

## Adsorción/desorción de galio e indio empleando materiales carbonosos

N. Conte<sup>1</sup>, J.M. Gómez<sup>1</sup>, M. Lobete<sup>1</sup>, E. Díez<sup>1</sup>, A. Rodríguez<sup>1</sup>, L. Castro<sup>2</sup>, J.A. Muñoz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo Catálisis y Procesos de Separación.

<sup>2</sup>Grupo Preparación y Degradación de Materiales. Departamento de Ingeniería Química y de Materiales. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

nconte@ucm.es

Palabras clave: LED, galio, indio, adsorción.

### Introducción

La Unión Europea, con el objetivo de incentivar su economía y preservar el medio ambiente, ha seleccionado un grupo de materiales, conocidos como Materias Primas Críticas, por su importancia estratégica, bajas tasas de reciclado y propiedades únicas [1]. El galio y el indio pertenecen a esta categoría, debido a sus propiedades como semiconductores en la fabricación de lámparas LEDs (light-emitting-diodes). La tecnología LED permite un mayor ahorro energético por su alta eficiencia, durabilidad, menor tamaño y peso [2]. Se prevé que dicha tecnología alcance un nivel de penetración de mercado del 95% para 2025 [3], lo cual provocará una mayor generación de residuos de este tipo, incluidos dentro de la categoría de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs). La recuperación de estos metales estratégicos de los residuos se torna crucial. Entre las diversas técnicas existentes, la adsorción destaca por su eficacia para concentraciones bajas y la purificación de aguas contaminadas por estos metales. Por ello, se emplearán diferentes materiales carbonosos como adsorbentes de  $Ga^{3+}$  e  $In^{3+}$ .

### Experimental

Diversos materiales carbonosos (carbón activado mesoporoso, carbón F-400, bagazo de malta de cebada, posos de café y cáscaras de cacahuete) se emplearon como adsorbentes. Los experimentos de adsorción se han llevado a cabo en discontinuo, empleando una placa agitadora con control de temperatura. La separación de fases se ha llevado a cabo mediante filtración. La concentración de las muestras se ha analizado mediante espectroscopia de absorción atómica. Para la caracterización de los adsorbentes escogidos se ha empleado el análisis FTIR, termogravimetrías y determinación de propiedades texturales mediante isothermas de adsorción/desorción de  $N_2$  a 77 K.

### Resultados y discusión

Con los adsorbentes disponibles se realizaron pruebas iniciales de adsorción en discontinuo y por separado ( $[Ga^{3+}] = 20$  mg/L,  $[In^{3+}] = 20$  mg/L, dosis = 5 g/L,  $T = 25^\circ C$ , tiempo = 24 h) en las que se apreció que para la adsorción de galio el mejor adsorbente fue el carbón activado mesoporoso ( $q_{Ga} = 2.4$  mg/g, eliminación = 82%). Para el indio, el bagazo precarbonizado logró una eliminación casi total del indio en disolución (99%), con una capacidad de adsorción de 3 mg/g. Por ello, fueron los seleccionados para los estudios posteriores.

El análisis textural determinó el carácter mesoporoso del carbón activado sintetizado, con una  $S_{BET}$  de 354  $m^2/g$  con un 82% de superficie mesoporosa (tamaño de poro medio situado en 250 Å). El análisis FTIR mostró la existencia de grupos oxigenados en la superficie del carbón activado, como grupos carboxilo, carbonilo y sobre todo fenólicos. Por otro lado en el bagazo de cebada se observaron grupos tipo fenol, anillos aromáticos y alifáticos, que forman parte de su estructura lignocelulósica. Estos grupos, especialmente los oxigenados, proporcionan la densidad de carga negativa esencial para la adsorción de cationes metálicos.

