

Comunicación Corta

CARBÓN OBTENIDO POR ACTIVACION FÍSICA DE SEMILLA DE MAMEY (MAMEY) Y SU USO COMO ADSORBENTE DE IONES COBRE (II)

CHARCOAL OBTAINED BY PHYSICAL ACTIVATION OF MAMEY (MAMEY) SEED AND ITS USE AS AN ADSORBENT OF COPPER (II) IONS

Julio Omar Prieto García^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9279-4412>

Ariel Pérez Leiva¹ <https://orcid.org/0000-0003-1542-2444>

Alfredo E. Curbelo Sánchez² <https://orcid.org/0000-0002-9955-0437>

Mixary Enríquez García¹ <https://orcid.org/0000-0002-0644-1160>

Ángel Mollineda Trujillo³ <https://orcid.org/0000-0002-5057-4411>

¹ Departamento de Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 10, 2024; Revisado: Octubre 12, 2024; Aceptado: Febrero 24, 2025

RESUMEN

Introducción:

Los carbones obtenidos por activación química y física son buenos adsorbentes de gases, moléculas e iones en solución acuosa.

Objetivo:

Obtener los parámetros matemáticos de los procesos cinéticos, termodinámicos y difusivos del sistema heterogéneo en equilibrio disolución acuosa de cobre (II)-carbón.

Materiales y Métodos:

Se emplean disoluciones de cobre (II). Se sintetiza carbón por activación física de semillas de mamey y se le determinan parámetros químicos y físicos. Se utilizan las ecuaciones cinéticas y difusivas a 298 y 338 K. Se determina la isoterma de adsorción a 298 K.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Julio O. Prieto, Email: omarpg@uclv.edu.cu



Resultados y Discusión:

Con un 47,6 % de rendimiento se obtiene un carbón con una tortuosidad y relación C/N elevadas. La energía de activación de 8,18 kJ/mol. La isoterma de Temkin se adecua a los datos termodinámicos.

Conclusiones:

1. El carbón es buen adsorbente de iones Cu(II).
2. Las ecuaciones cinéticas responden a un pseudoprimer orden.
3. Se obtiene los coeficientes de difusión del orden de 10^{-10} m²/s.

Palabras clave: adsorción; carbón; cobre (II).

ABSTRACT

Introduction:

Charcoals obtained by chemical and physical activation are good adsorbents of gases, molecules and ions in aqueous solution.

Objective:

To obtain the mathematical parameters of the kinetic, thermodynamic and diffusive processes of the heterogeneous system in equilibrium aqueous solution of copper (II)-charcoal.

Materials and Methods:

Copper (II) solutions are used. Charcoal is synthesized by physical activation of mamey seeds and its chemical and physical parameters are determined. The kinetic and diffusive equations at 298 and 338 K are used. The adsorption isotherm is determined at 298 K.

Results and Discussion:

With a 47.6% yield, a coal with a high tortuosity and C/N ratio is obtained. The activation energy of 8.18 kJ/mol. The Temkin isotherm fits the thermodynamic data.

Conclusions:

1. Charcoal is a good adsorbent of Cu(II) ions.
2. The kinetic equations respond to a pseudo-first order.
3. Diffusion coefficients of the order of 10^{-10} m²/s are obtained.

Keywords: adsorption; charcoal; copper (II).

1. INTRODUCCIÓN

El carbón activado es un material carbonífero poroso, se puede fabricar a partir de diversas sustancias carbonosas de origen animal, vegetal o mineral. Es frecuente utilizar antracita, carbones grasos o bituminosos, coque de petróleo, turba, madera, cáscara de nuez, coco o almendra, huesos, así como otros productos residuales de naturaleza lignocelulósica.

Se caracteriza por poseer una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución, la propiedad física más importante es su gran poder de adsorción. Son variados los estudios realizados acerca de la adsorción de cobre (II) en

carbones de variados tipos, pero no hay referencias del carbón obtenido por activación física de semilla de mamey (Blanco et al., 2005), (de Celis et al., 2007), (Sánchez & Moreira, 2022).

El objetivo del presente trabajo es obtener los parámetros matemáticos de los procesos cinéticos, termodinámicos y difusivos del sistema heterogéneo en equilibrio disolución acuosa de cobre (II)-carbón.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se preparan soluciones de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Se realiza la síntesis del carbón mediante activación física a partir de semilla de mamey a 800 °C durante 60 minutos y se determinan una serie de parámetros físicos y químicos como densidad aparente, densidad aparente por aprisionamiento, densidad picnométrica, compresibilidad, porosidad, factor de forma, velocidad de flujo, superficie específica y tortuosidad. Además de pH, índice de iodo, % de volátiles, % de humedad, % de ceniza, % de carbón fijo, % de nitrógeno, % de oxígeno y % de carbono.

Se emplean los modelos cinéticos y difusivos de pseudoprimer orden (SPO), pseudosegundo orden (SSO), modelo de Elovich (ME), difusión en la película de líquido (DPL), difusión efectiva (DE) y modelo de Bamghan (MB) (Prieto et al., 2016), (Igwe, 2006).

