

Estudio y caracterización de roca mineral de Los Azufres


Naranjo Castañeda Felix Antonio^{1,3*}, Salcedo Luna María Cecilia², Chávez Martínez Margarita¹,
Naranjo Castañeda Carlos³, Holguín Quiñones Saúl¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, USAI, Laboratorio de Rayos-X de Polvos, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C. P. 04510. México.

³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Programa de Doctorado en Ciencias, Av. IPN No. 2508, San Pedro Zacatenco, Ciudad de México, C.P. 07360. México.

*Autor para correspondencia: flexingambient@hotmail.com

ORCID : 0000-0002-8819-7252

Recibido:

30/junio/2022

Aceptado:

21/septiembre/2022

Palabras clave:

Alunita,
Cristobalita,
Caolinita

Keywords:

Alunite,
Christobalite,
Kaolinite

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio y caracterización de una roca mineral proveniente de los Azufres en Ciudad Hidalgo, Michoacán, México. Se eligió el tamaño de grana a 48 μm para la caracterización del material. Por Difracción de Rayos-X, se determinaron las fases mineralógicas de Alunita $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, cristobalita SiO_2 y caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$. Por Microscopia Electrónica de Barrido se identificó la variada morfología y el diferente tamaño. A través de la Espectroscopia de Energía Dispersión fue posible identificar los elementos químicos principales de O = 56.10%, Si = 26.79%, C = 8.03%, Al = 5.83%, Fe = 1.32%, K = 0.64%, S = 1.02% y Ti = 0.27%. Los cuales se consideran algunos en forma de óxidos como: CaCO_3 , SiO_2 y Al_2O_3 . A partir de estos estudios fue posible clasificar la roca como un mineral aluni-alumino-silicato o silicoaluminato cálcico.

ABSTRACT

This work presents a study and characterization of a mineral rock in Ciudad Hidalgo, Michoacán, Mexico. The grain size of 48 μm was chosen for the characterization of the material. By X-Ray Diffraction, the mineralogical phases of the Alunite $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, Cristobalite SiO_2 , and Kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ were determined. By Scanning Electron Microscopy, the varied morphology and the different size were identified. Through Energy Dispersion Spectroscopy it was possible to identify the main chemical elements of O = 56.10%, Si = 26.79%, C = 8.03%, Al = 5.83%, Fe = 1.32%, K = 0.64%, S = 1.02% and Ti = 0.27%. Which are considered some in the form of oxides such as: CaCO_3 , SiO_2 and Al_2O_3 . From these studies it was possible to classify the rock as a mineral aluni-alumino-silicate or calcium silicoaluminum.

Introducción

El término geotermia se refiere al calor del interior de la tierra, es una fuente de energía alterna a los combustibles fósiles, ambientalmente inocua y económicamente competitiva para emplearse en la generación de electricidad y en otros usos (Maya y Gutiérrez, 2007). El desarrollo geotérmico es una actividad sustentable y puede tener impactos al suelo y al agua. Los desechos líquidos pueden regresarse al yacimiento sin contaminar cuerpos de agua superficiales y las emisiones a la atmosfera pueden controlarse para mantenerlos dentro de los límites permisibles (Mendoza y Hernández, 2004).

El campo geotérmico de los Azufres fue descubierto en el año de 1972 (González, 2001). Es considerado como el segundo campo más grande de México, localizado en la Ciudad Hidalgo, en el estado de Michoacán. Compuesto de diversos yacimientos, pozos o lagunas termales (Arellano et al., 2005; Flores et al., 2012). Se encuentra en una región minera no metálica y sus posibles substancias son: Tierra Fúller, arena sílica y diatómica (SGM, 2014). Los azufres fue el primer campo que generaba electricidad a partir de fluidos saturados en roca volcánica (González, 2001). Una roca es un agregado natural de uno o más minerales, es un material formado como consecuencia de un proceso geológico. Un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza de composición química variable (Naranjo et al., 2018).

Para conocer la granulometría, mineralogía y textura es necesario analizar la muestra tipo roca mineral. El objetivo de este trabajo es realizar el estudio y la caracterización, mineralógica y química de la roca proveniente de un yacimiento de los Azufres. Para ello se emplearon diversas técnicas de caracterización: Difracción de rayos-X (DRX) de polvos, para determinar las fases mineralógicas, utilizando la base de datos de Internacional Centre for Diffraction Data Powder Diffraction File (ICDD-PDF, 2018); Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para determinar las características morfológicas; Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS) para determinar los elementos químicos.

