

Estudio y caracterización de roca sedimentaria Lutita de la laguna de Metztlán-Eloxochitlán Hidalgo

Naranjo Castañeda Felix Antonio^{1*}, Hernández Martínez Leonardo¹, Galindo Pérez Ezel Jacome³, Chávez Sandoval Blanca Estela², García Franco Francisco³, Chávez Martínez Margarita¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Área. Química, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, CDMX, C.P. 02200, México.

²Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Área. Análisis de Procesos, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, CDMX, C.P. 02200, México.

³Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Depto. Hombre y su Ambiente, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, CDMX, C.P. 04960, México.

*Autor para correspondencia: flexingambient@hotmail.com

Recibido:

18/junio/2017

Aceptado:

18/agosto/2017

Palabras clave

Roca sedimentaria,
Composición,
Lutita

Keywords

Sedimentary rock,
Composition,
Shale

RESUMEN

Se realizó un estudio y caracterización de roca sedimentaria proveniente de las orillas de la laguna de Metztlán. Localizado en el Municipio de Eloxochitlán del Estado de Hidalgo, México. La morfología de los cristales fue determinada por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con forma pseudopoligonal y tamaño de cristalito de 100 μm . Por Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), se realizó el microanálisis de elementos químicos. El contenido promedio de elementos químicos en la roca sedimentaria fue de C = 11.03%, O = 50.49%, Ca = 33.88%, Si = 3.63%, como los principales. Los cuales están presentes en forma de óxidos, tales como, CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃ y GaP. A partir de estos estudios se logró clasificar a la roca sedimentaria de una composición Aloquímica Impura, clástica llamada dedrica, se forma a partir de la sedimentación con una alteración ambiental, característica del lugar. Por Difracción de Rayos-X de polvos (DRX), se determinaron las fases mineralógicas de Alunita KAl₃(SO₄)(OH)₆, Cristobalita SiO₂, Caolinita Al₂Si₂O₅ y calcita CaCO₃.

ABSTRACT

A study and characterization of sedimentary rock from the shores of the Metztlán lagoon was carried out. Located in Eloxochitlán town of Hidalgo state, Mexico. The morphology of the crystals was determined by Scanning Electron Microscopy (SEM), with a pseudopolygonal shape and crystallite size of 100 μm . By Dispersive Energy Spectroscopy (EDS), microanalysis of chemical elements was performed. The average content of chemical elements in the sedimentary rock was C = 11.03%, O = 50.49%, Ca = 33.88%, Si = 3.63%, as the main ones. Which are present in the form of oxides, such as, CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃ and GaP. From these studies, it was possible to classify the sedimentary rock of an Impure Alloquímica composition, called dedrica, which is formed from sedimentation with an environmental alteration, characteristic of the land. By X-Ray Powder Diffraction (XRD), the mineralogical phases of Alunitite KAl₃(SO₄)(OH)₆, Cristobalite, Kaolinite Al₂Si₂O₅ and CaCO₃ were determined.

Introducción

Eloxochitlán municipio del estado de Hidalgo, México, limita al Norte con el estado de San Luis Potosí, al Noreste con Veracruz, al Sureste con Puebla, al Sur con Tlaxcala y Ciudad de México, y al Oeste con Querétaro. La laguna de Metztitlán ubicada en el extremo noroeste de Eloxochitlán (Figura 1), posee una superficie de 3,230 km², y pertenecen a la reserva de la Biosfera (INEGI, 2010).

En noviembre de 2016, nuestro grupo de investigación realizó un muestreo de rocas en una de las orillas de la laguna, muy cercano a la carretera Federal núm. 37 localizado en el paralelo Norte 20° 69' y al meridiano de Greenwich 98.83 Oeste, a una altura de 1320 msnm. En la figura 1 el lugar de muestreo se señala en color rojo.