Además, se efectúa la evaluación a dos temperaturas, 298 K y 338 K de la energía libre y potencial químico, así como las variaciones de entalpía y entropía a esas mismas temperaturas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las propiedades físicas y químicas.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas determinadas

Parámetros	Valor
Densidad aparente (g/cm^3)	0,28
Densidad aparente por aprisionamiento (g/cm^3)	0,32
Densidad picnométrica (g/cm^3)	0,963
Porosidad (%)	71,87
Compactibilidad (%)	13,93
Tortuosidad	1,68
Velocidad de flujo (cm/s)	0
pH	8
Superficie específica (m^2/g)	261
Índice de yodo (I_x)	998
% Volátiles	5,7
% Humedad	1,4
% Ceniza	3,2
% Carbón fijo	87,7
% Carbono	92,9

% Oxígeno	5,7
% Nitrógeno	0,1

Como se puede apreciar es un carbón de bajas densidades, con velocidad de flujo nula debido a una superficie específica elevada. Es un carbón de carácter básico, de elevada tortuosidad y pronunciada porosidad. Presenta un alto contenido de carbono lo que hace que la relación C/N sea elevada.

A las temperaturas de trabajo se determinan las constantes de equilibrio y las energías libres de los procesos de adsorción.

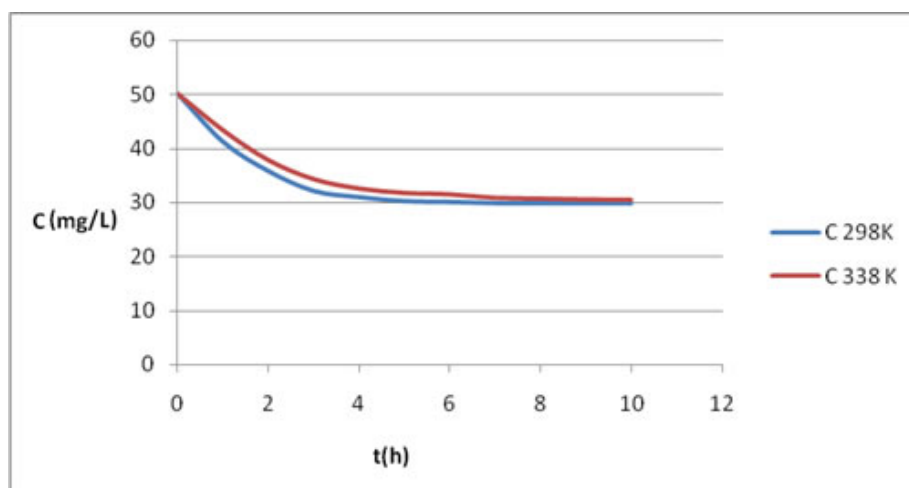


Figura 1. Variación de la concentración (mg/L) de iones cobre (II) en solución acuosa sobre carbón activado a 298 K y 338 K

Es importante señalar que el carbón tiene un porcentaje de adsorción de 40,5 a 298 K a partir de una solución de 50 mg/L de iones Cu(II). Obsérvese en la tabla 2 los coeficientes de determinación para cada temperatura.

Tabla 2. Coeficientes de determinación de los modelos cinéticos y difusivos empleados

Temp.	SPO	SSO	ME	DPL	MB	DE
298 K	0,991	0,989	0,756	0,995	0,834	0,988
338 K	0,986	0,968	0,91	0,990	0,847	0,981

Se aprecia que el modelo que mejor responde a la adsorción es el de pseudoprimer orden para ambas temperaturas, con constantes “aparentes” de velocidad de reacción de $0,863 \text{ h}^{-1}$ y $0,584 \text{ h}^{-1}$, por lo que el valor de la energía de activación es de $8,18 \text{ kJ/mol}$ lo que justifica una adsorción física y desde el punto de vista del potencial químico tiene un valor de $0,0036 \text{ J/mol}$.

Desde el punto de vista de las constantes de equilibrio se tiene $K_{298\text{K}}=0,068 \text{ L/g}$ y $K_{338\text{K}}=0,063 \text{ L/g}$. Lo anterior conduce a $\Delta G_{298\text{K}}=+8,90 \text{ J/mol}$ y $\Delta G_{338\text{K}}=+7,73 \text{ J/mol}$, con lo anterior se tiene que $\Delta H=+17,54 \text{ J/mol}$ y $\Delta S=+0,029 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$. Es un proceso que puede ocurrir a altas temperaturas, teniendo en cuenta que ΔH y ΔS son hallados para el marco de las temperaturas que se realizaron los experimentos (298 K y 338 K) ya que se realiza por el juego de las dos ecuaciones (1) halladas para las dos temperaturas, (ver tabla 3).

