

## APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE SEPARACIÓN GRANULOMÉTRICA POR VÍA HÚMEDA PARA DETERMINAR EL ORIGEN DEL Fe EN ZEOLITAS NATURALES

ABRAHAM MENDOZA CÓRDOVA\*, JESÚS ROBERTO VIDAL SOLANO,  
NOHEMY S. FLORES LÓPEZ, RAFAEL RAMÍREZ BON, MARIO FLORES ACOSTA

*Las zeolitas son un grupo de minerales considerados industriales ya que por sus características físicas y químicas tienen una aplicación muy amplia. La fórmula general de las zeolitas es la siguiente:  $M_x D_y (Al_{x+2y} Si_n (x+2y) O_{2n}) \cdot mH_2 O$ , donde M y D representan cationes intercambiables que pueden balancear la carga negativa de la molécula  $AlO_2$ , dichos cationes generalmente son elementos alcalinos y alcalinotérreos como Na, K y Ca.*

*Sin embargo, al revisar la composición química de algunas zeolitas estudiadas en Sonora y en otros lugares del mundo, llama la atención la presencia de Hierro en una proporción muy similar a la de los elementos alcalinos y alcalinotérreos, normalmente representados por más del 1% (principalmente el Ca). Particularmente se experimentó con zeolitas del yacimiento de La Palma en Sonora, para probar que el Hierro presente en las zeolitas corresponde a una mezcla de minerales como magnetita y hematita, demostrando que no se encuentra formando parte de la estructura de la zeolita como catión intercambiable.*

M. C. Abraham Mendoza-Córdova  
Departamento de Geología, Universidad de Sonora  
Correo: mendozacordova@ciencias.uson.mx  
Dr. Jesús Roberto Vidal-Solano  
Departamento de Geología, Universidad de Sonora  
Correo: jrvidal@ciencias.uson.mx  
M. C. Nohemy S. Flores-López  
Posgrado CIFUS-UNISON  
Correo: nohemy\_cn269@hotmail.com

Dr. Rafael Ramírez-Bon  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del  
I.P.N. Unidad Querétaro  
Correo: rrbon@qroc.cinvestav.mx  
Dr. Mario Flores-Acosta  
Departamento de Investigación en Física, Universi-  
dad de Sonora  
Correo: mflores@cifus.uson.mx

\*Autor para correspondencia: Abraham Mendoza Córdova  
Correo electrónico: mendozacordova@ciencias.uson.mx  
Recibido: 25 de Septiembre de 2013  
Aceptado: 19 de Noviembre de 2013  
ISSN: 2007-4530

## USO DE LAS ZEOLITAS

La aplicación de las zeolitas como mineral industrial es inmenso, sus propiedades físicas y químicas permiten darles diferentes usos. En general, las zeolitas actúan como filtros o tamiz molecular, dado que estructuralmente se caracterizan por ser un grupo de minerales altamente porosos con cavidades de dimensiones moleculares de 8 a 10 Angstrom. Además, contienen grandes iones y moléculas de agua con libertad de movimiento, para así poder permitir el intercambio iónico. Por lo tanto, las zeolitas son buenos filtros para limpiar suelos y aire; en el tratamiento de aguas, tanto potable como aguas residuales, pero también se utilizan como filtros para la extracción de metales pesados de algún medio.

