

# Contaminant Removal in Surface Water Utilizing Activated Carbon made from Agricultural Waste

Alby Aguilar Pesantes, M.Sc.<sup>1</sup>, Diana Navarrete Aguirre, Ingeniera Civil<sup>1</sup>, Nadia Quijano Arteaga, Ingeniera Civil<sup>1</sup>, Cristian Vélez Sancán, Ingeniero Civil<sup>1</sup> y Juan María Menéndez, PhD<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, albdagui@espol.edu.ec, diafenav@espol.edu.ec, nquijano@espol.edu.ec, cdvelez@espol.edu.ec, <sup>2</sup>Universidad de Oviedo, España, second.author@email.com

**Abstract**– *Abstract – The use of activated carbon in treating water has achieved the elimination of contaminating elements. This paper uses water samples taken from the Daule and Tenguel rivers for after-the-fact filtration with carbon generated from waste product including PLATANO (banana or plantain??), rice husks, and the seed of the ZAPOTE, which were chemically activated individually providing three varieties of activated carbon.*

**Key Words:** *removal, arsenic, organic husk waste*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.123>  
ISBN: 978-0-9822896-9-3  
ISSN: 2414-6390

# Remoción de contaminantes presentes en aguas superficiales empleando carbón activado generado a partir de materiales de desecho agroindustrial

Alby Aguilar Pesantes, M.Sc.<sup>1</sup>, Diana Navarrete Aguirre, Ingeniera Civil<sup>1</sup>, Nadia Quijano Arteaga, Ingeniera Civil<sup>1</sup>, Cristian Vélez Sancán, Ingeniero Civil<sup>1</sup> y Juan María Menéndez, PhD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, albdagui@espol.edu.ec, diafenav@espol.edu.ec, nquijano@espol.edu.ec, cdvelez@espol.edu.ec,

<sup>2</sup>Universidad de Oviedo, España, second.author@email.com

**Resumen – El empleo de carbón activado en el tratamiento del agua ha logrado la remoción de elementos contaminantes. El presente trabajo emplea dos muestras de agua de tomadas de los ríos Daule y Tenguel para su posterior filtración con carbón generado a partir de materiales de desecho como son las cascara de plátano, la cascarrilla de arroz y las pepas de zapote, los cuales fueron activados químicamente de manera independiente, obtenido así tres variedades de carbón activado.**

**Palabras clave —remoción, arsénico, cascara de desechos orgánicos.**

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro del tratamiento de aguas contaminadas, una de las técnicas más utilizadas, es el uso del carbón activado. Para el proceso de selección de la materia prima, generalmente se ha empleado carbón mineral, madera, y en los últimos años se han realizado además pruebas con cáscara de coco obteniendo una remoción muy aceptable de los contaminantes analizados. Los filtros purificadores de agua que emplean carbón activado como medio filtrante son muy eficaces debido a que este medio filtrante presenta una alta porosidad y área superficial en su estructura interna que permite mayor adsorción de las impurezas [1]. En general, cualquier carbón activado es capaz de atraer moléculas de diferentes compuestos que producen color, olor o sabor indeseables; estando marcada la diferencia operativa por la cantidad de átomos disponibles en su superficie para ejecutar la adsorción [2]

Al ser el carbón activado un material con capacidad de adsorción, elimina contaminantes orgánicos del agua por el proceso de adsorción química, atrayendo y acumulando el adsorbato sobre su superficie. El carbón activado presenta una red o estructura interna de poros, con diámetros de poros entre 10<sup>-7</sup> y 10<sup>-5</sup> cm. Por tanto poseen áreas superficiales de 500 a 1500 m<sup>2</sup> [3].

El proceso de activación es desarrollado en una sola etapa, calentando la materia prima junto al agente químico a temperatura atmosférica inerte. La sustancia activadora que se empleará en esta investigación es ácido fosfórico al 40% (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) [4].

Este trabajo exploró la posibilidad de proveer materiales precursores para la fabricación en masa de carbón activado, aprovechando residuos del sector agroindustrial, probando su correcto desempeño como medio filtrante en los proceso de purificación del agua. Para verificar la eficacia de los filtros se se emplearon dos tipos de muestra de aguas contaminadas, una del río Daule y la otra del río Tenguel.

