

## ESTUDIO PRELIMINAR DE ADSORCIÓN DE IONES HIERRO CON CARBÓN ACTIVADO DE CASCARÓN DE COCO

Dolores Salas Tort, Norma Marzal Blanco, Valdivina Córdova Rodríguez, Dunia  
Rodríguez

Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente

*En el departamento se comienza el estudio de obtención de carbón activado a partir de biomasa de cascarón de coco para luego poder ser utilizado en procesos de descontaminación ambiental. Este trabajo tiene como objetivo determinar la variación de la concentración, la cantidad adsorbida y el porcentaje de adsorción de soluciones de iones hierro cuando son tratados con carbón activado; con y sin la eliminación de su ceniza y obtener las curvas que estadísticamente reflejen la dependencia de los factores antes mencionados con el tiempo.*

*Entre los métodos empleados se utilizó para la activación del carbón vegetal el método conocido como "Activación química con lixiviación", este está dividido en tres etapas: carbonización (pirólisis), lixiviación y activación. Los análisis que fueron realizados para el tratamiento de las soluciones que contienen los iones  $Fe^{3+}$  con el carbón activado fueron: pH (Método potenciométrico), Hierro: determinándose masa de hierro adsorbida, cantidad adsorbida y % de adsorción.*

*Los resultados del estudio demostraron que el carbón activado obtenido con y sin cenizas puede adsorber este metal pesado de sus soluciones en las condiciones de la experimentación. Se obtuvieron las curvas y los modelos a los que mejor se ajustan el comportamiento de los datos obtenidos. Entre las conclusiones principales están que el estudio de la adsorción de iones  $Fe^{3+}$  con carbón activado de cascarón de coco en estas condiciones de trabajo demostró que se puede eliminar este metal pesado de sus soluciones*

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

*The department began its study of production of activated carbon from biomass of coconut shell and then be used in environmental decontamination procedures. This paper aims determine the variation in concentration, the amount adsorbed and percentage of adsorption solutions when iron ions are treated activated carbon, with and without removing his ash and obtain statistically curves that reflect the dependence of the above factors over time.*

*Among the methods employed were used for the activation of charcoal method known as "activity with chemical leaching," this is divided into three stages: carbonization (pyrolysis), leaching and activation.*

*The analyses were performed for the treatment of solutions containing ions  $Fe^{3+}$  with the activated carbon were: pH (method potentiometer), iron: determining mass iron adsorbed, quantity adsorbed, and adsorption % The results of the study showed that the activated carbon obtained with and without ash can adsorb this heavy metal of their solutions in terms of experimentation. We obtained the curves and models to best fit the behaviour of the data obtained among the main conclusions are that the study of adsorption ion  $Fe^{3+}$  with activated carbon from coconut shell in these working conditions showed that we can eliminate this heavy metal in their solutions.*

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

### Introducción

Actualmente, el mundo se está enfrentando a graves problemas de contaminación que están dando al traste con muchos fenómenos naturales, como la destrucción de la capa de ozono, el derretimiento de los glaciales, el cambio constante de las estacio-

nes fuera de época, la contaminación de las aguas por el vertimiento de las industrias, todo esto se resume en peligro para la existencia de la vida en la tierra: de los animales, la vegetación y especialmente la vida del hombre. Una de las vías que se puede utilizar para contrarrestar este efecto es la utilización del carbón activado./1, 5/.

---

La contaminación en las fuentes de agua se establece por la presencia de compuestos que no estarían en forma normal sin la intervención del hombre o por un aumento o descenso en el contenido de las sustancias existentes por la acción humana./4/

De manera que en el agua pueden existir componentes químicos potencialmente más tóxicos tales como metales pesados: entre estos se encuentran: Manganeso, Plomo, Zinc, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro y Níquel entre otros. De acuerdo a todo lo anterior el objetivo general del trabajo es: analizar el comportamiento de la adsorción de iones  $\text{Fe}^{3+}$  utilizando carbones activados de cascarón de coco.

## Fundamentación teórica

El carbón activado es el mejor adsorbente de uso general para remoción/reducción de muchos compuestos orgánicos y aún algunos inorgánicos del agua/3/ y de aguas residuales/4/. El mismo posee la virtud de retener o adherir en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas e iones), del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente /2/.

