

Zeolitas tipo cancrinitas intercambiadas con Na⁺ y Ca²⁺ usadas como adsorbentes de *p*-Cresol

Carlos F. Linares^{1*}, Douglas Hurtado¹, Freddy Ocanto¹, Xiomara Cardozo¹
y Edwin Oviedo²

¹Laboratorio de Catálisis y Metales de Transición, Facultad de Ciencias y Tecnología,
Departamento de Química, Universidad de Carabobo, Valencia. Edo. Carabobo, Venezuela.

²Dpto de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela

Recibido: 30-05-2012 Aceptado: 30-10-2012

Resumen

Se sintetizó una zeolita tipo cancrinita sódica y nitrada. Ésta fue luego intercambiada con iones calcio. Las cancrinitas en su forma sódica y cálcica se caracterizaron por diferentes técnicas tales como: difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR), medidas de área específica (BET), análisis químico y microscopía electrónica de barrido (MEB). Luego, estos sólidos fueron puestos en contacto con soluciones acuosas de diferentes concentraciones de *p*-cresol y se determinaron las isotermas de adsorción de Langmuir, Freundlich y Langmuir-Freundlich. Los datos experimentales se ajustaron, para ambas zeolitas, al modelo de Langmuir-Freundlich, siendo la cancrinita sódica mejor adsorbente que su contraparte cálcica. Los espectros de FT-IR después del contacto con las soluciones de *p*-cresol no determinaron la presencia de *p*-cresol adsorbido sobre las cancrinitas, lo que podría señalar que la interacción entre el *p*-cresol y las cancrinitas es débil.

Palabras clave: cancrinitas, *p*-cresol, adsorción, isotermas, zeolitas.

Na⁺ and Ca²⁺ exchanged cancrinite-type zeolites as *p*-cresol adsorbent

Abstract

A sodium-nitrate cancrinite-type zeolite was synthesized. This zeolite was exchanged by calcium cations. Both cancrinites were characterized by different techniques such as: X-ray diffraction (XRD), Fourier transformed infrared spectroscopy (FT-IR), scanning electron microscopy (SEM) and BET surface area measurements. Then, these solids were put in contact with aqueous *p*-cresol solutions of different concentrations. Adsorption isotherms of Langmuir, Freundlich and Langmuir-Freundlich were determined. The data adjusted to the Langmuir-Freundlich model for both zeolites. Furthermore, sodium cancrinite was better adsorbent than calcium cancrinite. Once carried out the solid-*p*-cresol contact, solids were analyzed by FT-IR. Results did not show adsorption of *p*-cresol on cancrinite's surface, therefore, this could point a weak interaction among *p*-cresol molecules and cancrinite.

Keywords: cancrinites, *p*-cresol, adsorption, isotherms, zeolites.

* Autor para la correspondencia: clinares@uc.edu.ve

1. Introducción

La *hemodiálisis* es un procedimiento artificial utilizado para purificar los desechos tóxicos de la sangre cuando los riñones no son capaces de hacerlo de manera adecuada. Así, la sangre es bombeada a través de la arteria radial hacia la máquina de diálisis (riñón artificial) y luego retorna hacia el paciente a través de sus venas. Durante el proceso, la sangre fluye a través de un tubo cubierto de una membrana de celofán rodeado del líquido dializador. De esta manera, las toxinas urémicas, así como el potasio y otros solutos que están en alta concentración en la sangre, atraviesan la membrana hacia el fluido antes de ser descargado (1, 2).

El *p*-cresol, es el producto final del catabolismo de las proteínas, producido por las bacterias intestinales como resultados del metabolismo de la tirosina y la fenilalanina. Este compuesto altera el consumo de oxígeno por las células, la unión de las drogas a las proteínas, el crecimiento y la permeabilidad de la membrana celular. También, inhibe varios procesos metabólicos relacionados con la producción de radicales libres que, participan en la destrucción bacteriana por los fagocitos (3). Por lo tanto, una alta concentración de esta toxina, podría alterar el buen funcionamiento del organismo humano. En este sentido es necesario el estudio de diversos sólidos que pudieran actuar con mayor eficiencia en el proceso de adsorción del *p*-cresol en los procesos de diálisis (3, 4).

Algunos sólidos porosos tales como: carbón activado, arcillas, micas y sepiolitas han sido propuestos como posibles membranas para adsorber estas toxinas urémicas (3, 4). Las zeolitas son buenas candidatas porque pueden ser fácilmente modificadas ya sea por intercambio catiónico, durante la síntesis o post síntesis. Además, las zeolitas tienen diferentes tamaños de poros los cuales permiten adsorber algunas moléculas.

