

Artículo Original

**ALGUNOS PARÁMETROS DE LA ADSORCIÓN DE IONES
URANILO EN BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
(SACCHARUM OFFICARUM)**

**SOME PARAMETERS OF THE ADSORPTION OF URANYL IONS IN SUGAR
CANE BAGASSE (SACCHARUM OFFICARUM)**

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>

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

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

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

Recibido: Enero 24, 2024; Revisado: Enero 23, 2025; Aceptado: Febrero 28, 2025

RESUMEN

Introducción:

Los iones uranilo son radiactivos. El bagazo de caña de azúcar puede servir como adsorbente de estos iones.

Objetivo:

Determinar los parámetros de la adsorción en el sistema heterogéneo de fases de iones uranilo en solución acuosa y bagazo de caña de azúcar.

Materiales y Métodos:

Soluciones de iones uranilo determinando su concentración por absorción UV-VIS. Se emplea bagazo de caña de azúcar como adsorbente al cual se le han determinado varios parámetros físicos y químicos. Se emplean los modelos cinéticos de pseudoprimer, pseudosegundo orden y Elovich. Se determina los valores de las funciones



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



de variación de energía libre, entropía y entalpía. Se hallan los valores de los coeficientes pre-exponencial de difusión.

Resultados y Discusión:

A 298 K y 333 K se determina que el modelo es de pseudoprimer orden con energía de activación de 17,33 kJ/mol. El proceso es espontáneo, exotérmico y baja aleatoriedad. El potencial químico es de 0,83 kJ/mol. Los coeficientes de difusión presentan un orden de $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ con una energía de activación de la difusión de 0,04 J/mol.

Conclusiones:

El bagazo de caña de azúcar es un adsorbente de bajas densidades, superficie específica y factor de forma, pero presenta alta tortuosidad y porosidad. La adsorción a las temperaturas de 298 y 333 K obedecen a un modelo de pseudoprimer orden con energía de activación de 17,33 kJ/mol. Los procesos termodinámicos obedecen a ser espontáneos, exotérmicos y baja aleatoriedad. Los coeficientes de difusión a las temperaturas de trabajo son del orden de $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.

Palabras clave: adsorción; bagazo; uranilo.

ABSTRACT

Introduction:

Uranyl ions are radioactive. Sugar cane bagasse can serve as an adsorbent for these ions.

Objective:

To determine the adsorption parameters in the heterogeneous phase system of uranyl ions in aqueous solution and sugar cane bagasse.

Materials and Methods:

Solutions of uranyl ions whose concentration is determined by UV-VIS absorption. Sugar cane bagasse is used as an adsorbent for which a series of physical and chemical parameters have been determined. Pseudo-first-order, pseudo-second-order and Elovich kinetic models are used. The values of the variation functions of free energy, entropy and enthalpy are determined. The values of the pre-exponential diffusion coefficients are found.

Results and Discussion:

At 298 K and 333 K, the pseudo-first-order model with activation energy of 17.33 kJ/mol is determined. The process is spontaneous, exothermic and low randomness. The chemical potential is 0.83 kJ/mol. The diffusion coefficients are around $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ with a diffusion activation energy of 0.04 J/mol.

Conclusions:

Sugar cane bagasse is an adsorbent with low densities, specific surface area and form factor, but has high tortuosity and porosity. The adsorption at temperatures of 298 and 333 K correspond to a pseudo-first-order model with activation energy of 17.33 kJ/mol. Thermodynamic processes tend to be spontaneous, exothermic and have low randomness. The diffusion coefficients at working temperatures are of the order of $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.

Keywords: adsorption; bagasse; uranyl.

1. INTRODUCCIÓN

Considerando el azúcar como el principal producto de una fábrica de azúcar de caña se puede decir que esta industria genera otros subproductos, los cuales no son menos importantes. Algunos de ellos se originan durante la cosecha, como el cogollo y la paja y otros se obtienen en el proceso industrial, entre los cuales se encuentran principalmente el bagazo, las mieles finales y la cachaza.

En el presente trabajo se hace un estudio de la posible utilización de un adsorbente para el tratamiento de las aguas residuales de iones uranilo, con el objetivo de separar el uranio.

Este proceso de biosorción con bagazo de caña es muy barato, lo que permite su empleo con estos fines.

