

El hierro en la roca zeolitizada del yacimiento de Palmarito de Cauto: separación y caracterización de fases magnéticas

Daria Tito Ferro
Inocente Rodríguez Iznaga
Beatriz Concepción Rosabal
Fernando Chávez Ribas
Valdivina Córdova Rodríguez
Rolando Rizo Beyra

Resumen

Se presenta un estudio sobre la roca zeolitizada del yacimiento de Palmarito de Cauto, constituida fundamentalmente por zeolita del tipo mordenita, con el objetivo de identificar las principales fases magnéticas y otras fases asociadas al hierro y recomendar métodos para su eliminación. Para el estudio, diferentes clases de tamaño de partícula (-0,09+0,05; -0,05+0,038 y -0,038+0 mm) de zeolita fueron sometidas a separación gravimétrica y magnética para concentrar fases no zeolíticas asociadas al hierro. Antes y después de cada separación, las muestras fueron sometidas a determinaciones de contenido de hierro, mediciones de susceptibilidad magnética y análisis por difracción de rayos-X. Se identificó a magnetita como principal fase magnética (ferromagnética) asociada al hierro en la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto. Además se demostró que mediante el uso de métodos gravimétricos y magnéticos pueden ser separadas y eliminadas las fases no zeolíticas asociadas al hierro en estas zeolitas naturales. Las mayores cantidades de hierro separadas se lograron usando un método gravimétrico y clase de tamaño de partícula de -0,05 + 0,038 mm, valor cercano al tamaño de partícula promedio (0,04 mm) reportado para cristalitas cementadas de zeolitas naturales.

Palabras clave

Hierro; mordenita; separación gravimétrica; separación magnética; zeolita natural.

Presence of iron in zeolitic rocks in Palmarito de Cauto deposit: separation and characterization of magnetic phases

Abstract

This work is a survey of zeolitic rocks in Palmarito de Cauto deposit, consisting mainly of mordenite-type zeolite, to identify basic magnetic phases and other potential phases associated with iron contained in this rock, and propose methods to eliminate it. In this study, samples with different particle sizes ($-0,09 + 0,05$ mm; $-0,05 + 0,038$ mm and $-0,038 + 0$ mm) were subjected to magnetic and gravimetric separation to extract non-zeolite phases associated with iron. The samples were analysed to determine the iron content and magnetic susceptibility and by X-ray diffraction both before and after each separation. The interpretation of the survey results allowed for identifying magnetite as the main magnetic phase (ferromagnetic); which is associated with iron present in zeolitized rocks in Palmarito de Cauto. It was demonstrated that non-zeolitic mineral phases associated with iron present in this natural zeolite can be separated (removed) by using gravimetric and magnetic methods. A greater amount of iron was separated by using a gravimetric method and with a particle size ranging from $-0,05 + 0,038$ mm; which is close to the average particle size (0,04 mm) of cemented crystallites in natural zeolites.

Key words

Gravimetric separation; magnetic separation; iron; mordenite; natural zeolites.

INTRODUCCIÓN

Las zeolitas naturales son sólidos cristalinos, constituidos estructuralmente por una red de tetraedros de aluminio y silicio, unidos entre sí por átomos de oxígeno. Estos materiales son de gran interés debido a sus propiedades, abundancia, disponibilidad y bajos costos; sin embargo, una de sus principales limitaciones son sus impurezas, siendo las más comunes la presencia de hierro, asociado a fases no zeolíticas y como especies catiónicas. Estas impurezas complican la interpretación y reproducibilidad del comportamiento de las zeolitas durante su estudio y limitan sus aplicaciones en campos tan importantes como la catálisis, síntesis de zeolitas, procesos de intercambio iónico selectivo, entre otros. En este sentido se orientan esfuerzos para eliminar tales impurezas o considerar su aprovechamiento, para lo cual es necesario caracterizarlas.