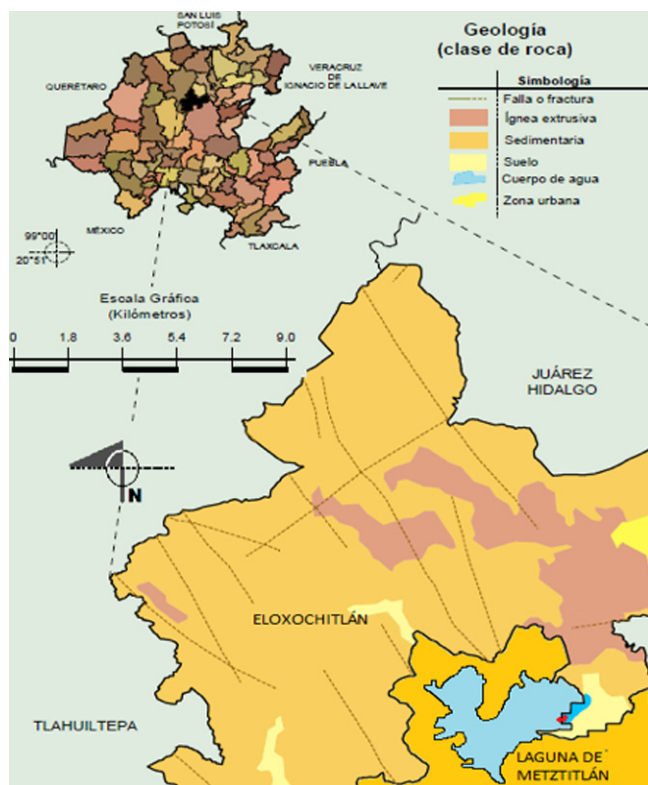


Figura 1. Laguna de Metztitlan-Eloxochitlán, Hidalgo. Modificada de (INEGI, 2010).

En esta zona se encuentran rocas sedimentarias que se formaron por la acumulación de fragmentos de origen orgánico, inorgánico y por agregados minerales, los cuales son partículas de diversos tamaños que fueron transportadas por la acción del agua y el viento (Pérez, 1978). En general, la zona presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas; fisiográficamente (INEGI, 2010). Sometidas a procesos físicos, químicos y biológicos que produjeron cambios

(diagénesis), que dan lugar a la formación de materiales consolidados. También pueden encontrarse en las orillas y desembocaduras de los ríos, barrancos, aluviones, valles, lagos y mares (Palacios, 1992).

Una roca es una masa cohesiva y sólida de un mineral puro o un agregado de dos o más minerales (Cornelius et al., 1991). En tanto, un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza, de composición química definida y composición atómica ordenada (Dana, 2010).

Clasificación mineral de las rocas sedimentarias

En 1969, Folk determinó el porcentaje molecular de la composición química o endogenética de las rocas sedimentarias Terrígenos (T) provienen de la erosión de las masas continentales; Ortoquímicos (O) precipitación química normal; y Aloquímicos (A) precipitados químicos “anormales”, que forman estructuras sólidas y sufren desplazamiento dentro de la misma cuenta de depósito. En la figura 2 se observa el triángulo de Folk en donde cada vértice representa el 100% del tipo de roca sedimentaria. El triángulo está dividido en 5 áreas que representan los grupos de rocas siguientes:

- (T) Terrígenas: Arenisca de silicio, minerales de arcilla
- (A) Aloquímicas puras: conchas, carbonatos
- (O) Orto químicas puras: Yeso, Pelitas y Carbonatos
- (AI) Aloquímicas impuras
- (OI) Orto químicas impuras

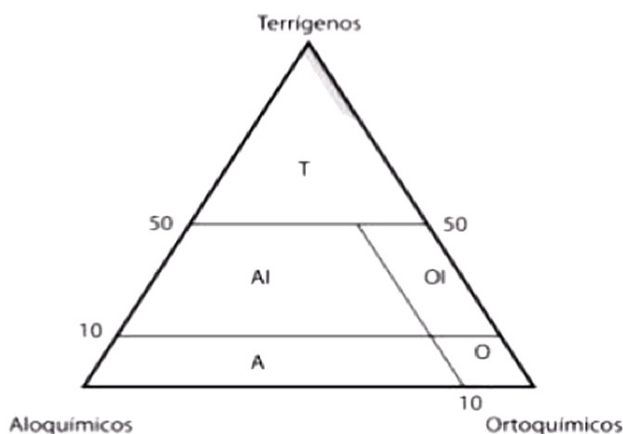


Figura 2. Clasificación de los sedimentos, según Folk (1969).

Las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias pueden contener minerales llamados clásticos, tales como, el cuarzo SiO₂, y feldespatos K,Na,Ca(AlSi₃O₈). En tanto, los minerales de neoformación también pueden contener Arcillas, Illita (K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂(H₂O), Caolinita Al₂Si₂O₅(OH)₄, etc. Por otro lado, están los minerales de precipitación química que son: Calcita

CaCO_3 , Dolomita MgCaCO_3 , Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Silvita KCl, Rutilo TiO_2 , etc. (Folk, 1969).

Erosión y alteración

La erosión de rocas sedimentarias es el proceso físico o mecánico que produce sedimentos clásticos (compuestos de fragmentos, o clastos) o detríticos (arcillas, producto de la meteorización química de los feldespatos) y rocas químicas (originadas por la precipitación de sustancias químicas) (Wikander, 2004). La alteración, es una actividad química que produce iones que son transportados a los medios de depósito, donde por reacciones químicas forman minerales que se asientan para formar también rocas sedimentarias (Heinrich, 1980).