Wernert y col. (4) estudiaron diferentes zeolitas y su capacidad para adsorber diver-

sas toxinas urémicas. En sus resultados determinaron que la adsorción de una toxina en zeolitas es específica y no sólo depende del tamaño de los poros sino también de la interacción entre la toxina y la red zeolítica.

Tomando en cuenta las interesantes propiedades de las zeolitas, nosotros hemos concentrado nuestra atención en el uso de cancrinitas intercambiadas con sodio y calcio. Las cancrinitas pueden ser visualizadas como una estructura uni-dimensional constituida por anillos de 12 miembros con un tamaño de poro de 5,9Å (5).

Usualmente, estas zeolitas son sintetizadas en presencia de un anión-plantilla el cual no puede ser fácilmente removido aún con lavados frecuentes. Estos aniones se encuentran bloqueando el paso de moléculas huéspedes dentro de los poros de la zeolita, y por lo tanto, sus aplicaciones parecen ser limitadas.

A pesar de estos inconvenientes, nuestro laboratorio, eficientemente ha utilizado cancrinitas carbonatadas y nitradas, *in vitro*, como antiácidos y como posibles agentes hipocolesterolémicos (6-8); pudiendo asumir que la superficie externa de estos sólidos juega un papel importante en el proceso de adsorción.

El objetivo de este trabajo fue determinar la isoterma que describa el proceso de adsorción de *p*-cresol en zeolitas tipo cancrinitas intercambiadas con Ca^{2+} o Na^+ .

2. Parte experimental

2.1. Intercambio catiónico de la cancrinita sódica

Se sintetizó una zeolita tipo cancrinita sódica nitrada según el procedimiento reportado Linares y col., (6). Esta cancrinita sódica-nitrada fue intercambiada con una solución 0,01 M de nitrato de calcio en relación 3 mL de solución/g zeolita a 100°C por 3h. Este procedimiento se repitió tres veces. Luego, la solución se centrifugó, y el sólido fue lavado

con abundante agua destilada. Finalmente, las cancrinitas intercambiadas fueron secadas a temperatura ambiente por 24 h.

2.2. Caracterización de las zeolitas intercambiadas

Las cancrinitas sintetizadas e intercambiadas fueron caracterizadas mediante la técnica de difracción de Rayos X (DRX) usando un difractor Phillips PW 3442 con radiación CoK (1,54060 Å) para la detección de la fase cristalina determinada entre 5 y 80° (2 θ). Las muestras microestructuradas fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido (MEB) usando un equipo Hitachi S-500 con potencial de aceleración de 20 kV. La presencia de grupos funcionales fue determinada en un FT-IR; los espectros fueron tomados en un espectrómetro Perkin-Elmer 283 entre 4500-500 cm⁻¹. Las muestras fueron preparadas mezclando los sólidos con KBr para formar una fina pastilla. Por otra parte, mediante esta misma técnica también se caracterizaron los sólidos, después de ser contactadas con las soluciones de *p*-cresol (previamente lavados con abundante agua destilada y secadas en estufa a 80°C) y considerando una muestra de *p*-cresol pura, como patrón de comparación. Las medidas de fisisorción fueron llevadas a cabo en un aparato Beckman Coulter SA 3100 instrument. Las áreas superficiales específicas fueron determinadas mediante la adsorción de nitrógeno a -196°C usando una relación Ar/N₂ de 70/30. El análisis químico de la muestra fue llevado a cabo disolviendo las muestras en agua regia (una parte de HNO₃ y 3 parte de HCl). Luego, la composición química fue determinada mediante ICP-plasma.

2.3. Experimentos de adsorción de *p*-cresol

El procedimiento seguido fue previamente reportado por Wernert y col. (3, 4). Básicamente, 10 mg de las cancrinitas fueron colocados en contacto con 4 mL de una solución de *p*-cresol disuelta en una solución

tampón de fosfato bajo una concentración de *p*-cresol entre 0,20 y 5,00 mM. Un paciente urémico llega a presentar una concentración máxima de *p*-cresol de 0,40 mM, por lo tanto este intervalo es suficiente para evaluar la capacidad de adsorción del *p*-cresol. La solución buffer fue preparada de manera de mantener el pH de la solución durante el transcurso de los experimentos simulando las condiciones fisiológicas de la sangre, y fue preparado usando una solución salina acuosa (0,9% p/p NaCl) y 50 mM de mono y bi fosfato de sodio (pH 7,4). La mezcla *p*-cresol-sólido fue agitada en un sistema tipo "rocking" a una temperatura de 37°C por 4h; éste es el tiempo normal establecido en un proceso de diálisis y determinado previamente en nuestros ensayos. Finalmente, la mezcla fue centrifugada y el sobrenadante fue analizado por UV-visible a una longitud de onda de 220 nm (máximo de longitud en el UV encontrado para la molécula de *p*-cresol en solución) utilizando un espectrofotómetro de UV-visible Perkin Elmer *UV-Visible Lambda25*. La cantidad de *p*-cresol adsorbida se determinó por diferencia entre la concentración final e inicial, y utilizando una curva de calibración respectiva.