Pocos estudios han estado dedicados al hierro presente en zeolitas naturales y en su mayoría han sido realizados en zeolitas sintéticas. Roque-Malherbe *et al.* (1990) investigan el estado del hierro en zeolitas naturales cubanas, mexicanas y rusas usando la espectroscopía Mössbauer y reportan la presencia de Fe (III) en sitios tetraédricos del enrejado, Fe (II) y Fe (III) con coordinación octaédrica en sitios extra-enrejado y presencia de magnetita, aunque en la zeolita de Palmarito de Cauto, incluida en el estudio, no se identifica esta fase de hierro. Tal resultado contradice la descripción litológica del yacimiento de Palmarito (Rizo & Galán 1990), donde se indica la presencia de magnetita en tobas vitroclásticas, vitrolitoclásticas (menor que 1 %) y vitrocrystaloclasticas (hasta el 3 %).

Un reporte de Rodríguez-Fuentes *et al.* (2008) sobre el estado de las especies de hierro en la zeolita clinoptilolita natural del yacimiento de Tasajeras, Cuba, señala que estas especies poseen, en esa zeolita, coordinación tetraédrica y octaédrica. Además indica que el hierro en coordinación tetraédrica influye en la estabilidad térmica de la estructura de la clinoptilolita.

A todo lo largo de la isla de Cuba existe un gran número de yacimientos de zeolitas naturales, siendo predominantes la mordenita y la cli-

noptilolita-heulandita. En el yacimiento Palmarito de Cauto es la mor-denita la principal fase zeolítica. Para la zeolita natural de este yacimiento no se han localizado resultados de la separación de fases magnéticas (o no magnéticas) asociadas al hierro que permitan su caracterización y el desarrollo de métodos para su separación.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue identificar las principales fases magnéticas asociadas al hierro y valorar la posibilidad de existencia de otras fases vinculadas con este elemento en la roca zeolitizada del yacimiento de Palmarito de Cauto, lo que puede constituir una base importante para el desarrollo de métodos para la separación de esas fases.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se tomó una muestra de roca zeolitizada, de aproximadamente 40 kg, en la cantera de toba Palmarito de Cauto. La muestra se corresponde con una toba vitroclástica dura, compacta, ligera, de color verde claro-amarillento, de grano medio y con predominio de la fase ví-trea; presenta además manchas de oxidación en forma de películas en las grietas.

La zeolita recolectada se molió en un molino de porcelana con bolas del mismo material y fue clasificada, mediante un juego de tamices, para obtener tres fracciones o clases de tamaños de partículas (T_p): $-0,09 + 0,05$; $-0,05+0,038$ y $-0,038+0$ mm. Estas fracciones incluyen los tamaños característicos de las partículas (cristalitas) cementadas de zeolitas naturales (Barrer 1980; Rodríguez-Iznaga 2000).

La composición química elemental de la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto (Tabla 1) se determinó con un microscopio electrónico de barrido JEOL 5200, equipado con un dispositivo detector *KeveX Super Dry EDS (Energy Disperse Spectroscopy)* para la cuantificación elemental mediante el programa *Magic 5*.

Tabla 1. Composición elemental de la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto

Elemento	O	Na	Al	Si	K	Ca	Fe
% en peso	64,66	0,71	3,10	26,31	1,08	1,64	2,50

Métodos de separación de fases asociadas al hierro

Se aplicaron métodos gravimétricos y magnéticos para la separación o concentración de fases asociadas al hierro en las tres clases de tamaño obtenidas. Tal proceder tiene como base que las principales fases no zeolíticas asociadas al hierro poseen mayor densidad que las fases zeolíticas y que algunas de estas fases de hierro poseen carácter magnético. La separación y concentración de esas fases facilita su caracterización con adecuadas técnicas de análisis.

Separación gravimétrica

Se empleó el método de cama fluidizada (Rodríguez-Fuentes *et al.* 2000). Para ello, una masa determinada de cada fracción de tamaño de zeolita se colocó en un recipiente de dos litros de capacidad. Luego se introdujo una manguera, casi hasta el fondo del recipiente, por donde se hizo circular agua de forma controlada hasta que el sobrenadante salió claro y se observó en el fondo del recipiente la deposición de un sólido más oscuro. Se detuvo la circulación de agua, se sacó con cuidado la manguera para no revolver el sólido y se extrajo cuidadosamente el líquido sobrenadante que quedó en el recipiente.

Para cada separación se tomaron dos muestras, una del sólido concentrado en el fondo del recipiente y otra del que quedó en el centro (tomando como referencia la altura del sólido en el recipiente). Finalmente, las muestras se filtraron y secaron a 100 °C.