Roca sedimentaria tipo Lutita

La Lutita es una roca sedimentaria detrítica compuesta por partículas de arcilla y de limo de grano fino y constituye más de la mitad de todos los tipos de rocas sedimentarias. Sus partículas son muy pequeñas, pero pueden identificarse con facilidad a grandes aumentos y por esta razón, resulta más difícil estudiar y analizar las Lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias. Están dentro de la clasificación de rocas Terrígenas, también son Aloquímicas Impuras (Montijo et al., 1984).

Problemática de la laguna Metztlán

La contaminación de la laguna de Metztlán-Eloxochitlán se debe a la descarga de hidrocarburos provenientes de unidades móviles de transporte que afecta a la reserva de la Biosfera. En cierta temporada del año existen actividades de pesca, recolección de maíz y otros cultivos a las orillas de la laguna y que por consiguiente la contaminación por hidrocarburos provoca daños a la flora y la fauna y sus alrededores.

Una posible solución al problema presente que sufre esta laguna, es la bioestabilización, que es una técnica de biorremediación mediante la incorporación de organismos que tengan la facultad de equilibrar el ambiente alterado (Vinces et al., 1971). En estudios anteriores se reporta que las rocas sedimentarias tipo Lutita son capaces de adherir microorganismos que pueden biodegradar este tipo de contaminante (Guzmán, 2013).

Objetivo

El objetivo de este trabajo de investigación, es realizar el estudio y caracterización de roca una roca proveniente de los alrededores de la laguna de Metztlán, los lugareños

le llaman Lutita. Al momento no se sabía con certeza qué tipo de roca era y que si ésta serviría para utilizarla en la bioestabilización.

Para ello se emplearon las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para determinar las características morfológicas de la muestra. Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS) para determinar los elementos químicos. Difracción de Rayos-X de polvos (DRX), para determinar el contenido de fases mineralógicas. Con estos estudios se logró determinar que no se trata de una roca sedimentaria y que no puede ser Lutita. Pero, el hallazgo encontrado sorprendentemente por DRX fue que el contenido del mineral es Alunita, que es un sulfato de aluminio y potasio $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. Una de las propiedades de la Alunita es que es piroeléctrico (Brewster, 2004) y que podría ser fuente de aluminio. Este mineral es generado por sulfatos provenientes de solfataras de origen volcánico sobre rocas ricas en aluminio como los feldespatos y ortoclasas. Así mismo por caolinización y silificación, lo cual concuerda con las otras fases mineralógicas encontradas en la muestra, tales como Caolinita y Cristobalita.

Metodología

El muestreo se realizó a 100 metros de la laguna de Metztlán, se recolectaron rocas diferentes, algunas de ellas se muestran en la figura 3.



Figura 3. Rocas representativas del muestreo.

Estas rocas representan una característica abiótica de la reserva de la biosfera. La roca elegida se trituró con martillo y se molió en un micromolino bullet marca BEL ART CIENCIA WARE, durante 1 minuto. Luego, la muestra obtenida de la molienda se pasó por tamices marca FIICSA por las mallas # 50, 100, 325 y 400 con sus diámetros de malla respectivos (300, 150, 48 y 38) μm . Las muestras separadas fueron pesadas en una balanza analítica marca OHAUS PIONEER con 0.0001 gramos de precisión y capacidad máxima de 200 gramos. Se realizó una granulometría para evaluar la proporción granular de los diferentes tamaños de partículas, El tamaño de partícula elegido para los análisis fue el de 48 μm .



Figura 4. Roca proveniente de los alrededores de la laguna Metztitlán.

Para el análisis de la muestra, se llevó al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, ubicado en el edificio W planta baja de la UAM-Azcapotzalco. Ahí se realizaron los estudios de MEB y EDS con un microscopio electrónico marca SUPRA 55 PV, Carl Zeiss, la resolución ocular desde fue de 1000 a 3000X de aumentos. Por otra parte, la muestra se llevó al Laboratorio de Difracción de Rayos X de polvos, ubicado en el Edificio “Mario Molina”, en Ciudad Universitaria. Se utilizó un difractoro BRUKER, D8 Advance Da Vinci. La radiación fue $\text{CuK}\alpha_1$ con $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$, con detector Lynx Eye.

Resultados y discusión

En la figura 4 se observa a la roca estudiada de color gris y algunos bordes de color marfil. En su superficie se detallan crestas, estrías suaves y marcadas. Sus dimensiones fueron de (8.5x4.1x1.9) cm.