3. Resultados y análisis de resultados

3.1. Caracterización de las cancrinitas

Los análisis de DRX y MEB de las cancrinitas Na⁺ (figura 1) y Ca⁺², que previamente habían sido caracterizadas (6), señalaron las reflexiones atribuidas al sistema hexagonal P6₃ para este tipo de material (9), al igual que la presencia de cristales prismáticos hexagonales de ~2 μ m aproximadamente. Estos pequeños cristales se corresponden con la morfología presentada por la zeolita cancrinita de acuerdo a Barnes y col. (5).

La cancrinita cálcica también mostró el mismo patrón de DRX y morfología, lo cual señala que el procedimiento de intercambio catiónico no afectó la estructura de la cancrinita.

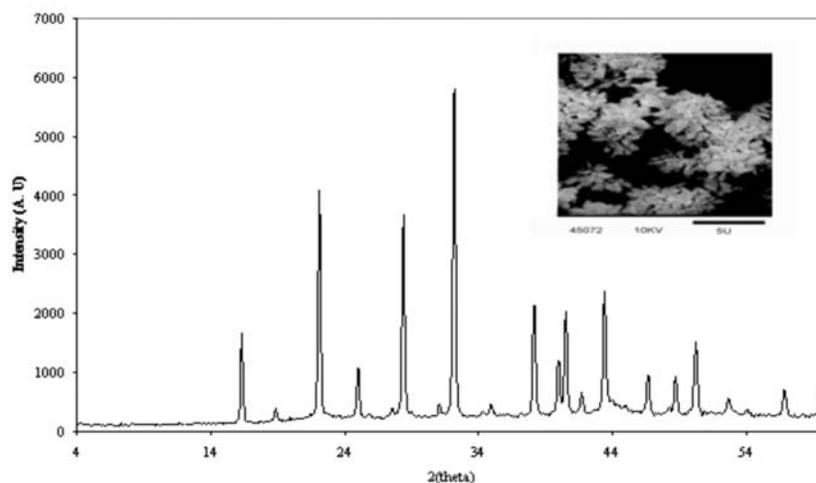


Figura 1. Patrón de difracción de rayos X de la zeolita tipo cancrinita sódica nitrada. En el inserto se encuentra una micrografía MEB de la zeolita cancrinita sódica nitrada.

En la figura 2 se muestra el espectro FT-IR de la cancrinita sódica. Las bandas de FT-IR observadas para ambas zeolitas fueron muy similares (se muestra sólo el espectro de la cancrinita sódica para mayor claridad). La banda a 1423 cm^{-1} fue asignada a la presencia del anión nitrato ocluido en la cavidad interna de la cancrinita. Las bandas en la región ubicada entre 1118 y 486 cm^{-1} se atribuyen a los enlaces Si-O-Al simétrico y asimétricos correspondiente a la estructura de la red cristalina del sistema (10).

Por otra parte, las áreas superficiales específicas de los sólidos sintetizados fueron 26 y $27\text{ m}^2/\text{g}$ para las cancrinitas Na^+ y Ca^{2+} respectivamente. Este hecho ha sido atribuido al efectivo bloqueo de los poros de la cancrinita por la presencia de los aniones nitrato (11). Más aún, las áreas observadas pueden ser prácticamente consideradas como el área externa de estas zeolitas, debido a que, como se mencionó anteriormente, los poros de estas zeolitas permanecen bloqueados.

La relación Si/Al, determinada por análisis químico, reveló un valor de $1,13$ para ambas zeolitas (cálcica y sódica). Este valor es muy cercano al reportado por Grundy y Hassan (11). El intercambio catiónico (catio-

nes Ca^{2+} por cationes Na^+) en la cancrinita sódica no fue totalmente efectivo y sólo un $1,15\%$ de cationes Na^+ pudieron ser intercambiados por los cationes Ca^{2+} (capacidad de intercambio: $57\text{ meq}/100\text{ g}$ zeolita). Este bajo porcentaje de intercambio catiónico, muestra el efectivo bloqueo de los poros de la zeolita, tal como ha sido reportado (11).