La velocidad de adsorción se analizó mediante la obtención de cinéticas de adsorción. Se observó que el tiempo necesario para alcanzar el estado de equilibrio fue similar para ambos adsorbentes, en torno a las 24 h. Las isothermas de adsorción en el equilibrio fueron ajustadas a diferentes modelos (Langmuir y Freundlich), siendo el modelo de Langmuir el que mejor ajuste de los datos experimentales mostró (adsorción en monocapa). La isoterma de  $Ga^{3+}$  y la de  $In^{3+}$  se asemejaron a una isoterma tipo L2 según la clasificación de Giles, el número de centros activos va disminuyendo hasta alcanzar un punto de saturación. Por último, la selectividad de los adsorbentes empleados fue estudiada con disoluciones bimetálicas de Ga – In. Ninguno de los adsorbentes fue especialmente selectivo, pero alcanzaron eliminaciones de entre el 70 y el 100% de los metales en disolución, con capacidades de adsorción conjunta de 13.4 mg/g y 15.8 mg/g para el carbón activado y el bagazo, respectivamente. La desorción se llevó a cabo con el HF residual de la etapa de lavado en la síntesis del carbón mesoporoso. Se logró recuperar entre el 60% de los metales adsorbidos en el carbón activado y entre el 70 – 80% de los metales adsorbidos en el bagazo.

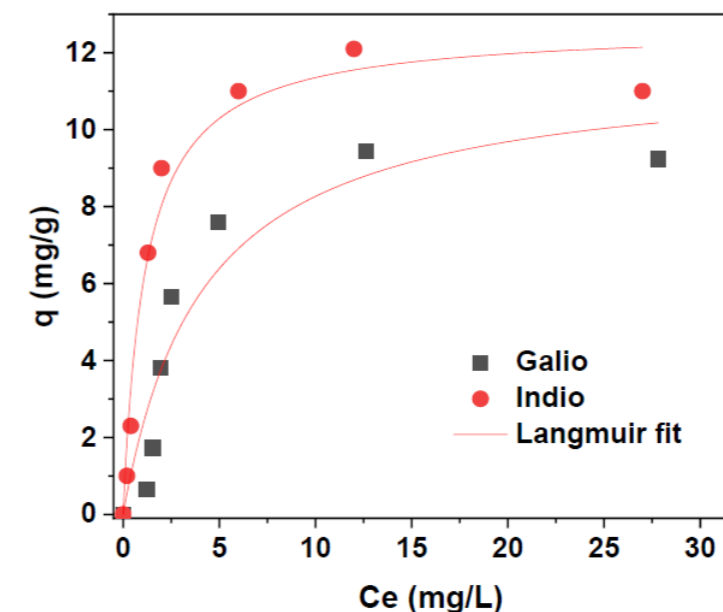


Figura 1. Isothermas de adsorción de  $Ga^{3+}$  e  $In^{3+}$  en carbón activo y bagazo, respectivamente.

### Conclusiones

El carbón mesoporoso activado y el bagazo de malta de cebada han probado ser adsorbentes efectivos de galio e indio, respectivamente, alcanzando elevadas tasas de eliminación (70 – 98%) con dosis bajas (2.5 g/L). Se ha observado escasa selectividad entre dichos metales, pero con altas tasas de eliminación en disoluciones bimetálicas. El HF recuperado de la síntesis del carbón mesoporoso ha servido para conseguir una eficaz desorción y recuperación de los metales adsorbidos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación al Ministerio de Ciencia e Innovación de España por la concesión del proyecto PID2021-125797OB-I00. Agradecimientos a la fábrica de cerveza artesanal Cherry Below Brewery – 90 varas y al CAI de Espectroscopia y Correlación de la UCM por la ayuda en la caracterización de las muestras.

### Referencias

- [1] G. Blengini, C. Latunussa, U. Eynard, C. Matos, K. Georgitzikis, C. Pavel, S. Carrara, L. Mancini, M. Unguru, D. Blagoeva, F. Mathieux, D. Pennington, Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report, 2020. <https://doi.org/10.2873/11619>.
- [2] T.R. Martins, E.H. Tanabe, D.A. Bertuol, Innovative method for the recycling of end-of-life LED bulbs by mechanical processing, Resources, Conservation and Recycling. 161 (2020) 104875. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104875>.
- [3] J.S. Nikulski, M. Ritthoff, N. von Gries, The Potential and Limitations of Critical Raw Material Recycling: The Case of LED Lamps, Resources. 10 (2021) 37. <https://doi.org/10.3390/resources10040037>.