Granulometría

El peso total de la muestra de roca molida fue de 96.6241 gramos. Cada fracción separada en los tamices fue pesada para obtener el por ciento en peso retenido. La tabla 1 muestra el número de malla, el tamaño de partícula, el peso en gramos y el porcentaje de peso retenido en los tamices.

Tabla 1. Porcentaje en peso retenido en las mallas de la muestra de roca molida de Metztitlán.

Número de malla	Tamaño de partícula (μm)	Peso (g)	% Peso retenido
50	300	47.0337	48.68
100	150	41.3702	42.82
325	48	8.0884	8.36
400	38	0.1318	0.13

La figura 5 muestra curva granulométrica, la cual permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano o diámetros de las partículas.

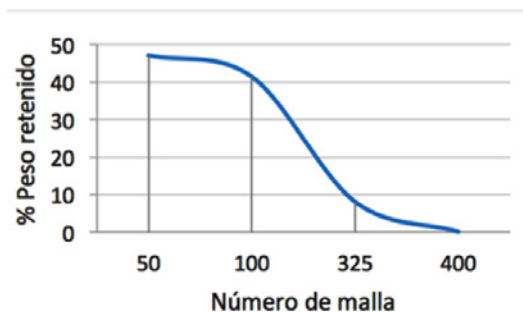


Figura 5. Granulometría de la roca en estudio de Metztitlán.

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La figura 6 muestra las microfotografías (MEB) de la roca de Metztitlán; en (a) se exhibe la morfología de un grano aislado visto a 1000 X de aumentos. En (b) y (c) es el mismo grano visto a 2000 X y 3000 X de magnificación respectivamente. Este estudio permitió determinar las características microestructurales como topografía, morfología y tamaño de partícula.

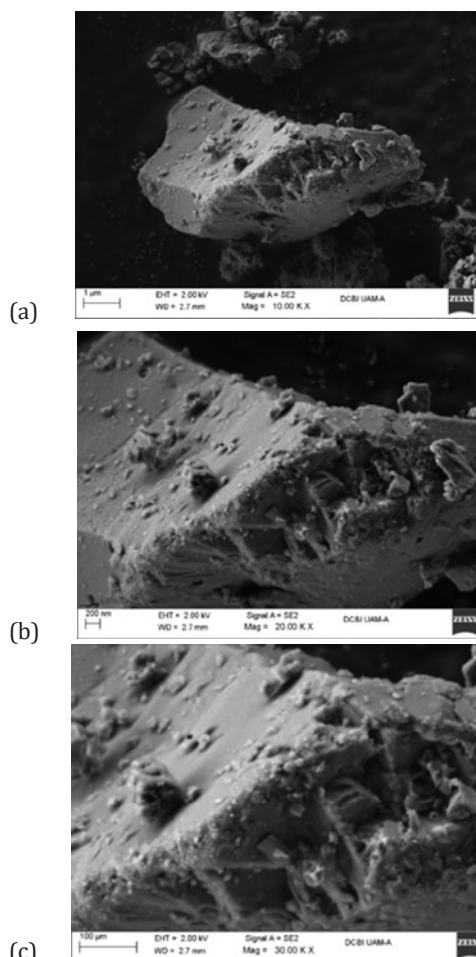


Figura 6. Micrografía de la roca de Metztitlán a 1000, 2000 y 3000 X de magnificación.

Las imágenes se aprecian en resoluciones de (a) en 1µm, (b) en 200µm y (c) en 100µm por emisión de campo. La forma del grano aislado es pseudopoligonal, ya que muestra caras casi planas conectadas por líneas rectas pero carentes de vértices. En la superficie de este grano están adheridas otras partículas o granos de menor tamaño. Al fondo se puede observar otros granos de formas y tamaños diferentes. Como no son conglomerados de tamaño uniforme, ni granos del mismo tamaño y forma, se podría asumir que la composición es heterogénea.

Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS)

En la figura 7 se observa el campo electrónico, específicamente la región de incidencia electrónica en el denominado Spectrum 6, en una superficie y a una resolución de 200µm. La zona del recuadro de color magenta indica el fragmento sobre el que se realizó el análisis de composición química elemental. Los valores pueden mostrarse en combinación con oxígeno o como elementos químicos puros.

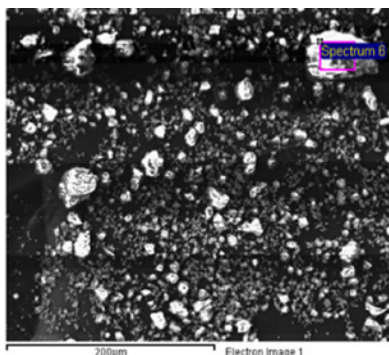


Figura 7. Espectro 6 de Micrografía denominado Spectrum 6.