Separación magnética

El método magnético usado consistió en una separación manual en medio húmedo, con un imán de intensidad de campo magnético de 0,42 T. Una masa de 500 g de cada fracción de tamaño de

zeolita se colocó en un recipiente de dos litros de capacidad. Se adicionó agua hasta recubrir completamente y se introdujo el imán, recubierto con un plástico y sujeto a una varilla. Se movió en círculos el imán dentro de la suspensión. Las partículas que se adhirieron al plástico se recogieron en un recipiente con agua luego de sacar el imán del plástico. Para la caracterización, las muestras se filtraron y secaron a 100 °C.

Caracterización de muestras

Las muestras tomadas antes y después de aplicado cada método de separación fueron analizadas por Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) para determinar su contenido de hierro, empleando un Espectrómetro de Absorción Atómica SOLAR 929 ATI UNICAM. También se les hizo análisis de fases por Difracción de Rayos X (DRX) empleando el método de polvo, usando un difractor Phillips X' Pert, radiación de Cu K α ($\lambda=1,54056 \text{ \AA}$) y monocromador de grafito. La susceptibilidad magnética se obtuvo con un kappametro KT-6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del patrón de DRX obtenido para la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto (Figura 1) permitió verificar que las principales fases zeolíticas presentes en este material son la mordenita (M) y la clinoptilolita-heulandita (CLI-HEU). Esto concuerda con lo reportado en el informe geológico de este yacimiento (Rizo & Galán 1990), donde también se reporta que la mordenita es la fase predominante. Ambas fases fueron identificadas por sus picos de difracción más intensos, al igual que el cuarzo (Q), presente de forma subordinada.

En la Tabla 2 se muestran las reflexiones más importantes de cada fase zeolítica identificada y la más intensa del cuarzo. Para la asignación de los picos de la mordenita y de la CLI-HEU se emplearon los patrones reportados por el Atlas de Zeolita, aprobados por la Asociación Internacional de Zeolitas (Baerlocher 2001). Para el cuarzo se usó el estándar PDF 87-0703 (JCPDS 2003). Los picos que aparecen sin identificar pudieran ser de feldespatos, o picos solapados de mordenita y clinoptilolita.

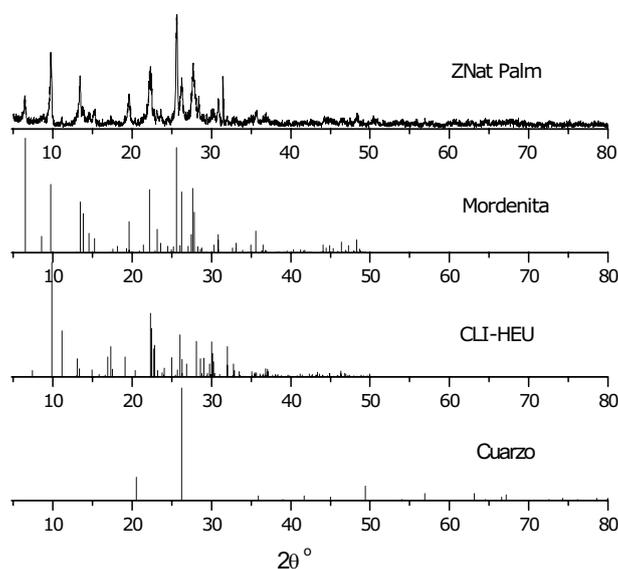


Figura 1. Patrón de DRX de la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto (ZNat Palm). Son incluidos patrones de DRX en forma de líneas, reportados para mordenita, clinoptilolita-heulandita y cuarzo.