## GEOQUÍMICA DE LAS ZEOLITAS

El nombre de este grupo de minerales deriva del griego "zein" y "lithos" que significa: "piedra que hierve", dado que cuando se calientan a altas temperaturas, se hinchan y desprenden burbujas. Su origen puede derivarse de múltiples materiales, siendo algunos precursores los vidrios volcánicos, los minerales aluminosilicatados e incluso otras zeolitas. El precursor más común para formar estos minerales son los vidrios volcánicos de composición rica en sílice (ácida a intermedia). Mineralógicamente las zeolitas son un grupo de minerales que corresponden a la clase de los silicatos (tectosilicatos) y químicamente son considerados como aluminosilicatos hidratados que cuentan con metales alcalinos y alcalinotérreos como iones intercambiables. La unidad fundamental de estos minerales está constituida por átomos de Al-O-Si formando tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y  $\text{AlO}_4$ . La unión de los tetraedros da como resultado una estructura cristalina con cavidades interconectadas por canales de dimensiones nanométricas. La fórmula general de las zeolitas es la siguiente:  $\text{M}_x \text{D}_y (\text{Al}_{x+2y} \text{Si}_{n-(x+2y)} \text{O}_{2n}) \cdot m\text{H}_2\text{O}$ , donde M y D representan cationes intercambiables que pueden balancear la carga negativa de la molécula  $\text{AlO}_2$ , generalmente son elementos como



el Na, K y Ca, aunque también pueden aparecer a nivel de trazas el Mg, Ba, Sr y Li.

Sin embargo, al revisar la composición química de algunas zeolitas estudiadas en Sonora (1) y en algunos lugares del mundo, como en China (2), en Irán (3) y en Corea (4), aparece Hierro en una proporción muy similar a la de los elementos alcalinos y alcalinotérreos (Na, K, Ca), que normalmente cada uno de estos elementos representa *más del 1%* (principalmente el Ca) (Tabla 1). Particularmente se experimentó con zeolitas del yacimiento La Palma, municipio de Divisaderos, Sonora, para probar que el Hierro no se encuentra como catión intercambiable formando parte de la estructura del mineral, por lo menos en esas cantidades.

Tabla 1. Composición química de tres localidades de zeolitas en el mundo, el resto son del Estado de Sonora. En general se puede ver que el Fe aparece en una proporción muy similar al Ca y el K.

LOCALIDAD	Ca	Na	K	Fe
	(%)			
China	3.17	2.31	0.88	1.04
Irán	3.10	2.00	2.10	1.30
Corea	3.20	1.80	2.50	1.57
Ures	2.62	1.55	1.61	0.96
Divisaderos	3.44	2.68	0.71	0.85
El Cajón	3.10	0.58	3.95	1.19
Tetuachi	3.51	1.06	1.64	0.51
Agua Prieta	2.42	1.75	4.30	0.94
Huásabas	3.89	0.58	0.80	1.37
Mazocahui	4.55	0.20	0.88	1.07
Tepoca	5.00	0.87	1.92	5.55
Nogales	3.04	1.16	2.43	0.88

## EXPERIMENTACIÓN

### Preparación de la muestra

La parte experimental del presente trabajo comenzó con la toma de muestras colectadas del yacimiento La Palma, Sonora. Posteriormente, se pasó al proceso de preparación de las muestras que consiste en la trituration de las mismas en forma manual haciendo uso de un martillo, una vez que se tritura al tamaño de entre una y dos pulgadas, la muestra pasa a ser pulverizada haciendo uso de un molino marca Herzog, con un contenedor de la muestra de carburo de tungsteno, aclarando que por la composición del contenedor se puede descartar contaminación alguna que pueda afectar a los resultados de los análisis posteriores; el tamaño que se obtiene en las partículas es de 0.075 mm (malla 200) que representa un tamaño óptimo para realizar este experimento.



### Separación granulométrica en un medio acuoso

El proceso mediante el cual se logra separar el Hierro de la zeolita consiste en colocar la muestra en un vaso de precipitado con agua desionizada, ya que al dejar la muestra en reposo por un determinado tiempo precipitan las partículas de mayor tamaño y/o las más densas (denominada como muestra del fondo), mientras que en la parte media y superior, permanecen suspendidas las partículas más finas y/o menos densas (denominada como muestra flotante).