La presente investigación, forma parte de un proyecto geotérmico relacionado a la energía térmica contenida en las rocas de ese lugar, asociada a la generación de geotermoelectricidad. La aportación de este trabajo son los resultados obtenidos de caracterización mineralógica de las rocas Los Azufres por Difracción de Rayos-X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos -X (EDS).

Metodología

Los minerales que se muestran en la figura 1 provienen sólo de una roca proveniente de los Azufres, la figura 1(c) se identificó utilizando un Estereoscopio Carl Zeiss. Dependiendo de los resultados obtenidos, la siguiente meta, será realizar un muestreo de más especímenes o tomar estos resultados como representativos.

Posteriormente, la roca fue devastada con una fresadora marca DREMEL MM30, luego se trituro y se molió en un micromolino bullet Bel Art Ciencia Ware, luego la muestra obtenida de la molienda pasó por tamices marca FIICSA a diferentes mallas No. 50, 100, 325 y 400 a diferentes diámetros de malla (0.300, 0.150, 0.048 y 0.038) mm, respectivamente (Chávez et al., 2016).

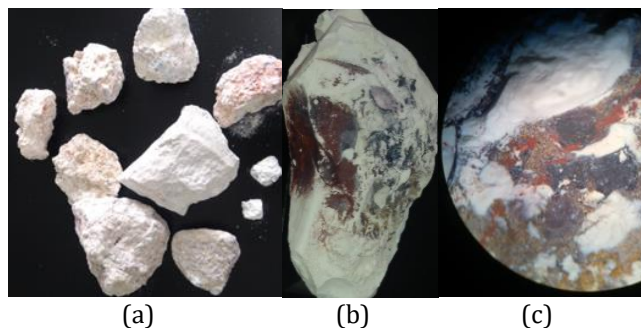


Figura 1. Observación de la roca: (a) Minerales extraídos de la roca, (b), Roca de estudio y (c) en Estereoscopio.

Luego, se realizó el peso retenido por cada maya con una balanza analítica OHAUs Pioneer para obtener la granulometría y la muestra elegida para los análisis espectrales que caracterizan la roca fue de la maya No. 325 (Chávez et al., 2016).

Para la caracterización por DRX, se utilizó un difractómetro BRUKER, D8 Advance Da Vinci con una radiación $\text{CuK}\alpha_1 = 1.54060 \text{ \AA}$, con un detector Lynx Eye (Baoping, 2018) y para los estudios de MEB y EDS se realizaron con un equipo SUPRA 55 PV, Carl Zeiss a una resolución de 1000 aumentos (Goldstein et al., 2017).

Resultados y discusión

Granulometría

El peso total de la muestra de roca molida fue de 97.3213 gramos. Cada fracción separada en los tamices fue pesada para obtener el porcentaje (%) en peso retenido.

La tabla 1 muestra el número de malla, tamaño de partícula, % peso retenido y peso en gramos en los tamices.

Tabla 1. Porcentaje en peso retenido en las mallas.

Número de malla	Tamaño de partícula (µm)	% Peso retenido	%paso	Peso (g)
50	300	48.8	100	47.4962
100	150	45.8	51.2	44.5709
325	48	5.3	5.4	5.1524
400	38	0.1	0.1	0.1018
Total		100		97.3213

Las figuras 2 y 3 muestran curvas granulométricas, las cuales permite visualizar la tendencia de los diámetros de las partículas.

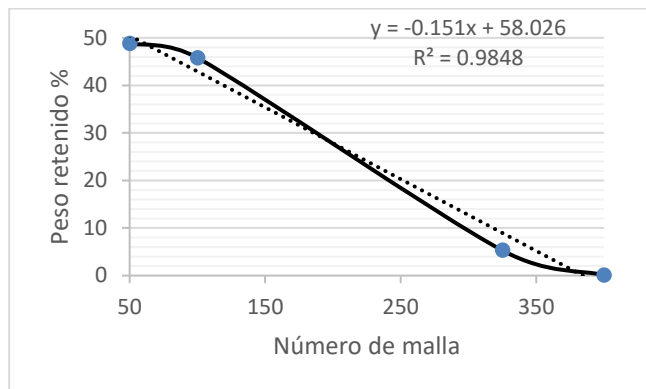


Figura 2. Porcentaje retenido por granulometría.