En el caso de la cáscara de plátano (material A), hay que indicar que es bien conocido que el plátano es uno de los principales cultivos en Ecuador. La superficie cultivada es superior a las 19000 ha, con un crecimiento promedio en los últimos 5 años cercano al 2%. El rendimiento promedio anual de producción por hectáreas es de 32.81 toneladas durante dicho periodo. En el 2012 las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas sumaron el 78.54% de la superficie total cosechada de éste producto [5].

La cascarrilla de arroz (material B) se puede encontrar en abundancia al ser un sub-producto de la producción de arroz. (Rodríguez, Salinas, Ríos, & Vargas, 2012). El cultivo de arroz está localizado principalmente en la Región Costa, principalmente en las provincias del Guayas (63.94%) y Los Ríos que sumaron el 93.56% de la superficie total cosechada de este producto [5]. Se ha demostrado que por cada unidad de grano seco de arroz se produce una cantidad igual de cascarrilla (también llamada tamo o residuo), También se conoce que su tasa de descomposición es muy baja.

La semilla de zapote (material C) se ha elegido por razones diferentes a las dos anteriores. El zapote (*Pouteria sapota*), es un frutal de polinización libre originario de las partes bajas de América Central, que se produce a partir de semillas [2]. A pesar de sus bondades nutricionales y del alto consumo y demanda en Latinoamérica, es una fruta poco apreciada en Ecuador, donde por motivos climáticos su producción sería muy favorable. Por este motivo se ha considerado este fruto en el trabajo, con objeto de incrementar la superficie territorial de su producción por los diversos beneficios que presenta.

Para valorar las posibilidades de cada carbón activado obtenido, se compararon los resultados obtenidos con un

carbón activado comercial, en este caso un medio convencional granular de marca Norit GAC830 [6].

## II. METODOLOGÍA

### A. Materiales

Para la realización de este trabajo, se seleccionaron tres materiales que son residuo de actividades agroindustriales de importancia en Ecuador. Los desechos agroindustriales empleados fueron cascaras de plátano, la cascarilla de arroz y las pepas de zapote, los cuales fueron activados químicamente de manera independiente, logrando obtener tres variedades de carbón activado.

Las muestras de agua utilizadas en el estudio, se procedió a tomar muestras de agua provenientes del Río Daule y del Río Tenguel. La Cuenca del Río Daule consta de casi 12 mil kilómetros cuadrados de superficie que equivalen al 5% de la superficie del Ecuador, es una de las principales del país. Su área de influencia abarca 31 cantones de 5 provincias (Guayas, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Santo Domingo) cubriendo a una población de más de cuatro millones y medio de personas (3 de cada 10 del país).

El río Tenguel corre paralelo al río Gala, desagua en las laderas del norte de la montaña Bella Rica. El flujo del caudal promedio en la parte central de este río es relativamente constante, aproximadamente de 0.5 m<sup>3</sup>/s durante la época seca, mientras que en la temporada abundante el promedio del caudal llega a 7 m<sup>3</sup>/s. El río Tenguel se ve afectado por la contaminación de metales provenientes de las actividades mineras, siendo el principal contaminante el cobre (Cu). [7]

### B. Metodología de Obtención del Carbón Activado

El proceso realizado con cada muestra se esquematiza en la Fig.#1. Primeramente se procedió a dejar secar al sol los tres materiales precursores a considerarse en la elaboración del carbón activado. Luego se procedió a la clasificación y molienda del material. Para esta fase se empleó un molino de cuchillas.

El proceso de activación se desarrolló en una sola etapa. El material precursor fue calentando durante 24 horas el material precursor (300 gramos) junto al agente químico (600 mL). La sustancia activadora que se empleó en estudio fue ácido fosfórico al 40% (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), en una proporción volumétrica 1:2 [8]. El material carbonizado obtenido se dejó enfriar a temperatura ambiente y fue lavado varias veces con suficiente agua destilada a 70°C. Además se empleó una solución alcalina de NaOH 0.1 mol/L hasta ajustar su pH entre 6.5 y 7 [9].

Posteriormente, el carbón activado obtenido fue colocado a 110°C en una estufa por lapso de 48 horas para remover la humedad presente. Finalmente el material fue pulverizado en

un mortero y se almacenó en recipientes herméticos hasta el momento de su utilización [10] [11].



Figura 1. Metodología Utilizada

### C. Construcción del Filtro Empleados

Para la construcción del filtro se empleó 50 cm de tubería de policarbonato de 1 ½". El filtro fue sellado en las partes superior e inferior por medio de 2 tapones de pvc de 1 ½". El agua a ser filtrada ingresaba al sistema por medio de una manguera de color transparente de 20 mm conectada a un embudo. Se empleó además 1 codos de 90° de 20 mm, una rejilla metálica, material tipo malla de nylon y un soporte metálico. El efluente fue evacuado por medio de una llave de manguera.