Al fondo del vaso puede notarse manchas negras que corresponden a óxidos de hierro; éstos por su mayor tamaño han logrado precipitar y han sido determinados como magnetita ya que pueden colectarse utilizando un imán, además en el residuo es notorio un tono amarillo intenso correspondiente a una facies más pura de zeolita. Una vez que las fracciones de mayor tamaño (zeolita) junto con la fracción de mayor densidad (óxidos de hierro) han precipitado totalmente, se procede a filtrar la muestra flotante, la cual representa a la fracción menos densa por su tamaño y la ausencia de minerales pesados, mientras tanto, la muestra del fondo se expone al sol para eliminar la humedad y después ser analizada. En la figura 1 se ilustra parte del proceso de experimentación.



Figura 1. A) Se puede ver la concentración (manchas negras) de minerales pesados que se han separado de la zeolita por gravedad; B) Separación de la fracción flotante de la fracción del fondo para ser filtrada; C) Muestra del fondo expuesta al sol para ser secada.

### TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para llegar a una conclusión en la investigación se seleccionaron técnicas analíticas con las cuales se pudiera

medir tanto el componente cualitativo como el cuantitativo de la muestra tratada.

La técnica de difracción de rayos X (DRX) fue utilizada tanto para determinar la variedad de zeolita (Chabazita, según tarjeta JCPDS 00-034-0137), como para reconocer los cambios en la estructura cristalina del mineral al que se la ha dado un tratamiento. El equipo utilizado fue un difractómetro marca Bruker modelo D8-Advance con radiación  $\text{CuK}\alpha$  y  $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ , las condiciones de trabajo para la fuente fueron de 35 Kv y 25 Ma. En la figura 2 se muestran difractogramas de las tres distintas fracciones de la zeolita en los cuales es evidente que la fracción flotante (sin Fe) tiene menos picos que las otras dos fracciones, principalmente que la fracción del fondo donde se ha concentrado magnetita y barita, dando lugar a nuevos picos, los cuales no corresponden precisamente a magnetita.

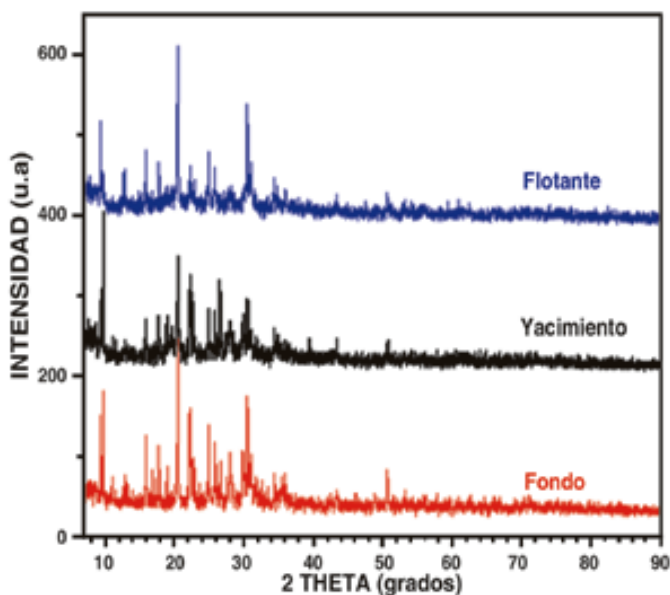


Figura 2. Difractogramas de la muestra del yacimiento (sin haber sido modificada), de la muestra del fondo que se ha enriquecido con hierro por precipitación, y de la muestra flotante que se ha separado del hierro.

Para la obtención de imágenes de las diferentes fracciones de la muestra se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido o SEM (*Scanning Electron Microscope*) marca JEOL, modelo JSM-5410LV, equipado con un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X o EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), marca Oxford. Las muestras fueron preparadas al dispersar polvo sobre cinta de carbón especial para la caracterización con este equipo. En la figura 3, se muestran las imágenes de SEM en las que el tamaño de las partículas está íntimamente relacionado con la textura y la tonalidad que se aprecia en las imágenes, como con las diferentes proporciones de Fe de acuerdo a los resultados obtenidos con EDS.