La tabla 2 presenta el microanálisis con porcentajes de peso en masa y masa atómica de los elementos químicos, determinados específicamente en la región Spectrum 6 mostrada anteriormente en la figura 7.

Tabla 2. Microanálisis de los elementos encontrados.

Elemento químico	% Peso	% Atómico
C	11.03	18.06
O	50.49	62.06
Mg	0.41	0.33
Al	0.30	0.22
Si	3.63	2.54
P	0.26	0.17
Ca	33.88	16.62
Total	100	100

La figura 8 muestra el espectro de EDS para la muestra de Metztlitlán. Las señales más intensas fueron para oxígeno, calcio, carbón y silicio; otras señales menos intensas mostraron la presencia de magnesio, aluminio, y fósforo. Esto llevo a predecir la posible existencia de carbonatos de calcio y de magnesio, de sílice y/o silicoaluminatos y fosfatos.

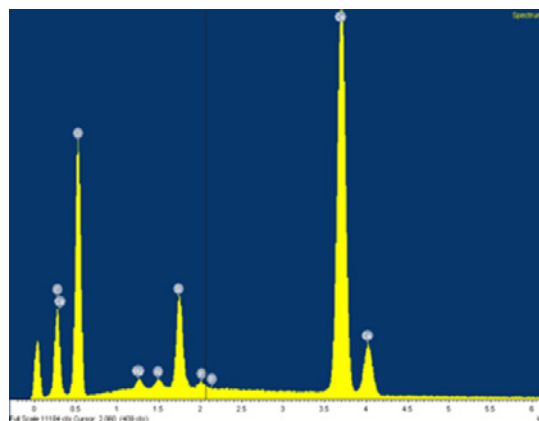


Figura 8. Espectro EDS para la roca de Metztlitlán.

Difracción de Rayos -X (DRX) de polvos

El difractograma de la figura 9 muestra las fases mineralógicas que resultaron estar presentes en la roca de Metztlitlán. Los datos fueron cotejados con la base de datos del International Centre for Diffraction Data y los Powder Diffraction File (ICDD-PDF, 2013).

Las señales de difracción están en azul para Alunita $KAl_3(SO_4)_4$ PDF 047-1885; verde para Cristaobalita SiO_2 PDF 039-1425; rojo para Caolinita $Al_2O_3(OH)_4$ PDF 050-2001 y rosa Calcita $CaCO_3$ PDF 005-0453.

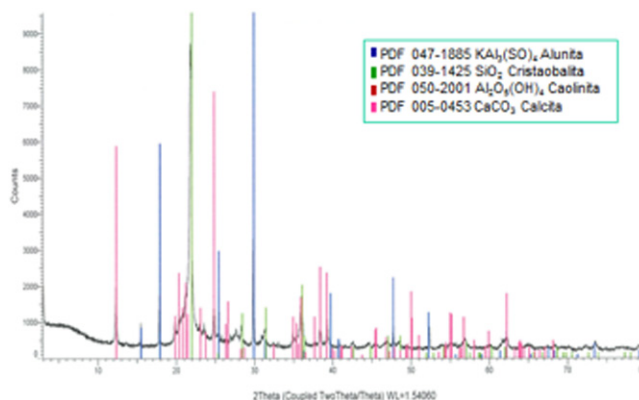


Figura 9. Difractograma de la roca de Metztlitlán.

Los valores de los ángulos de incidencia, distancias interplanares, intensidades y *hkl* se presentan en la tabla 3. Las tres señales más intensas para cada mineral están en negritas. La tabla 4 muestra los datos cristalográficos de cada uno de estos minerales.

En la clasificación de silicatos, la caolinita se encuentra dentro del grupo de las arcillas, por lo que las señales de difracción son a ángulos bajos; lo que evidentemente se observa en el difractograma obtenido. Para el SiO₂ encontrado se trata de Cristobalita y no de α-Cuarzo, ya

que la señal más intensa para esta fase de sílice debería ser en el ángulo de incidencia en 26.64°. En tanto, para la Cristobalita la señal más intensa está en el ángulo de incidencia de 21.98°, lo cual concuerda con los datos de la tabla 4 para Cristobalita.

Tabla 3. Datos de difracción por rayos-X de las fases mineralógicas obtenidas experimentalmente de la roca de Metztlán.