Tabla 2. Resultados de DRX para la zeolita natural de Palmarito de Cauto

Fase identificada	hkl	2θ°	I/Io
Mordenita	110	6,51	30
	111	13,45	38
	150	22,19	70
	202	25,61	100
	511	27,65	56
Clinoptilolita-heulandita	020	9,85	47
	200	11,17	16
	131	22,35	68
Cuarzo	101	26,25	64

hkl: índice de Miller I/Io: intensidad relativa

Separación gravimétrica

A medida que decrece el tamaño de partícula en el material zeolítico de partida, el contenido de hierro primero permanece prácticamente invariable y después aumenta (en 0,67 %). Para la susceptibilidad magnética se obtiene similar comportamiento, primero disminuye ligeramente y después aumenta en $0,39 \times 10^{-3}$ unidades SI (Tabla 3). Un análisis estadístico practicado a estos resultados (prueba *T Student*

independiente con un nivel de confianza del 99 %) mostró que no existen diferencias significativas para el %Fe y la susceptibilidad magnética entre las muestras ZP1 y ZP2, mientras que las diferencias existentes en estos parámetros entre estas muestras y la ZP3 sí son significativas. Estos resultados indican que en la fracción de menor tamaño de partícula hay concentrada mayor cantidad de hierro y de fases magnéticas.

Tabla 3. Contenido de hierro y susceptibilidad magnética (X) de muestras de zeolita de Palmarito de Cauto antes y después de la separación gravimétrica

Mt	Tp (mm)	Fe ± DS (% peso)	X ± DS (Unidades SI)
ZP1	-0,09+0,05	2,28 ± 0,02	0,73E-03 ± 2,16E-05
ZP2	-0,05+0,038	2,27 ± 0,2	0,69E-03 ± 4,22E-05
ZP3	-0,038+0	2,94 ± 0,13	1,12E-03 ± 3,44E-05
ZP11	-0,09+0,05	2,08 ± 0,03	0,35E-03 ± 1,60E-05
ZP12		2,12 ± 0,04	1,06E-03 ± 3,89E-05
ZP21	-0,05+0,038	1,74 ± 0,08	0,52E-03 ± 4,23E-05
ZP22		1,94 ± 0,04	1,23E-03 ± 4,15E-05
ZP31	-0,038+0	2,57 ± 0,03	0,66E-03 ± 2,79E-05
ZP32		2,76 ± 0,32	0,73E-03 ± 1,75E-05

ZP1, ZP2 y ZP3: muestras de zeolita de partida con diferentes clases de tamaños de partículas (Tp).

ZP11, ZP21 y ZP31: muestras de zeolita del centro del recipiente, tomando como referencia la altura del sólido en el recipiente después de la separación gravimétrica.

ZP12, ZP22 y ZP32: muestras de zeolita en el fondo del recipiente, después de la separación gravimétrica.

En la tabla anterior se observa que después de practicar la separación gravimétrica, el contenido de hierro y la susceptibilidad magnética son mayores en la fracción de muestras tomadas en la parte inferior (fondo) del recipiente. El estudio estadístico mostró que, para cada clase de tamaño, las diferencias en el contenido de hierro entre las fracciones de muestras tomadas del centro y las del fondo del recipiente no son significativas, pero que sí existen diferencias significativas en el valor de susceptibilidad magnética. Esto indica que en la parte inferior se concentra mayor cantidad de fases magnéticas. El hecho de que los contenidos de hierro sean similares en las fracciones de muestras tomadas del centro y del fondo pueden estar relaciona-

dos con la existencia de hierro, no solo en fases no zeolíticas (magnéticas y no magnéticas), sino también con la posible localización de Fe^{3+} octaedral en sitios fuera de la armazón como $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ tal y como reportan Roque *et al.* (1990) para esta zeolita, o sustituyendo isomórficamente al aluminio en algunos sitios de coordinación, como sucede en la zeolita del yacimiento de Tasajeras, Cuba (Rodríguez-Fuentes *et al.* 2008).

Las diferencias en el %Fe y la X entre las fracciones de muestras ZP11, ZP21 y ZP31 resultantes de la separación gravimétrica de los correspondientes Tp estudiados resultaron ser significativas entre sí. Además, al comparar el contenido de hierro en el material zeolítico de partida (ZP1, ZP2 y ZP3) con el del material resultante en el centro del recipiente (ZP11, ZP21 y ZP31) después de la separación gravimétrica, se aprecia que disminuye el contenido de hierro en 0,2; 0,53 y 0,37 % para las clases de tamaño mayor, intermedia y menor, respectivamente. La mayor reducción del contenido de hierro para la clase de tamaño intermedio pudiera estar debido a que esta clase (la intermedia) incluye los tamaños de partículas de las cristalitas cementadas de zeolitas naturales (Barrer *et al.* 1980; Rodríguez-Iznaga *et al.* 2000). Esto contribuye a un mayor porcentaje de fases zeolíticas y a uno menor de otras fases en esta clase de tamaño, favoreciendo la eliminación del hierro y el beneficio de la mordenita natural.