Son muchas las sustancias que pueden ser adsorbidas de una solución de carbón activado, pero el grado de adsorción varía mucho. Es variable la naturaleza y cantidad de grupos químicos funcionales existentes en la superficie de los carbones, responsables de la mayor o menor afinidad entre el adsorbente y especie metálica a adsorber. Si bien por su carácter hidrófobo los carbones activados adsorben preferentemente compuestos no polares, la presencia de inorgánicos y hetero-átomos que forman grupos funcionales superficiales influyen las propiedades de adsorción de especies polares.

La adsorción de metales pesados presentes en aguas depende de varios factores entre los que se destacan: la constitución química del agua, las formas en que se encuentran las especies de metales pesados, la textura y los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado. Variables como origen, tipo y tamaño de partícula del carbón activado, pH de la solución, temperatura del agua, tiempo de contacto e interacciones competitivas con otros componentes del agua, influyen la retención de metales en el carbón activado./7, 8, 9/.

## Métodos utilizados y condiciones experimentales

### Materia prima

En este trabajo la materia prima utilizada es el carbón primario proveniente de las cáscaras de coco, procesado en la región de Baracoa. Este material si es tratado convenientemente posee un área superficial extensa, es altamente poroso, lo que le confiere un gran poder adsorbente.

El mismo fue activado y caracterizado determinándosele el porcentaje de volátiles, carbono fijo y cenizas.

### Tratamiento de las soluciones que contienen los iones $\text{Fe}^{3+}$ con el carbón activado

Se toman 50 mL de la muestra y se transfiere a un Erlenmeyer de 100 mL. Luego se añade 2 mL de ácido clorhídrico 1:9 y 1 mL de hidroxilamina y se pone a calentar hasta que gaste la mitad, luego se deja enfriar, posteriormente se transfiere a un matraz de 50 mL y se añaden 2 mL de 1-10 ortofenantrolina, luego se añaden 0,5 mL de hidróxido de amonio, y se llevan a volumen final con agua destilada y se espera 10 min.

Se le da el mismo tratamiento a un blanco.

**Nota:** Blanco, agua exenta de  $\text{Fe}^{3+}$

Se utiliza para medir la concentración el fotocolorímetro, utilizando un filtro de 50. Todos estos análisis fueron realizados en el Laboratorio Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología, en la dirección sectorial de salud, situado en Santiago de Cuba.

### Análisis que fueron solicitados

1. pH (método potenciométrico).
2. Hierro (método de la fenantrolina).

Estas técnicas fueron ejecutadas según el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18<sup>th</sup> Edition. A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F., 1998.

## Resultados y discusión

A continuación se exponen los resultados ob-

tenidos para el ion hierro y los modelos obtenidos a partir de los datos experimentales /6/ utilizando el programa Sttagrphics Plus 5.1

### Eliminando cenizas del carbón activado

Tabla 1  
Adsorción de  $Fe^{3+}$  con carbón activado sin cenizas

Tiempo (min)	Concentración (mg/L)	pH	Masa (g)	Cantidad adsorbida(mg/g)	% adsorción.
0	3,32	3,27	0,498	0	0
15	2,30	3,42	0,345	0,51	30,72
30	2,30	3,46	0,345	0,51	30,72
60	2,30	3,51	0,345	0,51	30,72
120	2,30	3,53	0,345	0,51	30,72
180	2,30	3,53	0,345	0,51	30,72
240	2,30	3,53	0,345	0,51	30,72

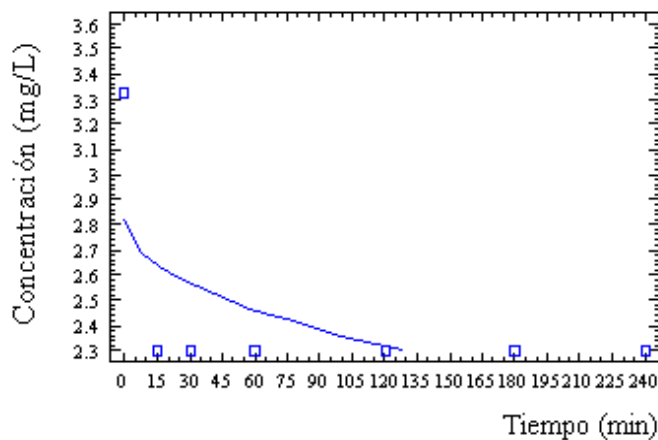


Gráfico del modelo ajustado para  $c(Fe)$  sin cenizas.

a. Para los datos de  $c(Fe)$

Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada-X:  $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Variable dependiente: Concentración de Fe:  $c(Fe^{3+})$

Variable independiente: Tiempo:  $t$

$$c(Fe^{3+}) = 2,81776 - 0,0457222 \sqrt{t}$$

## Análisis de la varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0,379 482	1	0,379 482	3,70	0,054 7
Residuo	0,512 289	5	0,102 458		
Total (Corr.)	0,891 771	6			

Coefficiente de Correlación = -0,752 333, R<sup>2</sup> = 79,053 4 %

### Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre c (Fe<sup>3+</sup>) y Tiempo para un nivel de confianza del 90 %. El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo

explica un 79,053 4 % de la variabilidad en c (Fe<sup>3+</sup>).