(a) Alunita				(b) Caolinita				(c) Cristobalita				(d) Calcita			
2θ (°)	d (Å)	I	hkl	2θ (°)	d (Å)	I	hkl	2θ (°)	d (Å)	I	hkl	2θ (°)	d (Å)	I	hkl
15.55	5.710	8	101	12.34	7.162	79	001	21.98	4.039	100	101	23.02	3.860	12	012
17.91	4.946	56	012	19.85	4.468	16	020	25.31	3.514	<1	110	29.40	3.035	100	104
25.42	3.500	28	110	20.33	4.363	32	-110	28.43	3.135	8	111	31.41	2.845	3	006
29.92	2.983	100	113	20.80	4.265	19	110	31.46	2.841	9	102	35.96	2.495	14	110
31.34	2.851	5	006	21.22	4.182	28	-1-11	36.07	2.487	13	200	39.40	2.285	18	113
36.29	2.473	2	024	21.44	4.139	16	-111	36.38	2.467	4	112	43.14	2.095	18	202
39.72	2.267	17	107	23.10	3.847	19	0-21	38.40	2.341	<1	201	47.12	1.927	5	024
40.73	2.213	5	122	23.75	3.712	10	021	42.65	2.117	2	211	47.48	1.913	17	018
44.85	2.019	1	214	24.84	3.580	99	002	44.84	2.019	2	202	48.51	1.875	17	116
47.71	1.904	21	033	26.34	3.380	13	111	47.06	1.929	4	113	56.55	1.626	4	211
52.24	1.749	12	220	26.62	3.345	21	-102	48.60	1.871	4	212	57.40	1.604	8	122
55.72	1.648	1	312	28.23	3.157	3	-1-12	51.93	1.759	<1	201	58.07	1.587	2	101
58.99	1.564	1	134	28.69	3.108	4	-112	52.86	1.730	2	211	60.67	1.525	5	214
61.37	1.509	2	315	32.42	2.755	5	022	54.15	1.692	2	202	60.98	1.518	4	208
62.20	1.491	7	0210	34.94	2.565	15	-201	56.21	1.634	<1	104	61.343	1.510	3	119
65.29	1.427	1	404	35.36	2.535	13	-1-31	57.08	1.612	3	301	63.05	1.473	2	125
67.57	1.385	3	137	35.64	2.516	5	1-12	57.50	1.601	1	213	64.67	1.440	5	300
68.31	1.371	2	232	35.94	2.496	22	-131	58.67	1.572	<1	310	65.59	1.422	3	001
71.25	1.322	1	410	36.50	2.459	2	-211	58.86	1.567	<1	222	69.22	1.356	11	217
73.42	1.288	4	413	37.67	2.385	15	003	60.30	1.533	2	311	70.23	1.339	2	021
79.18	1.208	2	327	38.39	2.342	34	-202	62.01	1.495	2	302	72.86	1.297	2	128

Tabla 4. Datos cristalográficos de las fases mineralógicas encontradas en la roca de Metztitlán.

Alunita $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ICDD-PDF 047-1885	Cristobalita SiO_2 ICDD-PDF 039-1425	Caolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ICDD-PDF 050-2001	Calcita $CaCO_3$ ICDD-PDF 005-0453
414.20	60.08	258.16	100.09
$Al_{11.54} H_{23.08} K_{3.85} O_{53.85} S_{7.69}$	$Si_{46.74} O_{53.26}$	$Al_{20.90} H_{1.56} O_{56.78} Si_{21.76}$	$C_{12} Ca_{40.04} O_{47.95}$
Romboédrica	Tetragonal	Triclínico	Romboédrica
R-3m(166)	P41212 (92)	P1(1)	R-3c
a= 6.998Å b= 6.998Å c=6.998Å $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a= 4.973Å, b: 4.973Å, c: 6.92Å $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a=5.155Å, b= 8.951Å, c= 5.155Å $\alpha = 90.17^\circ \beta = 104.84^\circ$ $\gamma = 88.30^\circ$	a=4.989Å, b=4.989Å, c= 17.062Å $\alpha = 90^\circ \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$
Z:	Z: 4	Z: 2	Z: 6
Vol. 725.84(Å ³)	Vol. 171.24(Å ³)	Vol. 330.30(Å ³)	Vol. 367.78 (Å ³)
D _x 2.771 g/cm ³	D _x 2.33 g/cm ³	D _x 2.6 g/cm ³	D _x 2.7 g/cm ³
	inoloro	inoloro	Color
c/a: 2.446; a/b: 1; c/b: 2.446	c/a: 1.932; a/b: 1; c/b: 1.392	c/a: 1.42; a/b: 0.576; c/b: 0.828	c/a: 3.420; a/b : 1.00; c/b: 3.420