Separación magnética

El aumento de la susceptibilidad magnética en las muestras ZP12, ZP22 y ZP32 resultantes de la separación gravimétrica es indicativo de la presencia de fases magnéticas. Tomando esto como base y con la aplicación de este método se pretende separar o concentrar las fases magnéticas asociadas al hierro, lo cual facilitará su caracterización. De esta manera se puede ganar en información y contribuir a solucionar las incongruencias en los reportes sobre la presencia o no de fases ferromagnéticas (ej. magnetita) en la zeolita natural de Palmarito de Cauto.

Se pudo constatar que en las muestras de zeolitas después de la separación magnética, el contenido de hierro es algo mayor en la clase

de menor tamaño de partícula (ZSM31), aunque la diferencia con respecto a ZSM11 y ZSM21 no es estadísticamente significativa (Tabla 4). A la clase ZSM31 corresponde la menor masa (un gramo) de material magnético separado (Tabla 5). En las dos muestras restantes (ZSM11 y ZSM21) es prácticamente igual el contenido de hierro (Tabla 4) y la correspondiente masa de material magnético separado (Tabla 5), lo cual también se cumple para sus valores de susceptibilidad magnética (Tabla 4). La prueba *T Student* mostró la existencia de diferencia significativa entre la X de las muestras ZSM11 y ZSM31, así como entre ZSM21 y ZSM31.

Tabla 4. Contenido de hierro y susceptibilidad magnética de muestras de zeolita de Palmarito de Cauto sometidas a proceso de separación magnética

Mt	Tp (mm)	Fe ± DS (% masa)	X ± DS (Unidades SI)
ZSM11	-0,09+0,05	1,99 ± 0,17	2,65E-04 ± 1,05E-05
ZSM12		22,6 ± 0,37	...
ZSM21	-0,05+0,038	2,10 ± 0,18	2,48E-04 ± 1,33E-05
ZSM22		19,0 ± 0,37	...
ZSM31	-0,038+0	2,69 ± 0,25	4,12E-04 ± 9,83E-06
ZSM32		48,5 ± 0,37	...

ZSM11, ZSM21 y ZSM31: muestras de zeolita de diferentes clases de tamaño, después de ser sometidas a la separación magnética.
ZSM12, ZSM22 y ZSM32: muestras del material separado magnéticamente.

Tabla 5. Cantidad de material separado magnéticamente a partir de 500 g de material zeolítico

Material separado	ZSM12	ZSM22	ZSM32
Masa (g) ± 0,0001 g	3,40	3,19	1,00
% que representa	0,68	0,64	0,20

Con este método se consiguió reducir en 0,29; 0,17 y 0,25 % el Fe contenido en la zeolita de partida con tamaño de partícula de -0,09 +0,05 mm; +0,05-0,038 mm y -0,038+0 mm, respectivamente, y que con carácter magnético está presente en la zeolita de Palmarito de Cauto.

En el material separado magnéticamente (Tabla 3) se observó que al disminuir el T_p , el contenido de hierro primero disminuye en un 3,6 % (ZSM12 con respecto ZSM22) y luego aumenta en 25,9 % (ZSM12 con respecto ZSM32). Esta notable diferencia en el contenido de hierro se atribuye a un mayor contenido de fases magnéticas en la muestra ZSM32, cuya separación se ve facilitada por el menor tamaño y masa de las partículas de la clase $-0,038+0$ mm. En el material magnético separado de las clases de mayor tamaño ($-0,09+0,05$ y $-0,05+0,038$ mm) el contenido de fases magnéticas debe ser menor. En correspondencia con esto se pudo observar que las muestras del material magnético separado de las clases de mayor tamaño eran de color gris-oscuro, en tanto que para el material magnético de menor clase de tamaño era de color negro. En el material magnético de las clases de mayor tamaño debe haber un contenido mayor de fases zeolíticas, cuya presencia es evidente en los respectivos patrones de DRX (Figura 3) obtenidos para estas muestras.

