

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

BOLETIN NUMERO 96

ATTAPULGITA SEDIMENTARIA MARINA
DE YUCATAN, MEXICO

por
LIBERTO DE PABLO GALAN

CALCULO CRISTALOGRAFICO
PROGRAMA DE CALCULO ELECTRONICO, prog. 140

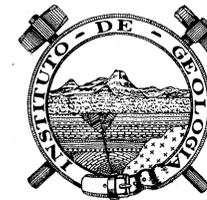
por
FRANCISCO J. FABREGAT GUINCHARD

EL VULCANISMO DE LAS PLANICIES
DE LA HUASTECA (Este de México)
DATOS GEOQUIMICOS Y PETROGRAFICOS

por
CLAUDE ROBIN

GEOLOGIA DE LA FAJA DEL SALTO,
DURANGO, MEXICO

por
DAVID EDWIN WAHL, Jr.



MÉXICO, D. F.
1976

ATTAPULGITA SEDIMENTARIA MARINA
DE YUCATÁN, MÉXICO

Liberto de PABLO GALÁN



Primera edición: 1976

DR © 1976, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria. México 20, D. F.

DIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES

Impreso y hecho en México

CONTENIDO

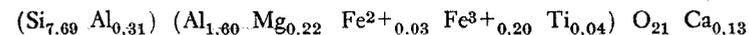
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OCURRENCIA	8
Localización	8
Geología	9
Petrología	9
PROPIEDADES	19
PROPIEDADES	19
Difracción de rayos X	19
Composición química y fórmula estructural	22
Absorción infrarroja	23
Microscopía electrónica	23
BIBLIOGRAFÍA	25
APÉNDICE. Estudios mineralógicos	28

ATTAPULGITA SEDIMENTARIA MARINA DE YUCATÁN, MÉXICO

RESUMEN

Attapulgita o palygorskita se localiza en las cercanías de Ticul, península de Yucatán, México. La zona está limitada, en su parte occidental, por la sierra de Ticul, un arrecife de biocalcarenita del Eoceno, en contacto, hacia el N y E, con sedimentos marinos calcíticos y dolomíticos de precipitación biogénica y química, formación de aragonita y neoformación de calcita y dolomita. En éstos sedimentos la attapulgita se presenta como masas verdosas plásticas pseudoesféricas, lentes o estrechos horizontales concordantes con la caliza, siendo de precipitación química por reducción de la solubilidad de Si^{4+} y Al^{3+} por Mg^{2+} en medio alcalino (pH 8-10). En la caliza inmediata abundan indicios de microfauna, cavidades con calcita acicular y geles anhidros, amorfos, silícicos, de índice 1.48-1.53, de precipitación y en los que posteriormente cristalizó la attapulgita, todo ello dentro de un ambiente de lagunas costeras con aguas recumbentes, de poca profundidad y abundante actividad biogénica.

Los estudios mineralógicos confirman la cristalización monoclinica de la attapulgita en una celda de dimensiones $b=17.95\text{A}$ y $a=12.86\text{A}$, presentándose sus distancias interplanares e intensidades. El análisis químico indica 54.50% SiO_2 , 11.48 Al_2O_3 , 10.55 MgO , 0.86 CaO , 0.31 FeO , 1.88 Fe_2O_3 , 0.37 TiO_2 , 9.00 H_2O^- y 10.95 H_2O^+ , lo que permite calcular la fórmula:



siendo las pérdidas por calentamiento a 80°, 200°, 400° y 700 de 9.00%, 2.39, 6.60 y 1.96 respectivamente. En absorción infrarroja se notan los estiramientos protón-oxígeno del agua estructural y zeolítica a 358 cm^{-1} y 3515 y, de los H-O de constitución, a 1640 cm^{-1} y 1440. La sustitución tetrahédrica $\text{Si}^{4+}/\text{Al}^{3+}$ y el aumento de la distancia (Si, Al) —0 se registran entre 1100 cm^{-1} y 900 y, la sustitución octahédrica de Al^{3+} por Mg^{2+} , y Fe^{3+} se confirma por absorciones intensas a 515 cm^{-1} , 490 y 445. Por microscopía electrónica se observa típica cristalización acicular en fibras de 0.5 a 1.0 micrones de sección y hasta 10 de largo, con terminación acicular.