Clasificación de sedimentos en el triángulo de Folk

De acuerdo a los resultados obtenidos de las fases cristalinas encontradas en la roca de Metztitlán, que fueron: Alunita que es un sulfato de doble de aluminio y potasio $KAl_3(SO)_4$, Cristobalita que es una sílice SiO_2 , Caolinita que es un tipo de arcilla $Al_2O_5(OH)_4$ y Calcita que es un carbonato $CaCO_3$. Podría ser un tipo de roca sedimentaria Terrígena (T) por la sílice y caolín. Pero también podría tratarse de (A) Aloquímica por el contenido de carbonatos. Así mismo, pudiera tener un poco de Ortoquímica (O) por el contenido de sulfatos. En la figura 10, se muestra la posible región en que estaría la roca de Metztitlán en el triángulo de Folk. Aunque esta roca contiene sílice en forma de Cristobalita, por EDS se demostró que es en un porcentaje bajo del 3.63% en peso, por lo que no puede ubicarse hacia los Terrígenos. Por el mayor contenido en carbono y calcio 11.03% y 33.88% en peso respectivamente, y que a su vez aparece la fase de Calcita en DRX puede ser ubicada hacia los Aloquímicos. Pero la roca también tiene características para ser clasificado como Ortoquímico por la evidencia del contenido de Alunita. Así que los porcentajes para clasificar la roca de Metztitlán en el Triángulo de Folk, podrían ser de 30% de Terrígena, 30% de Ortoquímica y 40 % de Aloquímica. Evidentemente se encuentra en la región de Aloquímica Impura.

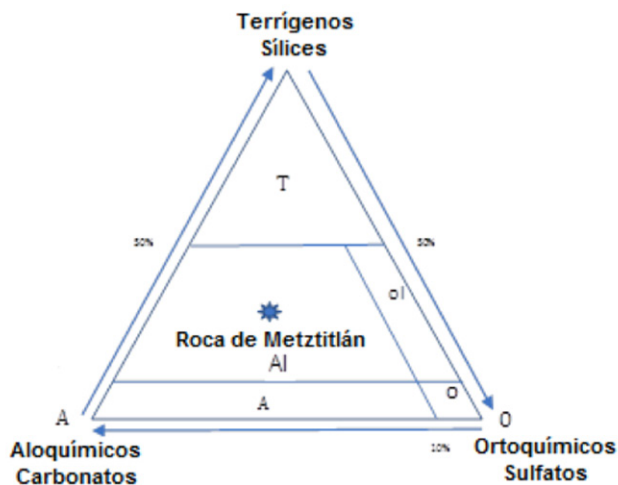


Figura 10. Clasificación de la roca de Metztitlán, como sedimentaria (AI) Aloquímica Impura en el Triángulo de Folk.

Para ser roca Sedimentaria Lutita, como le llaman los lugareños; podría asumirse con cierta certeza, ya que el grano debería ser muy fino como el de las arcillas limolitas y argilitas cuyos tamaños de partícula son de 1/256 mm (Montijo et al., 1984), Las diminutas partículas de Lutita que contienen ± de carbonato de calcio (del 35% al 65%), se denominan margas y suelen ser de colores azulados.

El único material arcilloso encontrado en la muestra de la roca de Metztlán es la Caolinita. Por otra parte, la evidencia de que pudiese ser Lutita, es que ésta se forma como consecuencia de la sedimentación gradual de corrientes no turbulentas relativamente tranquilas, como los lagos, llanuras de inundación de ríos, lagunas y zonas de cuencas oceánicas profundas. Aun así, en esos ambientes tranquilos suele haber cierta turbulencia logrando mantener suspendidas las partículas de tamaño arcilloso durante mucho tiempo. Debido a su tamaño de partícula fina, las Lutitas no se pueden determinar por método de cribado (Spalletti, 2007). Las Lutitas están firmemente cimentadas que no pueden ser desglosadas en partículas individuales, lo que hace casi imposible determinar el tamaño exacto. (Bates y Jackson, 1980).

Sin embargo el estudio por MEB demostró un hallazgo sin precedente, para la roca proveniente de Metztlán, que podría tratarse de una Lutita, el tamaño de grano sería de 10 μm , lo que equivale a 10^{-6}m . Las imágenes obtenidas para partículas separadas por tamiz de 48 μm de abertura demuestran un pseudopolígono de 10 μm y que pudiera asumirse que se trata de una de las finas partículas de Lutita (Adams et al., 1984).