Identificación por DRX de fases no zeolíticas asociadas al hierro

Al comparar los difractogramas (Figura 2) correspondientes a muestras obtenidas antes (ZP1, ZP2) y después (ZP11, ZP12, ZP21, ZP22 y ZP32) de la separación gravimétrica con el de la roca zeolitizada de Palmarito de Cauto, se puede apreciar que son similares, por lo que solo es posible identificar en ellos las mismas fases, o sea, mordenita, clinoptilolita-heulandita y cuarzo (ver Tabla 1). Igual resultado se obtuvo después de la separación magnética de las muestras ZMS11, ZMS21 y ZMS31, como se puede ver en la Figura 3.

En los difractogramas de las muestras del material separado magnéticamente (ZSM12 y ZSM22) que muestra la Figura 3, además de los picos de las tres fases identificadas en el resto de los difractogramas, aparecen nuevas reflexiones: 220 ($30,095^\circ$), 311 ($35,422^\circ$), 22 ($37,052^\circ$), 400 ($43,052^\circ$), 422 ($53,391^\circ$) 511 ($56,942^\circ$), 440 ($62,515^\circ$), señaladas en el difractograma de ZSM22, las cuales pertenecen a la fase magnetita (Figura 4), lo que es corroborado con el estándar PDF 19 – 0629 (JCPDS 2003).

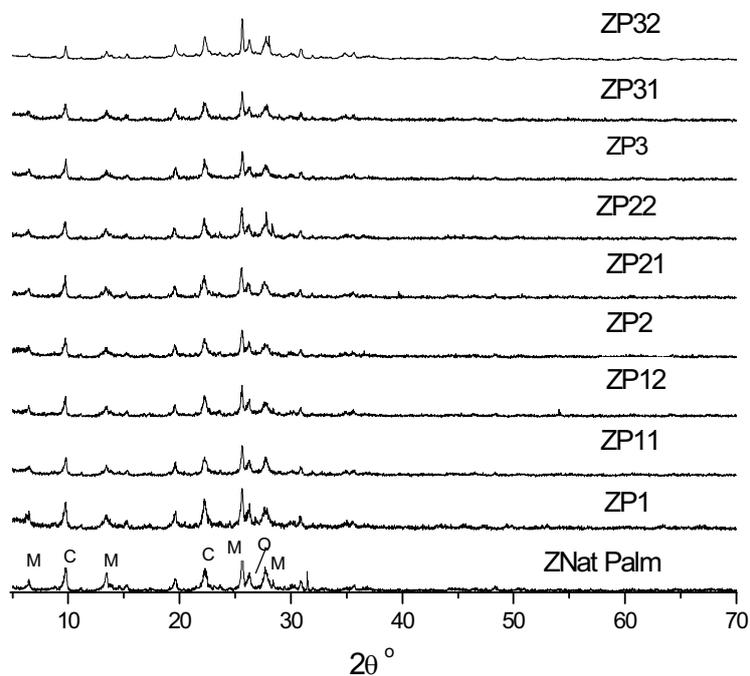


Figura 2. Patrones de DRX de las muestras de zeolita antes y después de la separación gravimétrica.