### D. Parámetros Evaluados

Una vez obtenido el material se procedió a realizar varios ensayos a los materiales obtenidos. El primero fue un ensayo analítico de rendimiento. Este permitió evaluar la cantidad de materia prima precursora versus la cantidad final del producto deseado, carbón activado.

Se determinó además la Granulometría del material. De esta forma se pudo determinar la distribución de los diferentes tamaños de partículas presentes en la muestra de carbón analizada. Se determinó además el contenido de humedad del material filtrante obtenido, así como su densidad aparente. El valor de la densidad aparente permite predecir la calidad del carbón activado obtenido.

Especial atención se puso a la obtención del número de Yodo de los materiales obtenidos. Este ensayo permite evaluar el desempeño del carbón activado, ya que cuantifica la porosidad por la absorción del yodo en disolución. Mientras mayor el número de yodo es más alto, el grado de activación del carbón es más alto.

Otros parámetros evaluados fueron el contenido de Material Volátil del carbón. Se determinó además el contenido de Cenizas.

#### E. Determinación de la Isoterma de Adsorción de Langmuir

Un parámetro de especial importancia en el diseño de sistemas de eliminación de contaminantes mediante adsorción es la capacidad del adsorbente, en este caso, el carbón activado. Esta capacidad depende de muchos factores. En primer lugar se encuentran las propiedades del adsorbato tales como su geometría, tamaño molecular, polaridad, hidrofobicidad, grupos funcionales que contiene y su solubilidad en agua. En segundo lugar se pueden citar las condiciones de la disolución tales como su pH, temperatura, concentración del contaminante, fuerza iónica y solutos competitivos [9]. Por último se pueden citar las características del carbón, que incluyen el área superficial, la distribución de tamaños de poro, la distribución de grupos funcionales en la superficie y el contenido en cenizas [11].

La isoterma de Langmuir describe mejor los procesos de adsorción. Para el presente trabajo de investigación se realizó una valoración de 10.0 mL de ácido acético 0.5 M, utilizando el NaOH 1.0 M como agente valorante.

#### F. Determinación de la Remoción Alcanzada.

El agua proveniente de los Rios Daule y Teguel fue tratada en los filtros construidos para este estudio. En el caso del agua proveniente del Río Daule, la misma fue sometida a un proceso de sedimentación previo de una hora para remover los sólidos sedimentables presentes en la misma. El efluente del proceso de decantación fue colocado en el filtro sin añadir ningún tipo de sustancia química al agua. En el caso del agua proveniente del río Tenguel, no se requirió del proceso previo de decantación y el agua fue directamente filtrada.

Se tomaron muestras del agua antes de ser pasadas por los filtros y luego del paso del agua a través de los mismos. Las muestras tomadas del efluente fueron analizadas y los resultados se incluyen en el presente documento.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla 1 se resume los resultados obtenidos para los tres tipos de carbonos activados estudiados. Se puede apreciar claramente que en el valor de rendimiento destaca claramente el carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz, con un valor del 84%. Esto quiere decir que sólo un 16% corresponde al residuo de la materia prima inicial usada antes del proceso de activación química. Todos los demás resultados, en los tres casos, se encuentran en los rangos permitidos para cada parámetro, acorde las normas técnicas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, que especifican y regulan un carbón activado granular para el tratamiento de agua.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO CON EL MATERIAL DE DESECHO

Parámetro	Cáscara de Plátano	Cascarilla de Arroz	Pepa de Zapote	Norit GAC830
Rendimiento (%)	46	84	32	No disponible
Tamaño efectivo (mm)	1.6	0.5	0.65	1.0
Contenido de Humedad (%)	12.63	8.29	9.64	2
Densidad aparente (gr/mL)	0.307	0.267	0.217	0.5
Número de Yodo	341.60	288.06	241.74	920
Contenido de Cenizas (%)	16.18	13.56	9.55	No disponible
Potencial hidrógeno	3.5	3.8	3.4	Alcalino

#### A. Isotermas de Langmuir

A continuación se procede a mostrar las fig.# 1, fig.#2 y fig.#3 donde se muestran las isotermas obtenidas para los materiales de desechos agroindustriales empleados para la elaboración del carbón activado. Se puede observar que a medida que el ácido acético disminuye, disminuye también la relación de la cantidad absorbida por el carbono. Dada la forma lineal de cada isoterma, se puede apreciar que entre los tipos de carbón obtenidos, el que posee mayor grado de adsorción es el material C, aunque en ninguno de los tres casos se mejora el comportamiento del material de referencia.