El bagazo de caña de azúcar está compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina, como principales polímeros naturales. Presenta además pequeñas cantidades de otros compuestos clasificados de conjuntos como componentes extraños.

El objetivo de la presente investigación es determinar los parámetros de la adsorción en el sistema heterogéneo de fases de iones uranilo en solución acuosa y bagazo de caña de azúcar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplean soluciones de iones uranilo 0,0063 mmol/L. Como adsorbente se emplea el bagazo de caña de azúcar secado a 120 °C durante 35 minutos en un colchón de 5 ml de ancho. Una vez seco, se fija una morfología de grano de 0,2 mm de diámetro y se determina la densidad picnométrica, densidad aparente, densidad aparente por aprisionamiento, tortuosidad, superficie específica, compresibilidad, porosidad, factor de forma, celulosa, pentosanos, halocelulosa, lignina, ceniza, humedad, fibra, sólidos solubles y pH.

Se emplean los modelos de pseudoprimer, pseudosegundo y Elovich, para dilucidar si hay una adsorción física o química. A partir de esto se establece la energía de activación y el potencial químico Stoeckli (2001), Igwe (2006), (Chun-I & Li-Hua, 2008), (Prieto et al., 2016), (Prieto & Lestayo, 2017), (Prieto et al., 2019), (Prieto et al., 2020).

Mediante las funciones de Gibbs se establece la variación de energía libre, la entalpía y la entropía del proceso.

Se determina la difusividad eficaz, el factor pre-exponencial de difusividad y la energía de activación del proceso de difusión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calienta durante 12 horas a 120 °C, 20 g de bagazo, determinándose la ecuación de secado. Si se obtiene la primera derivada de esta, se determina la velocidad del secado, ver figura 1 (Roca & Bombino, 2004).

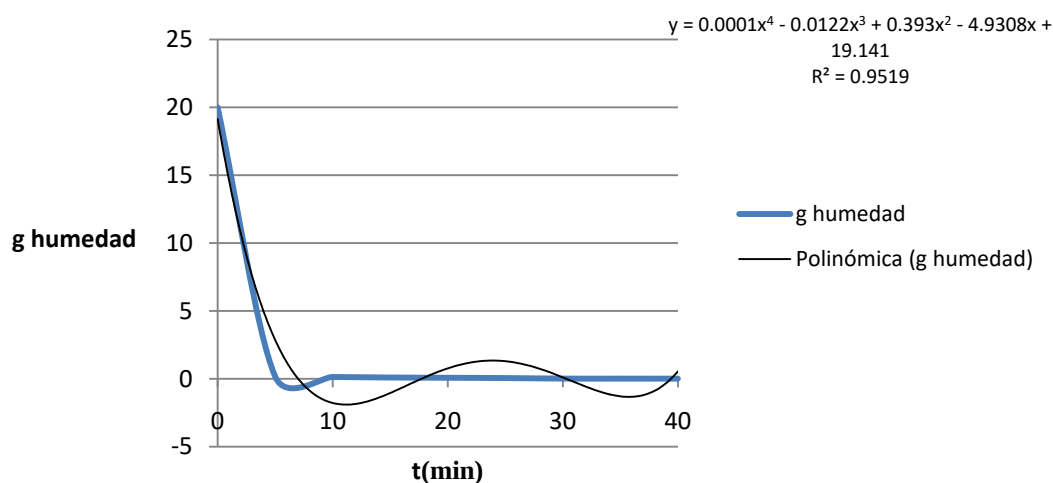


Figura 1. Curva de secado del bagazo de caña de azúcar

A continuación en las tablas 1 y 2 se presentan algunas propiedades físicas y químicas del bagazo de caña de azúcar (Roca et al., 2006a), (Roca et al., 2006b).

Tabla 1. Algunas propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar

Parámetros	Unidades	Valor
Morfología de grano	Mm de diámetro	0,2
Densidad picnométrica	g/cm ³	0,092
Densidad aparente	g/cm ³	0,035
Densidad por aprisionamiento	g/cm ³	0,0048
Tortuosidad	-	1,97
Compresibilidad	%	27,10
Esfericidad	-	0,54
Porosidad	%	61,9
Superficie específica	m ² /g	13,02

Como se observa es un material poco denso, con pequeña superficie específica, con gran tortuosidad y porosidad.