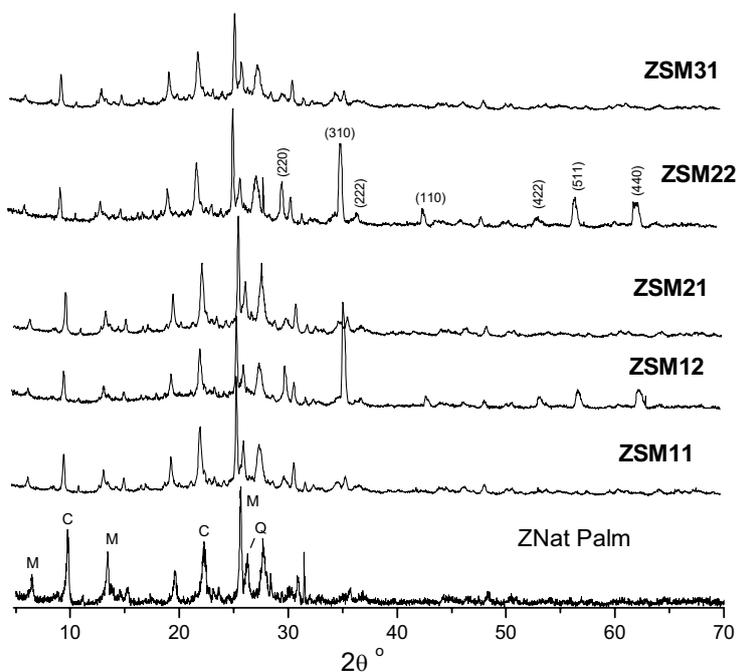


Figura 3. Patrones de DRX de las muestras de zeolita antes y después de la separación magnética.

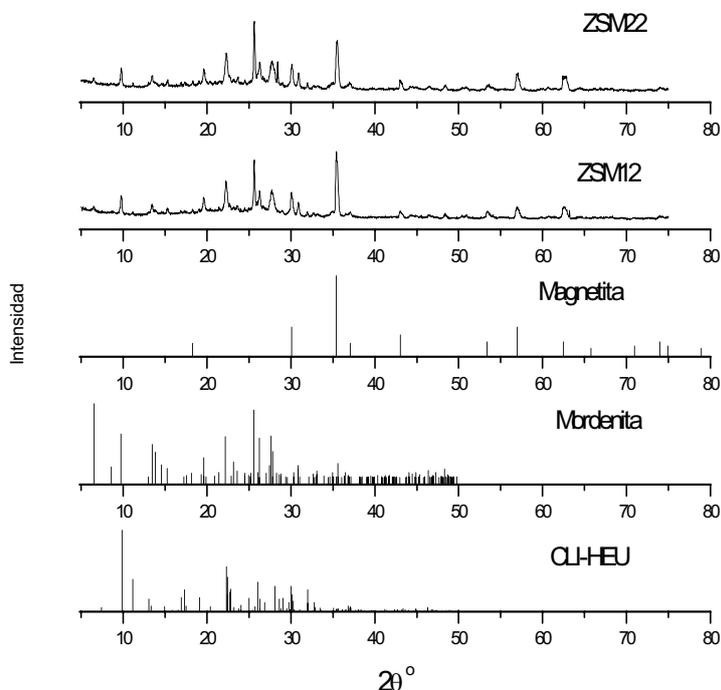


Figura 4. Patrón de DRX de las muestras de partículas separadas magnéticamente. Son incluidos patrones de DRX en forma de líneas reportados para la mordenita, clinoptilolita-heulandita y la magnetita.

Consideraciones generales

Los patrones de DRX de las muestra de la zeolita natural de Palmarito de Cauto para las diferentes clases de tamaño de partículas y las obtenidas luego de la separación gravimétrica no evidenciaron la presencia de la fase magnetita, debido a que su concentración está por debajo de los límites de detección de esta técnica analítica. Mediante separación magnética se pudo aislar esta fase y obtener un concentrado que permitió su identificación por DRX. De esta manera queda demostrado que en la roca zeolítica del yacimiento de Palmarito de Cauto está presente la fase magnetita, que posee carácter ferromagnético; esto demuestra lo reportado por Rizo & Galán 1990 y a la vez da respuesta a las incongruencias de otros estudios (Roque-Malherbe *et al.* 1990).

Atendiendo a los resultados de este estudio se infiere que el hierro, además de encontrarse en forma de magnetita, debe estar presente en otras fases, pues su contenido en la zeolita sometida a separación magnética es aun considerable respecto a la del material de partida. Esto apoya lo reportado por otros autores respecto a la probable existencia de hierro no solo en fases no zeolíticas, sino también localizado como Fe (III) octaédrico en sitios fuera de la armazón de la mordenita o sustituyendo isomórficamente al aluminio en algunos sitios de coordinación.

Con los dos métodos aplicados en este trabajo para la eliminación de hierro se obtuvieron resultados semejantes, al menos a escala de laboratorio. La prueba *T Student* pareada (con 99 % de confiabilidad) aplicada en ambos métodos para comparar los valores medios de porcentaje de hierro (%Fe) resultantes para cada uno de los 3 tamaños de partícula estudiados, no indicó diferencias significativas. Vale puntualizar que el mayor porcentaje de hierro eliminado se logró para la clase de tamaño de partícula intermedio (-0,05 + 0,038 mm) por el método gravimétrico, lo que pudiera responder a que esta clase incluye los tamaños de partículas de las cristalitas cementadas de zeolitas naturales (Barrer *et al.* 1980; Rodríguez-Iznaga *et al.* 2000).