INTRODUCCIÓN

La attapulgita o palygorskita es un mineral arcilloso, escaso, de valor económico y para el que no se tenían localizados yacimientos en México. Ello motivó el interés del autor que además aumentó durante 1969 al realizar algunas investigaciones sobre los colorantes usados por los antiguos mayas, particularmente el llamado "Azul Maya", un producto de intensa coloración azul resultante de la absorción de colorantes vegetales sobre attapulgita. Posteriormente, algunos datos reunidos sobre la cerámica de la zona de Yucatán, sugirieron que dicha arcilla pudiese estar entre sus ingredientes. A ello, se agregó el interés por estudiar la geología, mineralogía y génesis de las arcillas formadas en los sedimentos calcáreos de la Península de Yucatán.

El autor visitó Yucatán hacia 1971, particularmente la zona de Ticul, productora de cerámica artesanal de singular diseño. Recorrió los varios pequeños yacimientos en explotación, muestrándolos, así como las calizas y dolomitas en que se presenta la attapulgita, impresionándose por la excepcional pureza y calidad de la arcilla. Los resultados de sus estudios geológicos, petrológicos y mineralógicos se presentan a continuación.

OCURRENCIA

Localización

La attapulgita o palygorskita estudiada procede de las cercanías de Ticul, Estado de Yucatán, México. Ticul está situada a $89^{\circ}32'$ de longitud y $20^{\circ}24'$ de latitud, 80 km al sur de Mérida, la capital del Estado. Se llega siguiendo la carretera 66 de Mérida a Umán, al SO, continuando hacia el S por la estatal 3 a Muna y hacia Carrillo Puerto, al SE, por la 148, que cruza Ticul y el área de interés. También se comunica por ferrocarril con Mérida.

Excelentes ejemplares de attapulgita se colectaron en la Hacienda de Ocat, a 80 km de Ticul sobre la carretera a Muna, aproximadamente 500 m al NE de la entrada, en pequeñas y rudimentarias minas a las que se penetra

mostrándose por estrechos socavones. La arcilla se presenta como masas particulares o esféricas de hasta 3 m de sección, húmedas, sumamente plásticas, de color verde grisáceo. Otros ejemplares se obtuvieron 6 km al SE de Ticul sobre el camino a Chapa, donde se presenta como lentes o estrechos horizontales verdosos en calizas grisáceas cretosas.

Geología

La geología de la zona de Ticul ha sido descrita por Butterlin y Bonet (1962) como parte de su estudio geológico de Yucatán (Fig. 1). Dichos autores concluyen que la sierra de Ticul —o de Puc—, que limita al occidente el área de interés y atraviesa la Península en dirección ONN-ESE transversalmente a un drenaje SSO-NNE dominante, es el relieve más importante. Al N y S ocurren dolomitas. El pico más elevado es la montaña de Ticul, de 275 m de altura formada por una calcarenita rojiza de grano fino, con fragmentos de Rotalidae y Amphidora sp., facies de litorales marinos recumbentes, del Paleoceno Superior al Eoceno Medio. Un barreno dado en la zona (pozo Ticul 1 Petróleos Mexicanos) atravesó más de 2000 m de calizas y rocas salinas —anhidrita, yeso, halita. De aquí se sabe que los niveles calcáreos, conteniendo *Pythonella ovalis* y *Gumbelina*, se colocan en el Cretácico Superior descansando sobre un zócalo andesítico del Cretácico Inferior.

En su recorrido, el autor observó al E y SE de la Sierra de Ticul y en las cercanías de la población de igual nombre, una extensa área de sedimentos calcáreos y de dolomitas de grano fino, amarillentos, en los que la attapulgita se presenta como masas pseudoesféricas, lentes o estrechos horizontes en la caliza. Normalmente son de color verde grisáceas, sumamente plásticas cuando húmedas o compactas y relativamente duras cuando secas. Las dos localidades visitadas en la Hacienda de Ocat y sobre el camino a Chapa, ambas en explotación, separadas entre sí por unos 12 km en línea recta, son muy similares y sugieren una amplia distribución en extensión al menos, de la arcilla. La Sierra de Ticul es como ya se dijo el accidente más importante, formado por una calcarenita con abundante microfauna que confirma las facies de lagunas costeras.