3.2. Isotermas de adsorción

Antes de describir el proceso de adsorción del *p*-cresol, es importante señalar algunas características de esta molécula. La misma está conformada por un grupo fenólico con un grupo metilo en posición *para*. La presencia de un átomo de oxígeno (O) más electronegativo que los carbonos (C) y los hidrógenos (H) que conforman el anillo aromático, polarizan la molécula creando un momento dipolar, en el cual produce una distribución de cargas parcialmente negativa (-) hacia el (O) y parcialmente positivo (+) hacia el anillo. Otro aspecto de esta molécula es que el (O) dispone de un par de electrones libres, constituyéndose en una base de Lewis. La polaridad de la molécula de los fenoles y la presencia del par de electrones libres sobre el (O) hacen que estas estructuras sean relativamente reactivas, lo que facilita su interacción

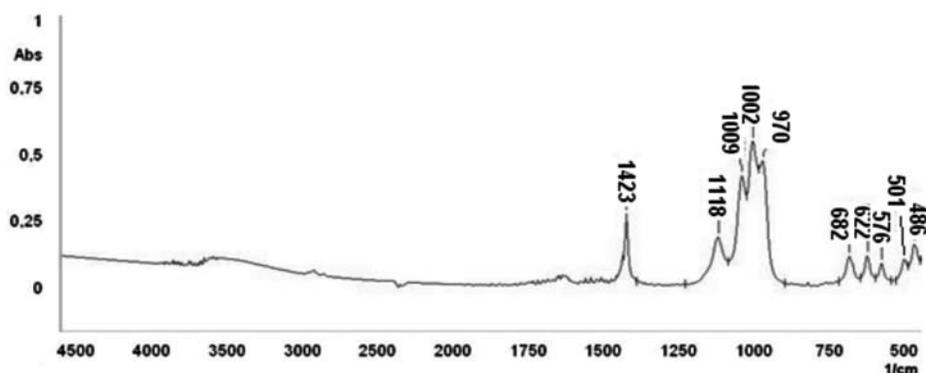


Figura 2. Espectro de FT-IR la cancrinita sódica.

con otras moléculas. Esta interacción intermolecular permite también la asociación entre las moléculas de *p*-cresol (puente de hidrógeno). Esta descripción de la molécula y sus interacciones, nos permitirá más adelante, describir las curvas de adsorción del *p*-cresol sobre los materiales zeolítico.

La figura 3 representa la relación q_e (mg *p*-cresol adsorbido/g cancrinita) en función de C_e (concentración de *p*-cresol en el equilibrio, mM) para ambas cancrinitas: sódica y cálcica.

En ambos casos, se observa un aumento de la adsorción del *p*-cresol a medida que aumenta su concentración en el equilibrio. Asimismo, la cancrinita sódica presentó una mayor capacidad de adsorción en comparación con la cancrinita cálcica especialmente a concentraciones superiores a 1,2 mM de *p*-cresol.

Al tener áreas superficiales semejantes (26 y 27 m²/g para las cancrinitas Na⁺ o Ca²⁺ respectivamente), la respuesta para esas diferencias en la capacidad de adsorción está dirigida hacia la superficie iónica de la zeolita. El ión Ca²⁺ supliría la neutralización de dos cargas negativas mostrada por los iones Al³⁺ adyacentes pertenecientes a la red de la zeolita; sin embargo, generalmente estos iones Ca²⁺ no logran neutralizar completamente estas dos carga, siendo neutralizada entonces por protones. Esto origina que las zeolitas cálcicas sean parcial-

mente ácidas en relación a las zeolitas sódicas donde las cargas positivas de los iones Na⁺ suplen efectivamente la carga negativa originada por cada aluminio de la red cristalina de la zeolita.

A pH: 7,4 donde se realizaron los experimentos de adsorción; el *p*-cresol está, básicamente, en su forma protonada (pka: 10⁻¹⁰, pH: 9), esto hace que el fenol tengan mayor preferencia de adsorción hacia la zeolita sódica, la cual es más básica, que hacia la zeolita cálcica, la cual es más ácida.

Las curvas de adsorción mostradas por estos sólidos siguen comportamientos similares. La cancrinita sódica muestra un punto de inflexión para una concentración de *p*-cresol en equilibrio aproximado de 1,2 mM; mientras que en la cancrinita cálcica este punto se ve desplazado a 2,0 mM. Ambas curvas de adsorción siguen el comportamiento de las isothermas "S" descrita por Giles y col. (12, 13) y Limousin y col. (14).