CONCLUSIONES

Se comprobó por medidas de EAA y susceptibilidad magnética que mediante métodos gravimétricos y magnéticos es posible separar fases asociadas al hierro en la roca zeolítica del yacimiento de Palmarito de Cauto, logrando el mayor porcentaje de hierro con el método gravimétrico para la clase de tamaño de partícula intermedio (-0,05+0,038 mm).

Mediante la separación magnética se pudo obtener un concentrado de fases magnéticas, en el que la fase fundamental es la magnetita, identificada por DRX como la principal fase ferromagnética asociada al hierro en la roca zeolítica del yacimiento de Palmarito de Cauto. El hierro, además de encontrarse en forma de magnetita, debe estar presente en otras fases atendiendo a que el contenido de Fe en la zeolita separada magnéticamente es aún considerable con respecto al del material de partida.

REFERENCIAS

- BARRER, R.; BARRIR, S. & KLINOWSKI, J. 1980: Zeolite RHO Part 2: cation exchange equilibria and kinetics. *J. Chem. Soc. Faraday I*(76): 1038.
- JCPDS. 2003: International Centre for Diffraction Data.
- BAERLOCHER, CH; MEIER, W.M. & OLSON, D.H. 2001: *Atlas of Zeolite Framework Types*, 5th revised edition. Elsevier, Amsterdam.
- RIZO B, R & GALÁN A, Z. 1990: Informe sobre los resultados de los trabajos de exploración detallada escala 1:2000 del yacimiento de Palmarito de Cauto en la provincia Santiago de Cuba según cálculo de reserva de enero de 1990. Empresa Geominera Oriente.
- RODRÍGUEZ-FUENTES, G.; TORRES, J.C.; MORA, E. & VEGA, N. 2000: Solicitud de patente cubana No. 2000-0221.
- RODRÍGUEZ-FUENTES, G.; MÉNORVAL, L C.; REGUERA, E. & CHÁVEZ- RIVAS, F. 2008: Solid state multinuclear NMR study of iron species in natural and modified clinoptilolite from Tasajera deposit (Cuba). *Microporous and Mesoporous Materials* 111(1-3):577-590.
- RODRÍGUEZ-IZNAGA, I.; RODRÍGUEZ, G. & BENÍTEZ, A. 2000: The role of carbonate ions in the ion-exchange $Ni^{2+}=2NH_4^+$ in natural clinoptilolite. *Microporous and Mesoporous Materials* 41:29-136.
- ROQUE-MALHERBE, R.; DÍAZ-AGUILA, C.; REGUERA-RUÍZ, E.; FUNDORA-LLITERAS, J.; LÓPEZ-COLADO, L. & HERNÁNDEZ-VÉLEZ, L. 1990: The state of iron in natural zeolites: a Mossbauer study. *Zeolites* 10: 685-689.

Daria Tito Ferro

Licenciada en Química. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA)- Universidad de Oriente, sede Julio Antonio Mella. Santiago de Cuba, Cuba

daria@cnea.uo.edu.cu

Inocente Rodríguez Iznaga

Doctor en Ciencias Químicas. Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE)- Universidad de La Habana, Cuba.

inocente@imre.oc.uh.cu

Beatriz Concepción Rosabal

Doctora en Ciencias Físicas. Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE)- Universidad de La Habana, Cuba.

beatriz@imre.oc.uh.cu

Fernando Chávez Ribas

Doctor en Ciencias Físicas. Departamento de Física,
ESFM-IPN. México.

fchavez@esfm.ipn.mx

Valdivina Córdova Rodríguez

Máster en Química. Facultad de Ingeniería Química. Universidad
de Oriente, sede Julio Antonio Mella.
Santiago de Cuba, Cuba.

val@fiq.uo.edu.cu

Rolando Rizo Beyra

Ingeniero Geólogo. Empresa Geominera Oriente.
Santiago de Cuba, Cuba.

rrizo@geominera.co.cu