Petrología

Los estudios de las muestras colectadas a lo largo del recorrido Muna-Ticul-Chapa indicaron, para la serranía de Ticul o de Puc, en la montaña de Ticul, una biocalcarenita de color marrón rojizo, de precipitación bioquímica y escaso transporte, con abundantes fragmentos de algas calcáreas

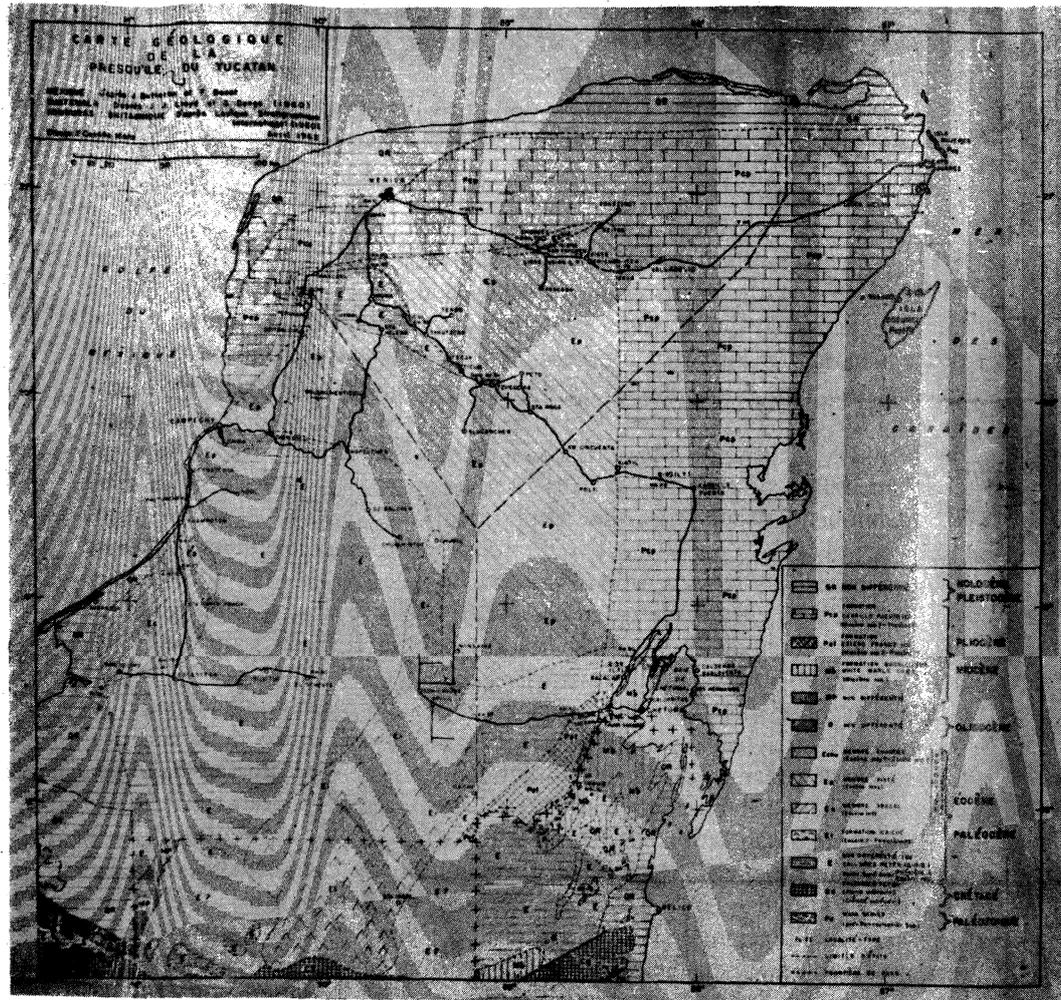


Figura 1. Mapa geológico de Yucatán, México, con parte de Guatemala y Honduras. (Butterlin y Bonet, 1962.)

rofocicas *Lithothamnium* sp., *Amphiroa* sp., *Archaeolithothamnium* sp., y restos de foraminíferos *Homotrema* sp. y *Rosalina* sp., en orientaciones diversas en una matriz afanítica de calcita con escasos fragmentos subedrales de cuarzo (Fig. 2). Esta microfauna no permite situar definitivamente a la Sierra de Ticul dentro de la columna estratigráfica, pero coincidiendo con Butterlin y Bonet (1962), se admite como correspondiente al Eoceno Medio o al Paleoceno Superior.