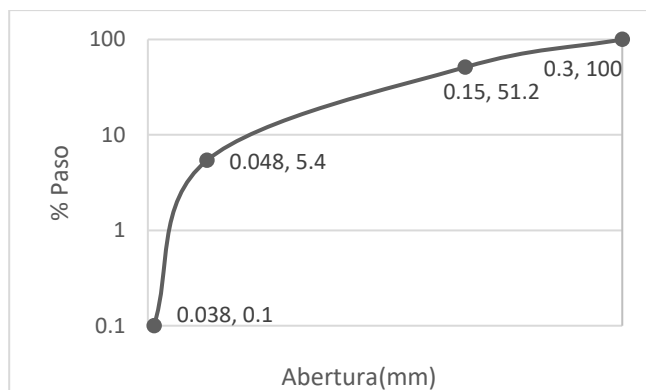


Figura 3. Abertura y porcentaje de paso por granulometría.

Difracción de Rayos X (DRX) de polvos

El patrón de difracción de la figura 4 muestra las tres fases cristalinas de los minerales encontrados en la roca Los Azufres. La interpretación se realizó con la base de datos del International Centre for Diffraction Data (ICDD), cuyos Powder Diffraction File (PDF)

corresponden a las tarjetas de identificación 00-0047-1885, 00-0009-1425 y 00-058-2001 para Alunita, Cristobalita y Caolinita respectivamente (ICDD 2018).

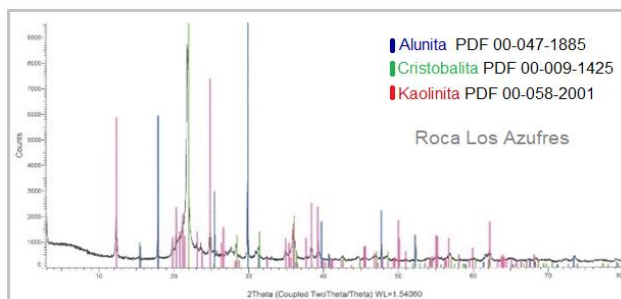


Figura 4. Patrón de difracción (DRX) de las fases minerales encontradas en la roca de Los Azufres, Ciudad Hidalgo.

Los valores de los ángulos de incidencia 2θ , distancias Inter planares, Intensidades de Difracción y factores de estructura hkl se presentan en la tabla 2. Las tres señales más intensas para cada mineral están en negritas.

Tabla 2. Datos de difracción por rayos-X de las fases mineralógicas experimentales.

Alunita			
2θ (°)	d (Å)	I	hkl
15.55	5.710	8	101
17.91	4.946	56	012
25.42	3.500	28	110
29.92	2.983	100	113
31.34	2.851	5	006
39.72	2.267	17	107
40.73	2.213	5	122
47.71	1.904	21	033
52.24	1.749	12	220
62.20	1.491	7	0210
67.57	1.385	3	137
73.42	1.288	4	413
Cristobalita			
2θ (°)	d (Å)	I	hkl
12.34	7.162	79	001
19.85	4.468	16	020
20.33	4.363	32	-110
20.80	4.265	19	110
21.22	4.182	28	-1-11
21.44	4.139	16	-111
23.10	3.847	19	0-21
23.75	3.712	10	021
24.84	3.580	99	002
26.34	3.380	13	111
26.62	3.345	21	-102
28.69	3.108	4	-112

32.42	2.755	5	022
34.94	2.565	15	-201
35.36	2.535	13	-1-31
35.64	2.516	5	1-12
35.94	2.496	22	-131
37.67	2.385	15	003
38.39	2.342	34	-202
Caolinita			
2θ (°)	d (Å)	l	hkl
21.98	4.039	100	101
28.43	3.135	8	111
31.46	2.841	9	102
36.07	2.487	13	200
36.38	2.467	4	112
47.06	1.929	4	113
48.60	1.871	4	212
57.08	1.612	3	301

En la tabla 3 se dan a conocer los datos de simetría cristalográfica principales de las tres fases cristalinas mineralógicas identificadas por DRX para polvos. Tales como, sistemacristalino, Grupo Espacial, parámetros de red, ángulos, número de fórmula. Así como algunos datos físicos, como volumen, densidad, masa molecular de la fórmula nominal y la calculada.

Tabla 3. Datos cristalográficos de las fases mineralógicas.