El coeficiente de correlación es igual a -0,752 333, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

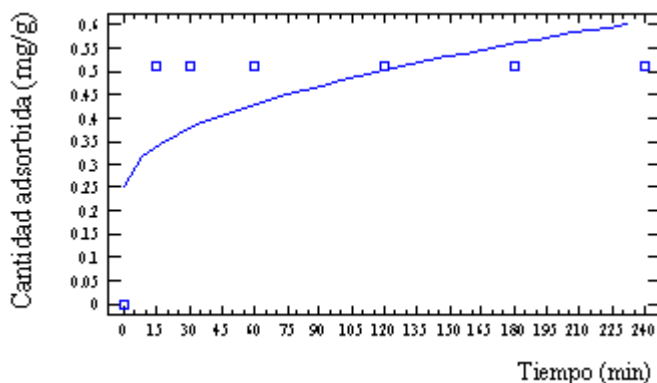


Gráfico del modelo ajustado para cantidad de Fe sin cenizas.

b. Para los datos de cantidad de Fe adsorbida

Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada-X:  $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Variable dependiente: Cantidad de Fe adsorbida

Variable independiente: Tiempo: t

$$C_{Fe\ ads} = 0,251122 + 0,0228611 \sqrt{t}$$

## Análisis de la varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0,094 870 6	1	0,094 870 6	3,70	0,054 7
Residuo	0,128 072	5	0,025 614 4		
Total (Corr.)	0,222 943	6			

Coefficiente de Correlación = 0,752 333; R<sup>2</sup> = 79,25 %

## Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre cantidad de Fe adsorbida y tiempo para un nivel de confianza del 90 %. El estadístico  $R^2$  indica que el

modelo explica un 79,25 % de la variabilidad en cantidad de Fe adsorbida.

El coeficiente de correlación es igual a 0,752 333, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

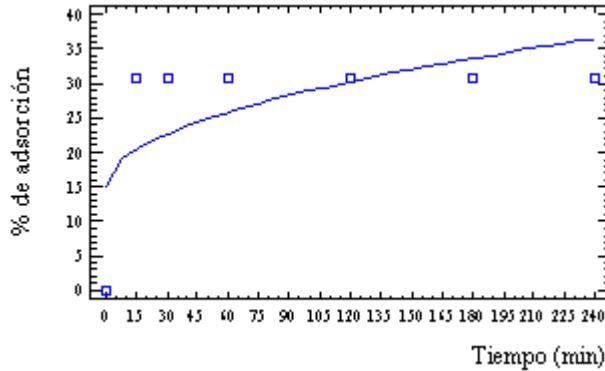


Gráfico del modelo ajustado para % cantidad de Fe sin cenizas.

c. Para los datos de % de adsorción de Fe

Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada-X:  $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Variable dependiente: % de adsorción

Variable independiente: Tiempo: t

$$\% Ads = 15,1264 + 1,37705 \sqrt{t}$$

## Análisis de la varianza:

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	344,218	1	344,218	3,70	0,054 7
Residuo	464,683	5	92,936 7		
Total (Corr.)	808,901	6			

Coefficiente de Correlación = 0,652 333;  $R^2 = 75,253 4 \%$

## Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre % de adsorción y Tiempo para un nivel de confianza del

90 %. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo explica un 75,253 4 % de la variabilidad en % de adsorción. El coeficiente de correlación es igual a 0,652 333, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

## Sin eliminar las cenizas del carbón activado

Tabla 2  
Adsorción de Fe<sup>3+</sup> con carbón activado con cenizas

Tiempo (min)	Concentración (mg/L)	pH	Masa (g)	Cantidad adsorbida (mg/g)	% adsorción.
0	7,72	3,20	1,158	0	0
15	0,57	6,60	0,085 5	3,535 0	92,61
30	0,03	6,70	0,004 5	3,710 0	96,11
60	0,006 3	6,70	0,000 94	3,856 8	99,92
120	0	6,80	0	3,860 0	100
180	0	6,80	0	3,860 0	100
240	0	6,80	0	3,860 0	100