Tabla 2. Otras propiedades del bagazo de caña de azúcar

Parámetros	Valor
Celulosa	52,24 g
Pentosanos	23,12 g
Halocelulosa	74,52 g
Lignina	20,65 g
Ceniza	2,5 g
Humedad	51 %
Fibra	45 %
Sólidos solubles	4 %
pH	6,9 adimensional

El bioadsorbente es de alto contenido de lignina, fibra y humedad, siendo el pH neutro. El estudio preliminar está dirigido a la eliminación del acetato de uranilo dihidratado mediante bagazo de caña de azúcar. Como esta sustancia no es patrón primario, se preparan varias soluciones, de aquí se toman alícuotas que una vez evaporadas, se calcinan para obtener el correspondiente óxido y por gravimetría hallar las concentraciones de acetato de uranilo correspondientes. Se halla la absorbancia en base a la concentración, utilizando un Espectrofotómetro Ultravioleta Visible (Termo-Electrón, Modelo GENESIS-6. EE.UU.) y a partir de allí se determinan las concentraciones de las disoluciones preparadas. Los resultados obtenidos para obtener la dependencia de absorbancia con la concentración a 430 nm, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de absorbancia respecto a la concentración conocida

Concentración (mol/L)	Absorbancia
$2,75 \cdot 10^{-02}$	0,895
$1,37 \cdot 10^{-02}$	0,494
$6,87 \cdot 10^{-03}$	0,265
$3,43 \cdot 10^{-03}$	0,127

Al establecer la dependencia concentración de iones uranilo vs absorbancia se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9968, ver figura 2.

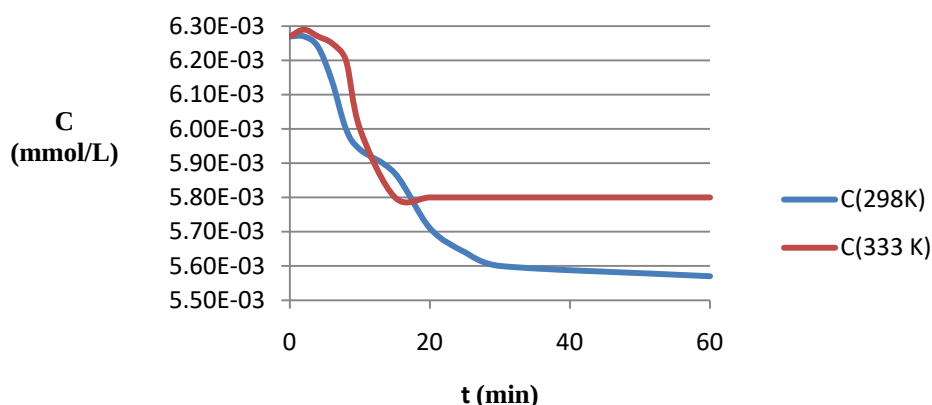


Figura 2. Comportamiento de las concentraciones de iones uranilo (mmol/L) vs tiempo t(min) con las temperaturas 298 y 333 K de trabajo

Se aprecia una menor adsorción a mayor temperatura. A 299 K el valor de la capacidad de adsorción de equilibrio $q_e = 7,5 \cdot 10^{-5}$ mmol/g y a 333 K el valor de $q_e = 5 \cdot 10^{-5}$ mol/g. Es importante establecer si la adsorción es física o química empleando los modelos de pseudoprimer orden (SPO), pseudosegundo orden (SSO) y Elovich (ME), ver tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de determinación de los modelos de adsorción de pseudoprimer, pseudosegundo orden y Elovich

Temperatura	SPO	SSO	ME
298 K	0,978	0,236	0,898
333 K	0,952	0,486	0,696

Se establecen los modelos cinéticos a 298 y 333 K, siendo los modelos para ambas temperaturas de pseudoprimer orden con valores de la constante “aparente” de velocidad de adsorción de $0,127 \text{ min}^{-1}$ a 298 K y $0,036 \text{ min}^{-1}$ a 333 K, ver figura 3. Lo anterior conduce a una energía de activación de $17,33 \text{ kJ/mol}$ y un valor de potencial químico $\Delta\mu=0,83 \text{ kJ/mol}$. Lo anterior establece un proceso físico de adsorción.