Alunita	Cristobalita	Caolinita
$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	SiO_2	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
ICDD-PDF 047-1885	ICDD-PDF 039-1425	ICDD-PDF 050-2001
$Al_{11.54} H_{23.08} K_{3.85} O_{53.85} S_{7.69}$	$Si_{46.74} O_{53.26}$	$Al_{20.90} H_{1.56} O_{56.78} Si_{21.76}$
Romboédrica	Tetragonal	Triclinico
R-3m(166)	P41212 (92)	P1(1)
a = 6.998 Å	a = 4.973 Å	a = 5.155 Å
b = 6.998 Å	b = 4.973 Å	b = 8.951 Å
c = 6.998 Å	c = 6.92 Å	c = 5.155 Å
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha = 90.17^\circ$ $\beta = 104.84^\circ$ $\gamma = 88.30^\circ$
Z = 2	Z = 4	Z = 6
M = 414.20 g/mol	M = 60.08 g/mol	M = 258.16 g/mol
Vol. 725.84(Å ³)	Vol. 171.24(Å ³)	Vol. 330.30(Å ³)
D _x = 2.77 g/cm ³	D _x = 2.33 g/cm ³	D _x = 2.6 g/cm ³

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La figura 5 muestra la micrografía obtenida por (MEB) del material mineralógico analizado. Se exhiben granos con morfología diferente encimadas unas con otras de tamaño variado, visto a 1000 X de aumentos. No hay presencia uniforme de granos, se podría asumir que la composición es heterogénea. Y pueden pertenecer a la formación de silicatos de composición variable (Naranjo et al., 2018).

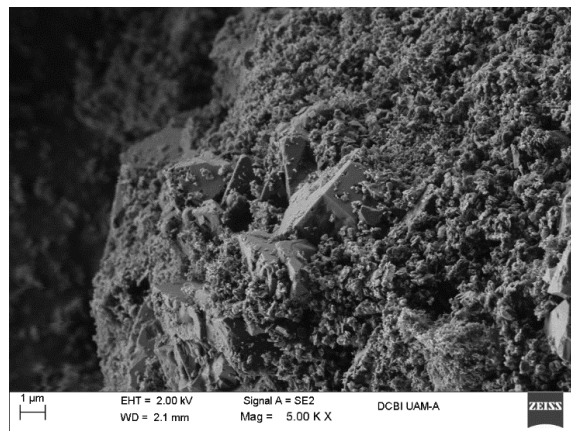


Figura 5. Micrografía del material mineralógico.

Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS)

En la figura 6 se observa el espectro EDS, el campo electrónico que identifico los elementos y su micrografía. Las señales más intensas fueron para silicio (Si), oxígeno (O), carbono (C) y aluminio (Al); otras señales menos intensas mostraron la presencia de hierro (Fe), azufre (S), potasio (K), sodio (Na) y titanio (Ti). Esto llevo a predecir la posible existencia de carbonatos, silicatos, óxidos de aluminio, pirita y albita; y trazas de Fe, K y Ti.

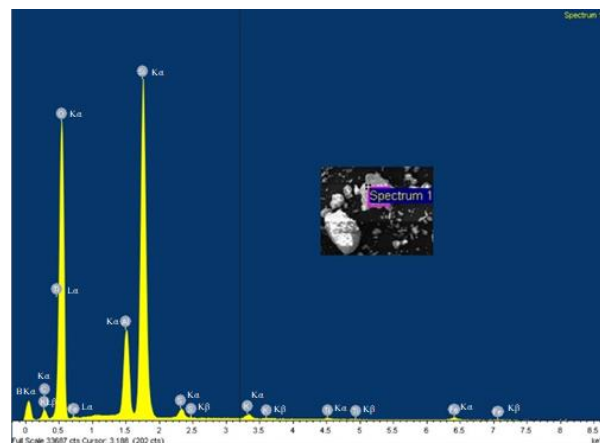


Figura 6. Micrografía y EDS de los elementos químicos determinados C, Si, O, Al, Fe, S, K, Na y Ti con radiación en líneas de familias K.

Durante el procesamiento del espectro, se analizaron los elementos con sus posibles enlaces identificados, tales como: C-CaCO₃, O-SiO₂, Al-Al₂O₃, S-FeS₂, Ti-Ti, Fe-Fe y K-MAD-10 Feldespato, estandarizados. La región de incidencia electrónica (Spectrum 1). La zona corresponde a la del recuadro de color magenta indicada sobre el fragmento superficial, con número de interacciones de cuatro, con una resolución de 300µm. La tabla 4 presenta el microanálisis con porcentajes (en peso y en masa atómica) de los elementos químicos.