En la isoterma tipo "S", la adsorción está facilitada a altas concentraciones del soluto, que en este caso es el *p*-cresol, y posiblemente es el resultado de la competencia del disolvente (agua) y el *p*-cresol por los mismos sitios activos de adsorción de la cancrinita. Al principio, el agua se encuentra adsorbida sobre el sólido, mientras que las moléculas de *p*-cresol se encuentran unidas entre sí, mediante puentes de hidrógeno; pero, y a medida que aumenta la concentración de *p*-cresol

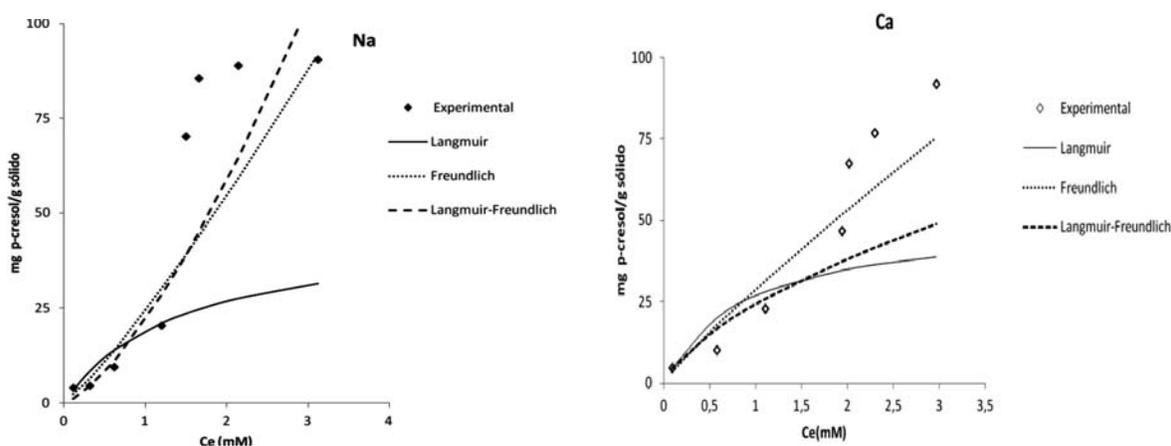


Figura 3. Isotherma de adsorción de *p*-cresol en función de la concentración de fenol en equilibrio. Modelos de las isothermas de adsorción de *p*-cresol aplicado sobre las cancrinitas sódica (Na) y cálcica (Ca) respectivamente.

en la solución, las moléculas de agua son desplazadas permitiendo la adsorción de las moléculas de *p*-cresol.

En este contexto, se determinaron las isothermas de adsorción siguiendo las hipótesis de Langmuir (1), Freundlich (2) y Langmuir-Freundlich (3):

$$\frac{m_u}{w_s} = \frac{(m_{\max} / w_s) K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Langmuir (1)}$$

$$\frac{m_u}{w_s} = K_F C_e^{1/n} \quad \text{Freundlich (2)}$$

$$\frac{m_u}{w_s} = \frac{(m_{\max} / m_w) K_{LF} C_e^{1/n}}{1 + K_{LF} C_e^{1/n}} \quad \text{Langmuir Freundlich (3)}$$

La hipótesis de Langmuir manifiesta que: a) todos los sitios de adsorción son equivalentes; b) el número de sitios de adsorción es finito; y c) se forma una monocapa.

Para ello se graficó la cantidad de masa de cancrinita usada ($w_s(g)$) entre los miligramos de *p*-cresol adsorbidos (m_u (mg)) contra el inverso de la concentración de equilibrio (C_e , mM). La ecuación de Langmuir puede predecir la adsorción de *p*-cresol sobre las

cancrinitas correlacionando la data experimental la cual debería simular una recta tal como lo establece la siguiente ecuación (4):

$$\frac{w_s}{m_u} = \frac{w_s}{m_{\max}} + \left(\frac{w_s}{m_{\max} K_L} \right) \frac{1}{C_e} \quad (4)$$

De manera similar, la data también se ajustó a la ecuación lineal de Freundlich (5). La ecuación de Freundlich es frecuentemente utilizada para describir la adsorción de solutos sobre sólidos porosos. La hipótesis en las que se basa este modelo son: a) la adsorción es de naturaleza física, b) no hay asociación de las moléculas adsorbidas, y c) la superficie del adsorbente es heterogénea. La siguiente ecuación (5) representa el modelo matemático planteado por Freundlich:

$$\text{Ln} \frac{m_u}{w_s} = \text{Ln} K_F + \frac{1}{n} \text{Ln} C_e \quad (5)$$

donde K_F y n (al igual que K_L en el modelo de Langmuir) son constantes empíricas. $1/n$ representa el grado de heterogeneidad de la superficie, valores por encima de 1 muestran interacciones débiles adsorbato-adsorbente, y valores menores que 1 representan interacciones más fuerte adsorbato-adsor-

bente. Un valor igual a 1, asume un comportamiento tipo Langmuir.