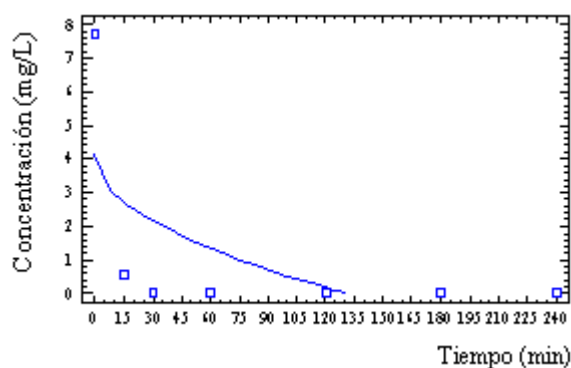


Gráfico del modelo ajustado para c(Fe) con cenizas.

a. Para los datos de c(Fe)

Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada-X:  $Y = a + b \cdot \sqrt{X}$

Variable dependiente: Concentración de Fe:  $c(\text{Fe}^{3+})$

Variable independiente: Tiempo:  $t$

$$c(\text{Fe}^{3+}) = 4,21268 - 0,389269 \sqrt{t}$$

### Análisis de la varianza:

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	22,579 2	1	22,579 2	3,50	0,054 7
Residuo	25,790 5	4	6,447 63		
Total (Corr.)	48,369 7	5			

Coefficiente de Correlación = -0,783 23,  $R^2 = 79,053 4 \%$

### Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre  $c(\text{Fe}^{3+})$  y tiempo para un nivel de confianza del

90 %. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo explica un 79,053 4 % de la variabilidad en  $c(\text{Fe}^{3+})$ . El coeficiente de correlación es igual a -0,783 23, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

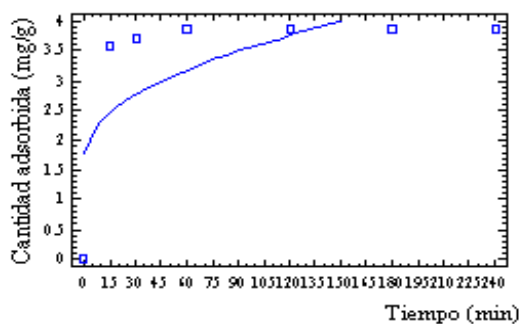


Gráfico del modelo ajustado para cantidad de Fe con cenizas.

b. Para los datos de cantidad de Fe adsorbida  
 Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada-  
 $X: Y = a + b \cdot \sqrt{X}$   
 Variable dependiente: Cantidad de Fe adsorbida  
 Variable independiente: Tiempo: t

$$C_{Fe\ ads} = 1,7571 + 0,194504 \sqrt{t}$$

### Análisis de la varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	5,637 22	1	5,637 22	3,48	0,013 5
Residuo	6,475 69	4	1,618 92		
Total (Corr.)	12,112 9	5			

Coefficiente de Correlación = 0,882 194; R<sup>2</sup>= 79,253 4 %

### Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre cantidad de Fe adsorbida y tiempo para un nivel de

confianza del 90 %. El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo explica un 79,253 4 % de la variabilidad en cantidad de Fe adsorbida. El coeficiente de correlación es igual a 0,882 194, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

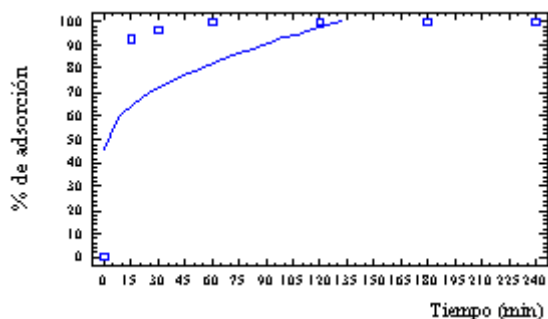


Gráfico del modelo ajustado para % de adsorción de Fe con cenizas.

c. Para los datos de % de adsorción de Fe  
 Análisis de Regresión - Modelo Raíz Cuadrada- $X: Y = a + b \cdot \sqrt{X}$   
 Variable dependiente: % de adsorción  
 Variable independiente: Tiempo: t

$$\% Ads = 44,5426 + 5,08432 \sqrt{t}$$

---

## Análisis de la varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	3 851,89	1	3 851,89	3,71	0,012 6
Residuo	4 151,01	4	1 037,75		
Total (Corr.)	8 002,91	5			