Tabla 4. Microanálisis de los elementos encontrados.

Elemento	% Peso	% Atómico
O	56.10	64.69
Si	26.79	17.59
C	8.03	12.32
Al	5.83	3.98
Fe	1.32	0.44
K	0.64	0.3
S	1.02	0.58
Ti	0.27	0.1
Total	100	100

Conclusiones

Se estudió y se caracterizó la roca proveniente de Los Azufres de Ciudad Hidalgo, Michoacán, México, como parte del proyecto geotérmico relacionado a la energía térmica contenida en las rocas de ese lugar, es decir, para la generación de energía denominada energía geotérmica. Por granulometría se logró determinar que el tamaño de grano en mayor abundancia es de 0.15 mm, el cual resultó después de la molienda y que pasó por la malla 100, es decir, fue el 45.8 de porcentaje retenido para este tamaño de partícula. Fue posible identificar tres fases cristalinas: Alunita, Cristobalita y Caolinita por DRX. Con la base de datos fue posible conocer algunos datos cristalográficos principales como lo son el sistema cristalino, el grupo espacial, los parámetros de red, ángulos y el número de fórmula. Así como algunos datos físicos como el volumen, densidad, masa molecular de la fórmula nominal y la fórmula calculada. En cuanto al estudio de MEB se obtuvo micrografía que demostró morfología de composición heterogénea; y por EDS se obtuvieron los elementos químicos presentes de la roca, por medio de este estudio, se logró establecer la congruencia con el contenido de las fases cristalina determinadas por DRX.

Agradecimientos

A CONACYT México, beca otorgada. No. 706588 a FANC en el Programa de Doctorado, CINVESTAV, México; A Blanca E. Chávez Sandoval y Francisco García Franco por

proporcionar rocas minerales; A Fernando Almanza por los resultados SEM y EDS en el Microscopio Electrónico de la UAM-Azcapotzalco.

Referencias

- Arellano, V. M., Torres, M. A., Barragán R. M., López, F.N. (2005). Evolución termodinámica (1982-2002) de los fluidos del campo geotérmico de los Azufres, Michoacán, México., *Ingeniería Hidráulica en México*, 20(1): 77-87.
- Baoping, H. B. (2018). Two-Dimension X-Ray Diffraction, 2ed, John Wiley Sons, Inc. 1-491, ISBN: 9781119356066. USA.
- Birkle, P., Merkel, B. (2000). Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field of Los Azufres, Micoacán, México. *Water Air & Soil Pollution* 124: 371-410.
- Chávez, M. M., Salcedo, L. M. C, Naranjo, C.F.A., Hernández, M. L., Cruz, C. M. R., Ávila, J. M. (2016). Estudio y caracterización de turmalina de Suaqui grande, Sonora México. *Revista TeDIQ*, 2(2): QM157-QM167.
- Flores, A. M. C., Medina, B. E. N., Ramírez, M. M., Morales, A. L. (2012). Estimación ácida del pozo Az-98D en el campo geotérmico de los Azufres, Mich., *Geotermia Rev. Mexicana de Geoenergía*, 25(1): 30-35.
- Goldstein, J.I., Newbury, D.E., Michael, J.R., Ritchie, N.W.M. Scott, J.H. Joy, D.C. (2017). Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, 4th edition, Springer
- González, P. E. (2001). Especies sulfurosas del sistema hidrotermal actual del campo geotérmico de los Azufres, Michoacán: distribución y comportamiento isotópico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(1): 103-110.
- Internacional Centre for Diffraction Data Powder Diffraction File (ICDD-PDF), (2018).
- Naranjo, C. F. A., Chávez, M. M., Holguín, Q.S., Martínez, J. A., Palacios, G. L. N., Salgado, L. M. C. (2018). Estudio y caracterización de pedernal del municipio de Tepalcingo Morelos, *Revista TeDIQ*, 4(4): 503-510.
- Maya, G. R., Gutiérrez, N. L. C. A. (2007). Recursos geotérmicos para generar electricidad en México. *Revista Digital Universitaria*, 8(12), 1-13.
- Mendoza, R. E., Hernández, A. C. (2004). La protección ambiental en el campo geotérmico de los Azufres, Mich., *Geotermia Rev. Mexicana de Geoenergía*, 17(1): 10-20.
- SGM (2014). Servicio Geológico Mexicano. Panorama Minero del Estado de Michoacán. Secretaria de Economía. 1-50.