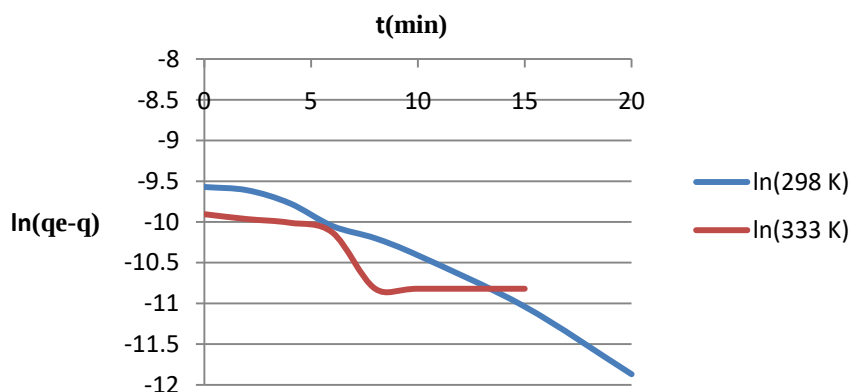


Figura 3. Modelos de pseudoprimer orden para la adsorción de iones uranilo en bagazo de caña de azúcar a 298 K y 333 K

Desde el punto de vista termodinámico $\Delta G_{298 \text{ K}} = -12,88 \text{ kJ/mol}$ y $\Delta G_{333 \text{ K}} = -13,16 \text{ kJ/mol}$, lo que conduce a $\Delta H = -9,9 \text{ kJ/mol}$ y $\Delta S = +0,010 \text{ kJ/(mol} \cdot \text{K)}$, indicando que puede ocurrir a cualquier temperatura.

Los coeficientes efectivos de difusión $D_{298 \text{ K}} = 6,28 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ y $D_{333 \text{ K}} = 8,72 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, conllevan a obtener un factor pre-exponencial de difusividad de $D_0 = 4,52 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ y la energía de activación de la difusión de $0,04 \text{ J/mol}$, valor pequeño para el proceso difusivo.

4. CONCLUSIONES

- 1- El bagazo de caña de azúcar es un adsorbente de bajas densidades, superficie específica y factor de forma, pero presenta alta tortuosidad y porosidad.
- 2- La adsorción a las temperaturas de 298 y 333 K obedecen a un modelo de pseudoprimer orden con energía de activación de $17,33 \text{ kJ/mol}$.
- 3- Los procesos termodinámicos obedecen a ser espontáneos, exotérmicos y baja aleatoriedad.
- 4- Los coeficientes de difusión a las temperaturas de trabajo son del orden de $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ con baja energía de activación de difusión.

REFERENCIAS

- Chun-I, L., & Li-Hua, W. (2008). Rate equations and isotherms for two adsorption models. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, 39(6), 579–585. <https://doi.org/10.1016/j.jcice.2008.04.003>
- Igwe, J. C. (2006). A bioseparation process for removing heavy metals from waste using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167–1169. <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
- Prieto, J. O., Castillo, D., Rodríguez, E., & Mollineda, A. (2019). Adsorción de iones uranilo en ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 46(2), 11–20. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/30
- Prieto, J. O., Gehan, N., Pérez, A., Martínez, E., & Enríquez, M. (2020). Adsorción de Cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña de azúcar variedad Roxa. *Centro Azúcar*, 47(1), 90–99. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/172
- Roca, A. G., & Bombino, M. (2004). *Resultados de las investigaciones sobre el secado de bagazo. Perspectivas futuras* [Ponencia]. III Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Roca, G. A., Glauco, C., Olivares, E., & Barbosa, L. A. (2006a). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: Características físicas. *Anais do 6º Encontro de Energia no Meio Rural*, 1–10. <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/036.pdf>
- Roca, G. A., Glauco, C., Olivares, E., & Barbosa, L. A. (2006b). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte II: Características fluidodinámicas. *Anais do 6º Encontro de Energia no Meio Rural*, 20–30. http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100037&script=sci_arttext
- Stoeckli, F. (2001). Dubinin's theory and its contribution to adsorption science. *Russian Chemical Bulletin*, 50(12), 2265–2272. <https://doi.org/10.1023/A:1015054922994>

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.
-