En el modelo matemático de Langmuir-Freundlich (o isoterma de Sips) se combinan las expresiones de Langmuir y Freundlich necesarias para deducir la heterogeneidad del sistema (15). A bajas concentraciones del adsorbato, la ecuación se reduce a la expresión de la isoterma de Freundlich, mientras que a altas concentraciones, la ecuación alcanza la expresión de Langmuir. La ecuación linealizada del modelo Langmuir-Freundlich está basada en la siguiente ecuación (6)

$$\frac{w_s}{m_u} = \frac{w_s}{m_{\max}} + \left(\frac{w_u}{m_{\max} K_{LF}} \right) \frac{1}{(Ce)} 1/n \quad (6)$$

donde K_{LF} y n son constantes empíricas. El parámetro n varía con el grado de heterogeneidad de la superficie del adsorbente. Cuando n es menor que 1, se establece el fenómeno de cooperación positiva entre el adsorbato y el adsorbente; mientras que un valor mayor a 1, esta cooperación positiva no existe. Un valor igual a 1, asume un comportamiento tipo Langmuir (15).

La tabla 1 sintetiza los resultados obtenidos para los modelos de adsorción utilizados.

Como podemos observar, los modelos de las isotermas de Langmuir y Freundlich pueden ser descartado debido al bajo coefi-

ciente de correlación (r^2) obtenido. Mientras que la hipótesis de Langmuir-Freundlich presentó los mejores valores de correlación para estos estudios: 0,980 y 0,937 respectivamente. Sin embargo, la cantidad máxima de *p*-cresol por gramos de zeolita (mg/g), para estos ensayos con *p*-cresol, resultan bastante altos en comparación con los valores experimentales (100 mg/g aproximadamente para cada sólido).

Esto nos llevó a buscar un polinomio que ajustara los valores experimentales (figura 4).

La complejidad de los polinomios obtenidos (polinomio de grado 15 para la cancrinita sódica, y de grado 6 para la cancrinita cálcica), concuerda con que el proceso de adsorción no es fácil de explicar, y que a juzgar por las curvas obtenidas (curva S), nos indica que existe una competencia entre las moléculas de agua y *p*-cresol por los mismos sitios superficiales de la cancrinita. Bergé-Lefranc (16) encontraron una combinación de curvas S y L para la adsorción de *p*-cresol sobre zeolitas tipo silicalitas, lo cual sugería una adsorción en multipasos.

3.3. Caracterización por FT-IR de las cancrinitas sódicas y cálcicas luego del proceso de adsorción

A fin de determinar la interacción sólido-*p*-cresol, cancrinitas sódica y cálcica, fueron puestas en contacto con la mayor concentración de *p*-cresol ensayada (5mM)

Tabla 1
Parámetros básicos obtenidos para las isotermas de adsorción de Langmuir, Freundlich y Langmuir-Freundlich para la adsorción de *p*-cresol sobre zeolitas cancrinitas sódicas y cálcicas.

Zeolita	Langmuir		Freundlich				Langmuir-Freundlich			
	m_{\max} (mg/g)	K_L (mM) ⁻¹	r^2	1/n	K_F (mg/g)* (mM ⁻¹) ⁿ	r^2	m_{\max} (mg/g)	K_{LF} (mM ⁻¹) ^{1/n}	1/n	r^2
Sódica	45,66	0,71	0,747	1,17	28,31	0,870	50000	4,4E-4	1,42	0,980
Cálcica	50,00	1,56	0,900	0,88	28,97	0,907	417	0,062	0,70	0,937

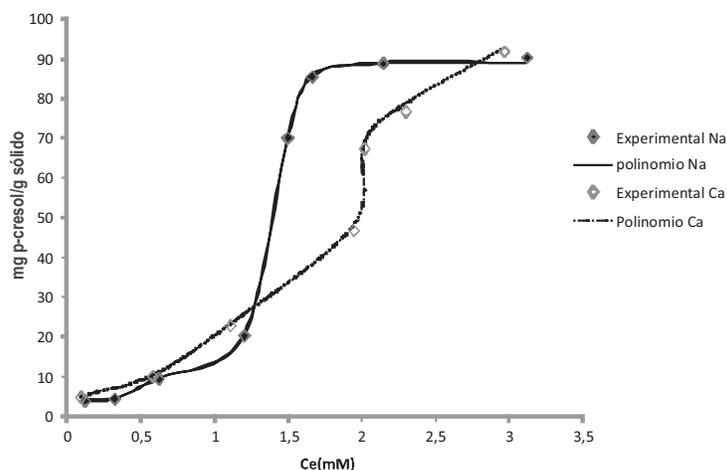


Figura 4. Ajuste polinómico de la isoterma de adsorción de *p*-cresol en función de la concentración de fenol en equilibrio sobre las cancrinitas sódica y cálcica respectivamente.