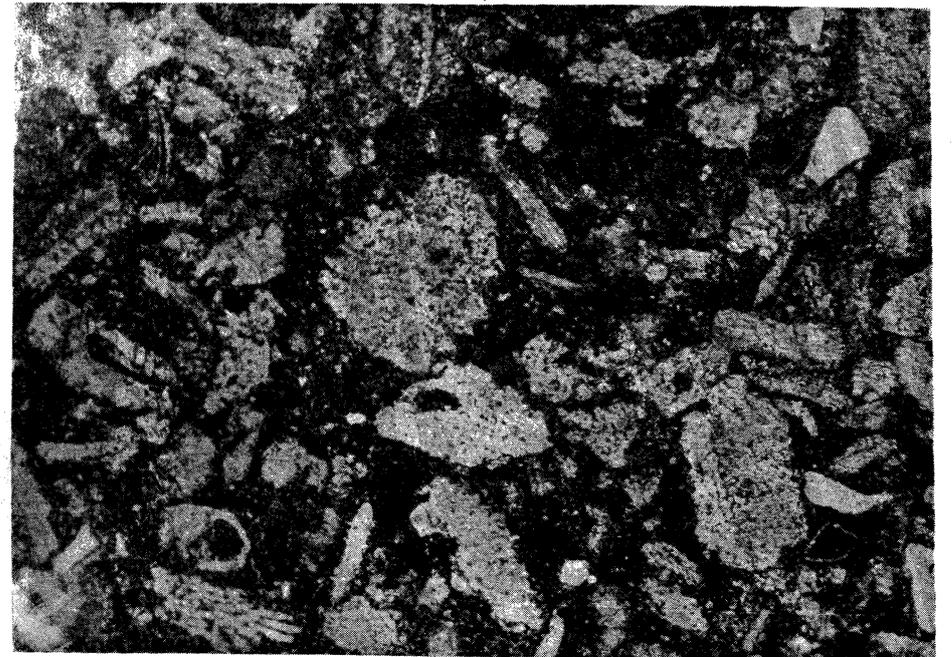


Figura 2. Microfotografía de la biocalcarenita de la Montaña de Ticul, Yucatán, conteniendo algas, foraminíferos y cuarzo escaso en matriz calcítica. Muestra 1. Luz polarizada, 77 x.

A la altura del km 16 de la carretera 148 de Muna a Ticul, sobre el lado derecho se presenta una sección de aproximadamente 3 m de altura por 10 de largo, que permite muestrear los sedimentos del valle de Ticul en contacto con la sierra de igual nombre. En la parte baja se notan dolomitas amarillentas de grano fino, pulverulentas, cretosas, de dolomitización de calizas de precipitación biogénica y química. Un metro arriba, con igual aspecto megascópico se presenta una caliza pulverulenta, cretosa, con abundantes cavidades conteniendo calcita acicular, fibrosa (Figs. 3, 4), posiblemente depositada como aragonita biogénica en aguas poco profundas, como sugiere alguna microfauna observada en dichas cavidades.

La naturaleza biogénica de las calizas en esta localidad, o al menos, su precipitación química íntimamente asociada a factores biológicos, es bastante evidente (Figs. 5, 6, 7). Más aún, los microorganismos removieron los sedimentos, y aunque pudiera pensarse en el carácter recumbente de las soluciones, también se atribuye a ellos la impresión de una precipitación inicial de calcita escasa en óxidos de hierro y materia orgánica, seguida de otra

