de BET de 1142,3 m2/g, un nivel ligeramente superior que el encontrado en este estudio.

De acuerdo a la relación S_{meso}/ S_{micro} MSIP y MSEP tienen proporcionalmente menos área en la región mesoporosa comparados con las muestras de CH-AC, CPH-AC. La presencia de mesoporosidad es deseable en el caso de carbones activados utilizados para la remediación de aguas naturales contaminadas y aguas residuales, dado que los contaminantes orgánicos e inorgánicos podría atravesar la mesoporosidad y acce der a la microporosidad donde se lleva a cabo la mayor parte del proceso de adsorción por la alta área superficial.

A pesar de los lavados exhaustivos que se consideraron después de la carbonización, impurezas como Cl y Zn provenientes del agente químico activador permanecen remanentes en las muestras que pueden ser apreciados en la composición elemental de los carbones, entre niveles de 0,85 – 1,49 % en el caso de Cl y entre 1,82 – 5,88 % en el caso de Zn. MSIP fue la única muestra que contiene fósforo.

El hecho de que se puedan apreciar poros de diferentes tamaños, inclusive poros dentro de otros poros en las imágenes SEM muestra que para los procesos de adsorción el acceso de los contaminantes disueltos en agua o arrastrados por gases sería viable hacia la región microporosa para las muestras analizadas.

El hecho de tener ratios de adsorción altos al inicio del proceso de adsorción y que luego este disminuya en función del tiempo y de forma exponencial, responde a que inicialmente la alta área superficial de los carbones activados empieza a ser cubierta por el azul de metileno, y al ir siendo ocu pada disminuyen los sitios de adsorción.

El ajuste de los datos de adsorción de azul de metileno de los carbones activados obte nidos hace suponer el adsorción entre el adsorbente y adsorbato es de naturaleza química (Ho and Mckay, 1999), es decir en una sola capa a diferencia de la adsorción física que es multicapas. Estando involucrados los grupos de la superficie de los carbones activados y su afinidad con la molécula de azul de metileno.

Conclusiones

- Las cáscara de la baya de cacao, parte externa e interna de la semilla de mango y cascara de café (CH) son materias pri mas aptas para la producción de carbo nes activados químicamente con ZnCl₂, obteniéndose materiales con alta área superficial de BET de entre 892 y 1180 m²/g y moderada área superficial en la región mesoporosa.
- Los carbones activados presentan una estructura porosa desarrollada, conteniendo distintos poros de múltiples fo<u>r</u> mas y tamaño.
- 3. Todas las muestras de carbones activ<u>a</u> dos analizados presentaron capacidad de remoción de azul de metileno, llega<u>n</u> do remociones de casi el 100 %. Adici<u>o</u> nalmente el tipo de interacción entre el azul de metileno y el carbón activado es

de naturaleza química al ajustarse los valores de remoción a un modelo de cinética de seudo-*segundo* orden.

Referencias Bibliográficas

- Adekola, F. and H. Adegoke. 2005. Adsorption of blue-dye on activated carbons produced from rice husk, coconut shell and coco nut coirpith. *Ife Journal of Science*, 7(1): 151-157.
- Ahmad, F., W. Daud, M. Ahmad, and R. Radzi. 2011. Using cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon to remove 4-nitrophenol from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Journal*, 178: 461-467.
- Ahmad, F., W. Daud, M. Ahmad, and R. Radzi. 2012. Cocoa (Theobroma cacao) shell-based activated carbon by CO₂ activation in removing of Cationic dye from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(10): 1480-1490.
- Ahmad, M, and N. Rahman. 2011. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 1701: 154-161.
- Ahmadpour, A., and D. D. Do. 1997. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. *Carbon*, 35 (12): 1723-1732.
- Akpen, G., I. Nwaogazie, and T. Leton. 2011. Optimum conditions for the removal of color from waste water by mango seed shell based activated carbon. *Indian Journal of Science Technology*, 4(8): 890-894.
- Bello, O., M. Ahmad and T. Siang. 2011. Utilization of cocoa pod husk for the removal of remazol black B reactive dye from aqueous solutions: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Trends in Applied Sciences Research*, 6(8): 794-812.
- Boudrahem, F., F. Aissani-Benissad, and H. Aït-Amar. 2009. Batch sorption dynamics and equilibrium for the removal of lead ions from aqueous phase using activated carbon developed from coffee residue activated with zinc chloride. *Journal of environmental management*, 90(10): 3031-3039.
- Brunauer, S., P. Emmett, and E. Teller. 1938. Adsorption of gases in multimolecular

- layers. *Journal of the American Chemical Society* 60, no.2 (1938): 309-319.
- Cruz, G., Pirilä, M. Huuhtanen, L. Carrión, E. Alvarenga, and R. L. Keiski. 2012. Production of Activated Carbon from Cocoa (Theobroma cacao) Pod Husk. *J Civil Environment Engg*, 2(2): 1-6.
- Gueu, S., B. Yao, K. Adouby, and G. Ado. 2006. Heavy Metals Removal in Aqueous Solution by Activated Carbons Prepared from Coconut Shell and Seed Shell of the Palm Tree. *Journal of Applied Sciences* 6(13): 2789-2793.
- Hayashi, J., H. Toshihide, T. Isao, M. Katsuhiko and Fard Nasir A. 2002. Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K₂CO₃. *Carbon* 40(13): 2381-2386.
- Ho, Y-S., and G. McKay. 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry* 34, no. 5: 451-465.
- Jameel, A. and A. Hussain. 2009. Removal of he avy metals from wastewater using activeted rice husk carbon as adsorbent. *Indian J Environ Protect* 29: 263-265.
- Kadirvelu, K., M. Kavipriya, C. Karthika, N. Venni lamani, and S. Pattabhi. 2004. Mercury (II) adsorption by activated carbon made from sago waste. *Carbon*, 42(4): 745-752.
- Kwaghger, A. and J.S. Ibrahim. 2013. Optimization of Conditions for the Preparation of Activated Carbon from Mango Nuts using HCl. *American Journal of Engineering Research*, 2(7): 74-85.
- Lua, A. and Q. Jia. 2007. Adsorption of phenol by oil-palm-shell activated carbons. *Adsorption*, 13(2): 129-137.
- Lowell, S., J. Shields, M. Thomas and M. Thom mes. 2004. Characterization of porous solids and powders: surface area, pore size and density. Particle Technoligy Series Vol. 16.
- Moreno-Castilla, C., F. Carrasco-Marín, M. Lopez-Ramon, and M. Alvarez-Merino. 2001. Chemical and physical activation of olive-mill waste water to produce activated carbons. *Carbon*, 39(9): 1415-1420.

- Oliveira, L., E. Pereira, I. Guimaraes, and K. Sapag. 2009. Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents. *Journal of hazardous materials* 165(19): 87-94.
- Rahman, I. A., and B. Saad. 2003. Utilization of guava seeds as a source of activated carbon for removal of methylene blue from aqueous solution. *Malaysian Journal of Chemistry*, 5 (1): 8-14.
- Ramakrishnan, K. and Ch. Namasivayam. 2009. Development and characteristic of activated

- carbons from Jatropha husk, an agroindus trial solid waste, by chemical activation methods. *Journal Environment Engineering Management*, 9: 173-178.
- Theivarasu, C., and S. Mylsamy. 2010. Equilibrium and Kinetic adsorption studies of Rhodamine-B from aqueous solutions using cocoa (Theobroma cacao) shell as a new adsorbent. *Int J Eng. Sci. Technol*, 2: 6284-6292.