Luego de separar el sobrenadante de los sólidos, los mismos fueron lavados exhaustivamente con agua destilada para ser filtrados posteriormente y se dejaron secar por 48h. Una vez seco los sólidos, los mismos fueron analizados por espectroscopia de infrarrojo (figura 5).

Asimismo, una muestra de *p*-cresol pura (99% pureza) fue analizada por la misma técnica de IR para compararla con los sólidos antes mencionados.

Como se observa en la figura 5, no se notaron cambios significativos en las bandas de FT-IR de la cancrinita sódica (la cual se muestra para mayor claridad). En ambos sólidos se observan las bandas características de la cancrinita en el intervalo de 682 a 460 cm^{-1} . También al ser comparados con las bandas del *p*-cresol de referencia, como se observa en la figura 5, el *p*-cresol tiene absorciones definidas en su banda a 3319 cm^{-1} que corresponde al estiramiento O-H, a 3024 y 2921 cm^{-1} asignada al alargamiento C-H aromático, entre 1514 y 1434 cm^{-1} designada a enlaces C-C anular, 1361 cm^{-1} flexión O-H en el plano, 1236 cm^{-1} alargamiento C-O, 815 cm^{-1} flexión C-H fuera del plano y 730 cm^{-1} flexión C-C anular fuera del plano. Por lo tanto, no se observa similitud en

su banda característica entre las obtenidas por las zeolitas, lo que indica que el *p*-cresol adsorbido en las zeolitas fue desorbido por las moléculas de agua proveniente del lavado exhaustivo.

Esto indica, una vez más, que la interacción cancrinita- *p*-cresol es débil, así como se mencionó anteriormente, el agua entra en competencia con el *p*-cresol, desplazando a este último.

Finalmente estos sólidos deben ser mejorados a fin de retener químicamente el *p*-cresol adsorbido y lograr su uso como membranas de diálisis.

4. Conclusiones

Se sintetizaron zeolitas tipo cancrinita sódica e intercambiada con calcio. Estos sólidos fueron usados en la adsorción de soluciones acuosas de *p*-cresol. Se aplicaron los modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich y Langmuir-Freundlich y se determinó que ambos sólidos sigue un comportamiento tipo Langmuir-Freundlich indicando la posible formación de multicapas de *p*-cresol sobre las zeolitas. La interacción *p*-cresol-sólido parece ser bastante débil a juzgar por los resultados de FT-IR de los sólidos después de contactados con las solu-