Conclusiones

Se estudió y se caracterizó la roca proveniente de Metztlán, Hidalgo. La morfología determinada por MEB muestra que se trataba de cristalitas de 10 μm de tamaño, de secciones pseudo geométricas poligonales. Los elementos químicos determinados por EDS en mayor proporción son C = 11.03%, O = 50.48% y Ca = 33.88%, pero también se encontraron Mg, Al, Si y P que pueden reportarse como óxidos de Magnesio MgO, Alúmina Al_2O_3 y un Fosforo de Galio GaP.

Por DRX se logró determinar cuatro fases cristalinas de los minerales Alunita $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, Cristobalita SiO_2 , Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ y Calcita CaCO_3 .

A partir de estos estudios se podría clasificar a la roca de Metztlán como roca sedimentaria de composición 30% de Terrígena, 30% de Ortoquímica y 40 % de Aloquímica en el triángulo de Folk, y que quedaría situada en el área de (Al) Aloquímica Impura. Así mismo podría asumirse que es una roca clástica, formada a partir de la sedimentación con una alteración ambiental, característica del lugar.

Así que, por el tamaño de cristalito, por las fases de minerales presentes, podría asumirse que la roca de Metztlán, es una roca sedimentaria tipo Lutita con contenido de Alunita, Cristobalita, Caolinita y Calcita.

Recomendaciones

Para continuar con la caracterización de otras rocas propias de Metztlán, y poder avanzar en la etapa de bioestabilización de esta región y del propio Lago; este trabajo nos abre la posibilidad de continuar con la etapa siguiente de investigar y poner a prueba qué tipos de microorganismos pueden adherirse a este tipo de rocas y demostrar si éstos son capaces de degradar los contaminantes, principalmente hidrocarburos que están dañando al lago de Metztlán.

Agradecimientos

A Fernando Almanza Hernández, por los estudios realizados de EDS y MEB. En el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido y Transmisión de la UAM-Azcapotzalco, México.

A María Cecilia Salcedo Luna, por los estudios realizados en DRX-polvos en la Facultad de Química, USAI, C. U. UNAM, México.

Referencias

Adams A.E., Mackenzie W.S. and Guilford C. (1984). Atlas of sedimentary rocks under the microscope, longman group limited. England.

Bates R. L. and Jackson J. A. (1980), Glossary of Geology. American Geological Institute, Virginia, second edition, 751-756.

Brewster David (2004), Observations of the pyroelectricity of minerals, *The Edinburgh Journal of Science* 1, 208-2015.

Cornelius S., Hurlbut J.R., Cornelis K. (1991). Manual de Mineralogía de Dana, 3^{ra} Ed. Reverte, Barcelona, España.

Dana J. (2010) Manual de minerales, Vol 1, 4^a. Edición,

Folk R.L. (1969). Petrología de las rocas sedimentarias. Instituto de Geología, UNAM. México.

Guzmán L. F. F. (2013). Taller de hidrocarburos de lutitas, Gas shale-aspectos de Protección al medio ambiente, Instituto Mexicano del Petróleo- IMP, México.

Heinrich E. W.M. (1980). Petrología microscópica. procesos sedimentales Ed. Omega, Barcelona.

International Centre for Diffraction Data, Powder Diffraction File (ICDD-PDF), (2013), 12 Campus Boulevard, Newton Square, 19073-37720.

INEGI. (2010). Marco Geoestadística, versión 4.3, México.

Montijo G. A., Mingares S. I. y Grijalva F. J. (1984). Petrología de rocas dendríticas. Departamento de Geografía de la Universidad de Sonora, México. Recuperado el 16 de mayo de 2017. Obtenido de: <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/deriticas/index.htm>

Palacios S.H. (1992). Manual para el estudio de rocas sedimentales. Instituto Politécnico Nacional. ESIA UNIDAD TICOMAN. México D.F.

Pérez R.O. (1978). Estudio Bioestratigráfico del Paleozoico Superior del Anticlinorio de Huayacocotla en la Sierra Madre Oriental. *Rev. Instituto Mexicano del Petróleo. Bol. Soc. Geo. XXXIX, 2:* 126-135.

Vinces A., Chacón de P. G., Popuvici Z. (1971). "Contribución al conocimiento de las algas unicelulares de las lagunas de bioestabilización en San Juan, Lima". *Boletín de la oficina sanitaria panamericana.* 148-164.

Spalletti A. L. (2007). Texturas de las rocas sedimentarias clásticas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. Recuperada el 22 de mayo de 2017. Obtenido de: <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/textura.pdf>

Wikander R. Monroe J. S. (2004). *Historical Geology Evolution of Earth and Life Through Time*, Thomson Brooks Cole, 4th ed., 576 p.