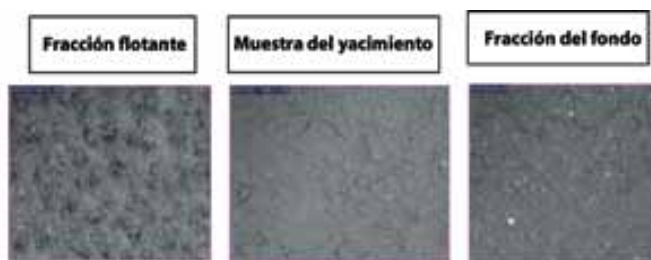


Figura 3. Imágenes de SEM donde la granulometría determina el tono y la textura de la muestra, en el caso de la muestra de fondo aparecen puntos blancos muy visibles que corresponden al mineral barita, tomando en cuenta la alta densidad y los altos valores de Ba en esa fracción.

El análisis de composición química de las muestras obtenidas se realizó con: EDS (espectroscopía de energía dispersiva), FRX (fluorescencia de rayos-X), XPS (espectroscopía de fotoelectrones de rayos-X) y Absorción Atómica; en la tabla 2 se pueden ver los resultados que indican los contenidos de Hierro para cada una de las tres fracciones; evidentemente los resultados tienen ciertas discrepancias, sin embargo, lo que queda muy claro es que todas las técnicas coinciden en el hecho de que a la muestra del yacimiento se le ha separado el Hierro por diferencia de densidad en un medio acuoso, lo cual se demuestra en el contraste de contenido de Hierro entre la fracción del fondo y la fracción flotante.

Tabla 2. Porcentaje de Hierro en las tres fracciones de zeolita obtenido con diferentes técnicas analíticas.

TÉCNICA ANALÍTICA	MUESTRA FLOTANTE	MUESTRA DEL YACIMIENTO	MUESTRA DEL FONDO
	(%)		
EDS	0.17	1.98	2.91
FRX	1.90	2.54	3.60
XPS	0.36	0.36	0.82
ABS-ATÓMICA	1.20	1.73	1.98

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo se ha podido concluir que el papel que juega el Hierro detectado en altas concentraciones en las zeolitas naturales del yacimiento sonorense de Divisaderos, en realidad corresponde a minerales que se presentan como impurezas de manera intersticial como óxidos de hierro de tipo hematita y/o magnetita. Este componente no ocurre en forma de iones intercambiables que forman parte de la composición química de la zeolita, por lo menos no en esas proporciones elevadas. Los resultados de los análisis bajo las técnicas de EDS, FRX, XPS, SEM y Absorción Atómica muestran que las fracciones de zeolita obtenidas en este experimento disminuyen considerablemente en Fe bajo una flotación, observando por medio de SEM una relación; sin embargo, el porcentaje de Fe para las muestras de zeolita de la fracción flotante, aún parecen ser levemente altos, lo cual puede derivar del hecho de que al separar la fracción flotante de la fracción del fondo para llevarla al filtro, una cantidad de la fracción del fondo se pasa a la fracción flotante.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Cocheme, J.J., Lassauvagerie, A.C., González-Sandoval, J., Pérez-Segura, E., Munch, P. (1996), *Characterization and potential economic interest of authigenic zeolites in continental sediments from NW Mexico*, Mineralium Deposita., Vol. 31(6), 1996, p. 482-491.
- 2) Wang, Y., Lin, F. (2009), *Synthesis of high capacity cation exchangers from a low-grade Chinese natural zeolite*, Journal of Hazardous Materials. Vol. 166(2-3), 2009, p. 1014-1019.
- 3) Kamali, M., Vaezsifar, S., Kolahtouzan, H., Malekpour, A., Abdi, M. (2009), *Synthesis of nano zeolite A from natural clinoptilolite and aluminum sulfate; optimization of the method*, Powder Technology, Vol. 189, p. 52-56.
- 4) Kang, S., Egashira, K. (1997), *Modification of different grades of Korean natural zeolites for increasing cation exchange capacity*, Applied Clay Science, Vol. 12(1), 1997, p. 131-144.