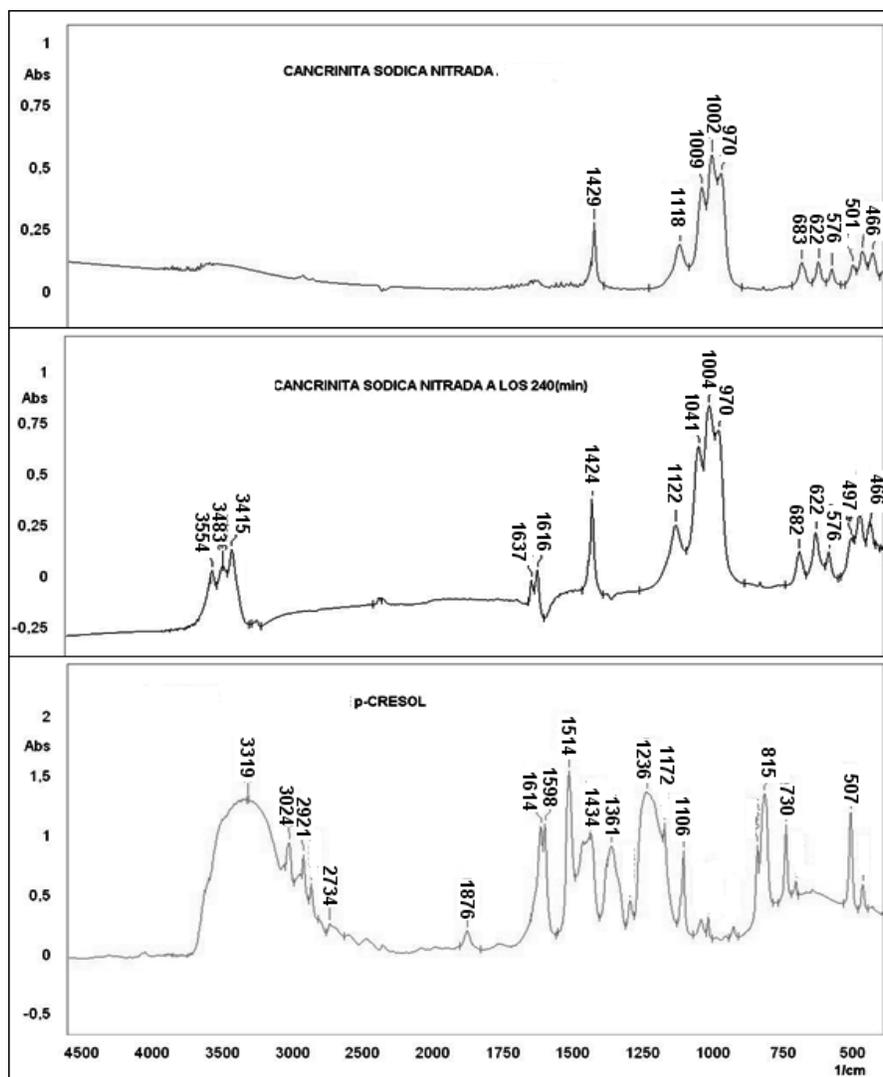


Figura 5. Adsorción de *p*-cresol en una zeolitas tipo cancrinita sódica después de contacto con una solución de *p*-cresol a un tiempo de 240 min. Igualmente se presenta el espectro de FT-IR del *p*-cresol puro y la cancrinita sódica.

ciones de *p*-cresol. Finalmente la adsorción de *p*-cresol fue mayor en la zeolita sódica que en la cálcica quizás debido al mayor carácter ácido de esta última.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CDCH-UC proyecto CDCH-AM-040-11 por el financiamiento de este trabajo.

Referencias bibliográficas

1. BEERS M.H., BERKOW R. The Merck manual. 10 th. Edit. Harcourt, 1999.
2. LESAFFER G.D.E., SMET R., LAMEIRE N., DHONDT A., DUYM P.H, VANHOLDER R. *Nephrol Dial Transplant* 15: 50-57. 2000.
3. WERNERT V., SCHÄF O., FAURE V., BRUNET P., DOUB L., BERLAND Y., BOULET P.,

- KUCHTA B., DENOYEL R.J. **Biotechnology** 123: 164-173. 2006.
4. WERNERT V., SCHÄF O., GHOBARKAR H., DENOYEL R. **Micropor Mesopor Mat** 83: 101-113. 2005.
 5. BARNES M., ADDAI-MENSAH J., GERSON A. **Micropor Mesopor Mat** 31, 287-302. 1999.
 6. LINARES C.F., COLMENARES M., OCANTO F., PÉREZ V., VALBUENA O., **Mat Sci Eng C** 29: 350-338. 2008.
 7. LINARES C.F., MADRIZ S., GOLDWASSER M.R., URBINA DE NAVARRO C. **Stud Surf Sci Cat** 135: 331-338. 2001.
 8. LINARES C.F., SÁNCHEZ S., URBINA DE NAVARRO C., RODRÍGUEZ K., GOLDWASSER M.R. **Micropor Mesopor Mat** 77: 215-221. 2005.
 9. BURTON A., FEUERTEIN M., LOBO R., CHAN J.C., **Micropor Mesopor Mat** 30: 293-305. 1999.
 10. FLANIGEN E.M., KHATAMI H., SEYMENSKI H.A. Infrared structural studies of zeolite framework in Adv. Chemistry Series 101, E.M. Flanigen, L.B. Sand (eds.), American Chemical Society, Washington, D.C. 1971.
 11. GRUNDY H., HASSAN I. **Canad Mineral** 20: 239-251. 1982.
 12. GILES C., SMITH D. **J Colloid Interface Sci** 47: 766-778. 1974.
 13. GILES C., MACEWAN T., NAKHWA S., SMITH D. **J Chem Soc** 3973-3993. 1960.
 14. LIMOUSIN G., GAUDET J-P., CHARLET L., SZENKNECT S., BARTHÈS V., KRIMISSA M. **Appl Geochim** 22: 249-275. 2007.
 15. FOO K.Y., HAMEED B.H., **Chem Eng J** 156: 2-10. 2010.
 16. BERGÉ-LEFRANC D., VAGNER C., CALAF R., PIZZALA H., DENOYEL R., BRUNET P., GHOBARKAR H., SCHÄF O. **Micropor Mesopor Mat** 153: 288-293. 2012.