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1)$$

Tabla 3. Posibilidad de ocurrencia de la adsorción

ΔG	ΔH	ΔS	Temperatura a la que ocurre la adsorción
-	-	+	La adsorción ocurre a cualquier temperatura
+	+	-	Imposible
$\pm$	-	-	La adsorción ocurre a bajas temperaturas
$\pm$	+	+	La adsorción ocurre a bajas temperaturas

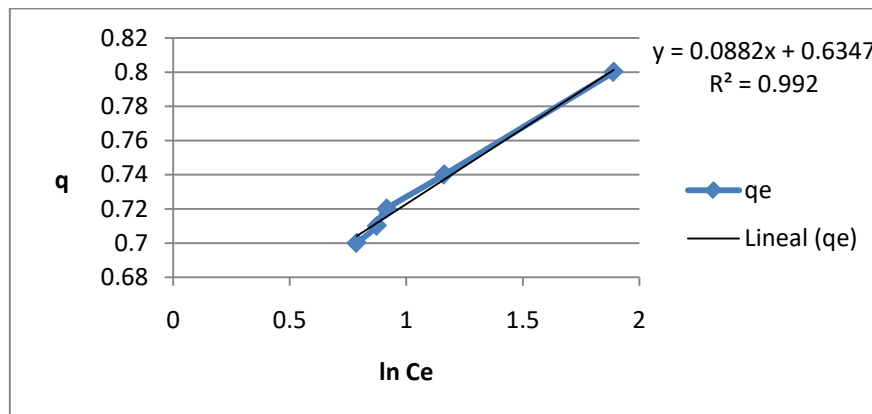
Analizando la difusividad eficaz se tiene que $D_{298\text{ K}} = 5,43 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $D_{338\text{ K}} = 7,76 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ lo anterior conduce a un factor pre exponencial de difusión de $D_0 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ y una energía de activación de proceso difusivo de $0,0078 \text{ J/mol}$, que representa el $9,5 \cdot 10^{-5} \%$ de la energía de activación total, lo cual refleja la facilidad del proceso difusivo.

Desde la perspectiva termodinámica se tienen a 298 K , los coeficientes de determinación mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de determinación para diferentes isotermas

Modelo	Langmuir	Freudlich	Toth	BET	Dubinin	Temkim
Coeficiente de determinación	0,293	0,894	0,407(n=0,1)	0,332	0,904	0,992

Como se aprecia la isoterma de Temkim (figura 2) es la que mejor responde al modelo de isoterma de adsorción con valores de $B_T = 0,38$ y $A_T = 2,53$ (Prieto & Lestayo, 2017).

**Figura 2.** Gráfico de la isoterma de adsorción de Temkin a 298 K

En la misma se consideran las interacciones de la sustancia adsorbida con la superficie de adsorción (Subramanyam & Ashutds, 2011).

4. CONCLUSIONES

1. El carbón obtenido por vía física tiene una gran tortuosidad, alta relación C/N y bajas densidades.
2. La energía de activación es de $8,18 \text{ kJ/mol}$, lo que responde a un proceso físico

de adsorción.

3. Los coeficientes de difusión a 298 y 338 K arrojan valores de $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.
4. La isoterma de Temkin responde al fenómeno termodinámico de la adsorción.

REFERENCIAS

- Blanco, A., Toledo, P. H., Garrudo, I., & Autie Pérez, M. A. (2005). Remoción de Cu(II) y Ni(II) con material carbonoso procedente de la semilla de la palma *Veitchia merrillii*. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 11(2), 68-77.
- de Celis, J. P., Villaverde, M. S., Bonelli, P. R., Amadeo, N. E., & Cukierman, A. L. (2007). Remoción de cobre y cadmio mediante adsorción con carbón activado desarrollados en diferentes atmósferas de activación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11(1), 21-26. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/91019/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Igwe, J. C. (2006). A bioseparation process for removing heavy metals from waste using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167-1179. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/43005>
- Prieto, J. O., & Lestayo, J. A. (2017). *Adsorción de colorantes en adsorbentes de base silícica*. Editorial Académica Española.
- Prieto, J. O., Rodríguez, E., & Mollineda, A. (2016). Estudio de los mecanismos cinéticos y difusivos en la adsorción de Cu (II) en ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 43(4), 36-41. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/158
- Sánchez, F., & Moreira, C. (2022). Análisis de la cinética de la adsorción de cobre (II) con diferentes materiales. Una revisión bibliográfica. *Revista Colon Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(1), 81-96. https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/2620
- Subramanyam, B., & Ashutosh, D. (2011). Adsorption isotherm modeling of phenol onto natural soil—Applicability of various isotherm models. *Journal of Environmental Research*, 6(1), 265-276. <https://www.sid.ir/FileServer/JE/108220120122>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Julio Omar Prieto García. Redacción revisión y edición, investigación.
- Lic. Ariel Pérez Leiva. Redacción-primera redacción.
- Dr.C. Alfredo E. Curbelo Sánchez. Supervisión, análisis formal.
- Téc. Mixary Enríquez García. Investigación.
- Téc. Angel Mollineda Trujillo. Investigación.