Coefficiente de Correlación = 0,693 766; R<sup>2</sup> = 79,253 4 %

## Análisis

Dado que el p-valor es inferior a 0,10, existe relación estadísticamente significativa entre % de adsorción y Tiempo para un nivel de confianza del 90 %. El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo explica un 79,253 4 % de la variabilidad en % de adsorción. El coeficiente de correlación es igual a 0,693 766, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

## Discusión de los resultados

### Adsorción de iones Fe<sup>3+</sup> con carbón eliminándole cenizas

La tabla 1 muestra que la concentración y masa de iones Fe<sup>3+</sup> en solución disminuye en los primeros 15 min y se mantiene constante luego, la cantidad adsorbida es baja correspondiendo a un porcentaje de adsorción de solo el 30,72 %. El pH de la solución es ácido, aumentando muy poco entre 3,27 y 3,53.

Las curvas obtenidas representan los modelos ajustados para el comportamiento de la concentración, la cantidad adsorbida y el porcentaje de adsorción en el tiempo y tienen valores de los resultados estadísticos aceptables.

### Adsorción de iones Fe<sup>3+</sup> con carbón sin eliminar las cenizas

La tabla 2 muestra que al no ser eliminadas las cenizas hay una disminución notable de la concentración y la masa de los iones Fe<sup>3+</sup> en la solución, el pH aumenta en los 15 primeros minutos más que en el caso anterior.

La cantidad adsorbida es alta que llega al 100 % a partir de las 2 h. en este caso, las características superficiales del carbón favorecieron aún más la adsorción de este ion. En la literatura [13] se plantea el hecho de que las cenizas ocasionan defectos en la estructura elemental del carbón activado, por los defectos el oxígeno es químicamente adsorbido y esto conduce a un aumento de la sorción de sustancias polares e iones.

Las curvas obtenidas representan los modelos ajustados para el comportamiento de la concentración, la cantidad adsorbida y el porcentaje de adsorción en el tiempo y tienen valores de los resultados estadísticos aceptables.

## Conclusiones

1. El estudio de la adsorción de iones Fe<sup>3+</sup> con carbón activado de cascarón de coco en estas condiciones de trabajo demostró:
  - Que se puede eliminar este metal pesado de sus soluciones.
  - Cuando al carbón no se le eliminan cenizas hay mayor adsorción de estos iones.
2. Se obtuvieron las curvas ajustadas a los modelos matemáticos que mejor describen el comportamiento de la adsorción de estos iones en el tiempo.

## Nomenclatura

c(Fe<sup>3+</sup>): Concentración de hierro adsorbido en mg/L.

C<sub>Fe ads</sub>: Cantidad de hierro adsorbido en (mg/g).

%Ads: % de Adsorción.

t: tiempo en minutos.

## Bibliografía

- 1- Ruiz, B. and Col, "De Semiantracitas a Carbones Activos". XIII Simposio Iberoamericano de catálisis, Segovia. vol. I, 1992.



- 
- 2- Kaganer, "Evaluación comparativa del área superficial de materiales carbonosos", Segundo Congreso Nacional Ciencia y Tecnología Carbón, vol. I, Colombia, Nov., 1993.
  - 3- Furt, F., "Carbón activado en forma de polvo para el tratamiento de líquidos, producción, ensayo y aplicación", Ediciones Lurg, México, 2004.
  - 4- Lenntech, "Agua Residual y Purificación. Adsorción/Carbón Activo", 1998- 2004.
  - 5- Lurgi, "Carbones activos para la depuración de aguas", Ensayo. Aplicación (Folleto de divulgación) RFA, 1981.
  - 6- Guerra, "Introducción al análisis estadístico para procesos", Editorial Pueblo y Educación, 1986.
  - 7- Reinoso y Molina Sabio; "Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales", Ediciones CYTED, Alicante, 2004, 1999.
  - 8- Patente 19 de la República de Cuba, "Procedimiento de depuración de iones metálicos de aguas residuales", Oficina Cubana de la Propiedad Industrial, 2000.
  - 9- Rodríguez Reinoso F. "Descontaminación ambiental mediante adsorbentes" Red Iberoamericana de adsorbentes para la protección ambiental, Ediciones CITECITED, Madrid, España., 2005.