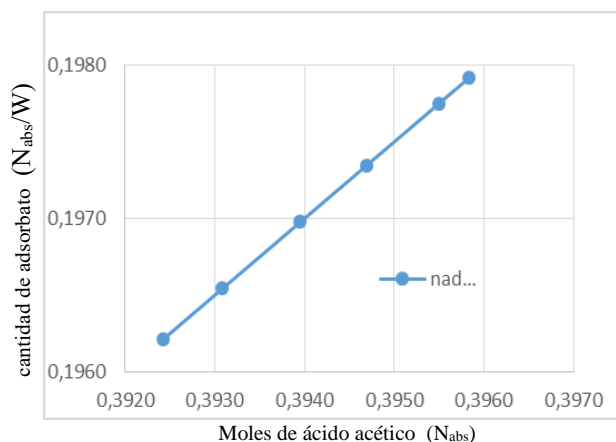


Fig. 1 Isoterma de Langmuir para el Carbón Activado elaborado en Base de la Cáscara de Plátano.

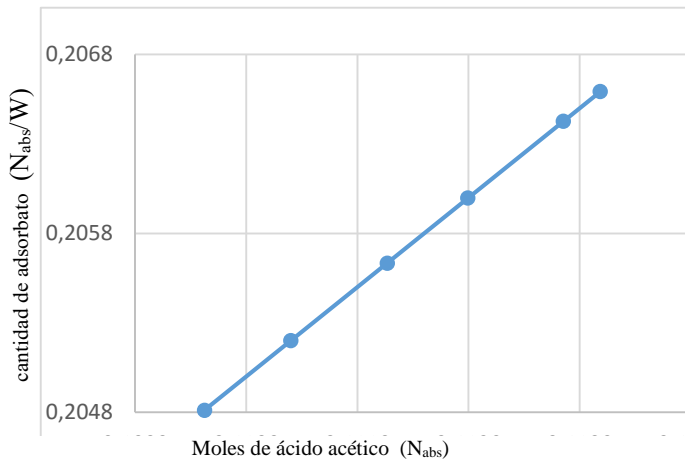


Fig. 2 Isoterma de Langmuir para el Carbón Activado elaborado en Base de la Cáscarilla de Arroz.

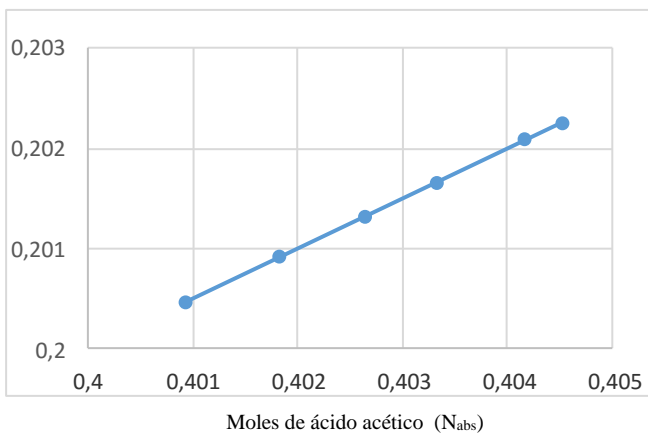


Fig. 2 Isoterma de Langmuir para el Carbón Activado elaborado en Base de la Pepa de Zapote.

### B. Resultados de la remoción de contaminantes

De manera general, se puede resumir que el carbón activado que sobresalió por su eficiencia al momento de adsorber los contaminantes considerados, fue el material C, proveniente de las semillas de zapote. Obsérvese que solo en el parámetro de dureza es superado por el carbón activado del material B; sin embargo este último tiene como principal problema su baja capacidad de eliminación de coliformes totales, por lo que no podría aplicarse para la depuración de aguas para consumo humano. En lo que se refiere a remoción de arsénico presente en el agua del río Tenguel, éste fue removido en más del 90% por el carbón activado proveniente de los tres tipos de desechos analizados. Se demuestra que se se logró superar al carbón activo comercial contra el que fueron comparados los valores de remoción.

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los ensayos realizados, se logró mostrar que los materiales utilizados para el desarrollo de este proyecto, escogidos por ser residuos de actividad agroindustrial con disponibilidad en la zona geográfica del estudio, pueden ser considerados como idóneos para la fabricación de carbón activado.

Al evaluar las características físicas y químicas de los tres tipos de carbón activado obtenidos se puede concluir que: la cascarilla del arroz tiene un mayor rendimiento, con un porcentaje del 84% de la materia prima inicial; el contenido de humedad, la densidad aparente y el tamaño efectivo son parámetros en común de los tres carbonos obtenidos, los cuales cumplen con los rangos normalizados para un carbón

TABLA II  
RESULTADOS DE REMOCIÓN ALCANZADOS CON LAS TRES MUESTRAS DE CARBÓN ACTIVADO ELABORADO A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES

Parámetros Analizados	Concentración contaminante Inicial [Si]	Cargas Contaminante Final [Sf]				% de Remoción [(Si-Sf)/Si]*100			
		A (Cáscara de Plátano)	B (Cascarilla de Arroz)	C (Pepa de Zapote)	D (Carbón Activado comercial)	A	B	C	D
Turbidez (UNT)	8.0	2.0	0.5	0.5	1.0	75.0	93.8	93.8	87.5
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	0.9	0.2	0.3	0.2	0.5	77.8	66.7	77.8	44.4
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	500.0	Ausencia	400.0	Ausencia	Ausencia	100.0	20.0	100.0	100.0
Dureza (mg/L)	56.4	54.0	2.8	31.2	54.0	4.3	95.0	44.7	4.3
Arsénico (mg/L)	0.0600	< 0.0031	0.0035	< 0.0031	0.0066	> 94.8	94.2	> 94.8	89.0
Cobre (mg/L)	0.0629	0.0087	0.0094	0.0047	< 0.0037	86.2	85.1	92.5	> 94.1

activo granular

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis de turbidez, DBO<sub>5</sub>, dureza total, y los iones As y Cu del producto obtenido después del filtrado en los tres tipos de carbón activado cumplen con los límites máximos permisibles dictado por la legislación para el agua potable.

Se puede concluir que la adsorción del carbón activado, según la isoterma de Langmuir, proveniente de las semillas de zapote y la cascara de plátano en comparación con el carbón comercial (NORIT GAC 830) fueron las más eficientes.

Se puede concluir con todos los parámetros analizados que el carbón proveniente de la semilla de zapote obtuvo la mayor cantidad de resultados satisfactorios para ser utilizado como medio filtrante en el proceso de interés. Sin embargo con la cáscara de plátano y la cascarilla de arroz se obtuvieron también resultados bastante favorables, tomando en cuenta que todos los materiales empleados como insumos son considerados como desechos sólidos generados por la agroindustria.

#### REFERENCIAS

- [1] Jairo Alberto Romero Rojas, Purificación del Agua, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.
- [2] Gunt Hamburg, «Absorción y Adsorción,» *Ingeniería de Procesos Térmicos*, pp. 20-21.
- [3] G. Zibettia, R. Beniteza y E. Calandri, «Elaboración de Carbón Activado: Contenidos Celulares vs. Carbón Fijado en Tres Especies de Interés Forestal de la Provincia de Formosa,» UNaF. Formosa 3600, Argentina.
- [4] Bahrton, A. , Preparation of actived carbons from a fast growing tree species, Estocmo, suecia.: Royal Institute of Technology, 1998.
- [5] INEC, «Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2012,» UNIDAD DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS - ESAG, Ecuador, 2012.
- [6] CABOT, «Norit activaded carbon,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.norit.com/>. [Último acceso: 07 Septiembre 204].
- [7] SENPLADES, «EVALUACION SOCIAL Y TECNICA DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LAS SUBCUENCAS DE LOS RIOS JAGUA,BALAO, GALA, TENGUEL Y SIETE,» 2009
- [8] E. D. F. D. L. C. E. C. O. C. M. F. CEFIC, «TEST METHODS FOR ACTIVATED CARBON,» 1986.
- [9] J. V. P. Mañay, «MEJORAMIENTO DEL CARBÓN

ACTIVADO CONTAMINADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013.

- [10] V. E. Michel de Montaigne, «Carbón activado, Producción, Clasificación, Propiedades, Propiedades químicas y modificaciones, Ejemplos de adsorción, Aplicaciones, Reactivación y regeneración,» E-CENTRO, Canada, 2012.
- [11] J. Solís, M. Morales y R. Ayala, «Obtención de carbón activado a partir de residuos,» Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, México, 2012.