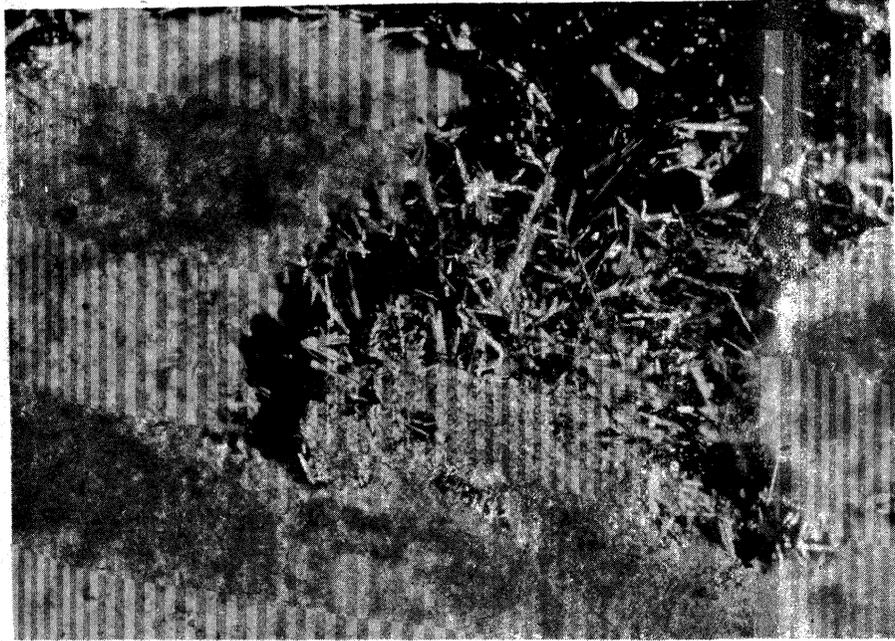


Figura 3. Microfotografía de cavidad conteniendo calcita acicular, en caliza de grano fino. Muestra 3, Luz polarizada, prismas cruzados, 307 x.



Figura 4. Microfotografía de agujas finas de calcita en cavidad. La caliza es de precipitación biogénica predominante. Muestra 3. Luz polarizada, prismas cruzados, 394 x.

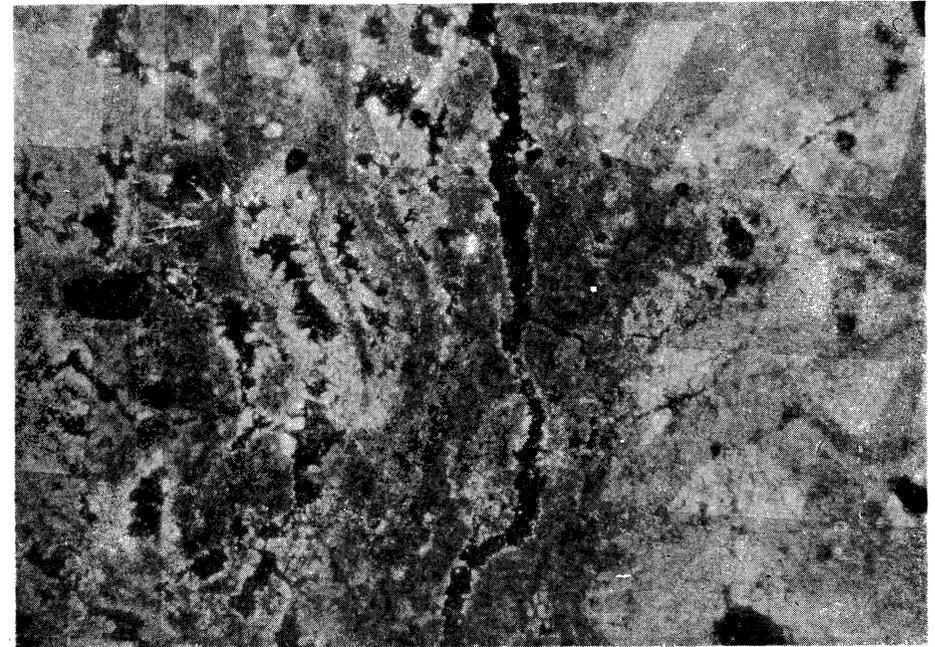


Figura 5. Microfotografía de calcita fina de precipitación biogénica y química, parcialmente dolomitizada. Muestra 5. Luz polarizada, prismas cruzados, 77 x.

alta en estos, mientras que, en otros casos, se tiene justamente la impresión contraria.

Con frecuencia se observan en la caliza masas de hasta 80 cm de diámetro, formadas por capas concéntricas de hasta 2 cm de espesor, de origen posiblemente biogénico, de dolomita cálcica microgranular afanítica. Los sedimentos en contacto en que descansa, van desde calizas cretosas de grano fino hasta dolomitas o tizas dolomíticas, pasando por los grados intermedios de caliza dolomítica o dolomita cálcica. Se presentan además escasos fragmentos eudrales o subdrales de cuarzo (Fig. 8).

Los análisis mineralógicos, que más adelante se presentan para muestras de esta sección, sugieren una mayor concentración magnésica o dolomítica en su parte inferior. Sin embargo, no siendo los datos muy definidos; se piensa que la dolomitización no siguió épocas u horizontes claros, sino que estuvo íntimamente asociada al carácter recumbente de las soluciones marinas y a la actividad de la microfauna sobre la aragonita o calcita preexistentes.

A escasamente 800 m de la sección anterior, en dirección NE, hacia el

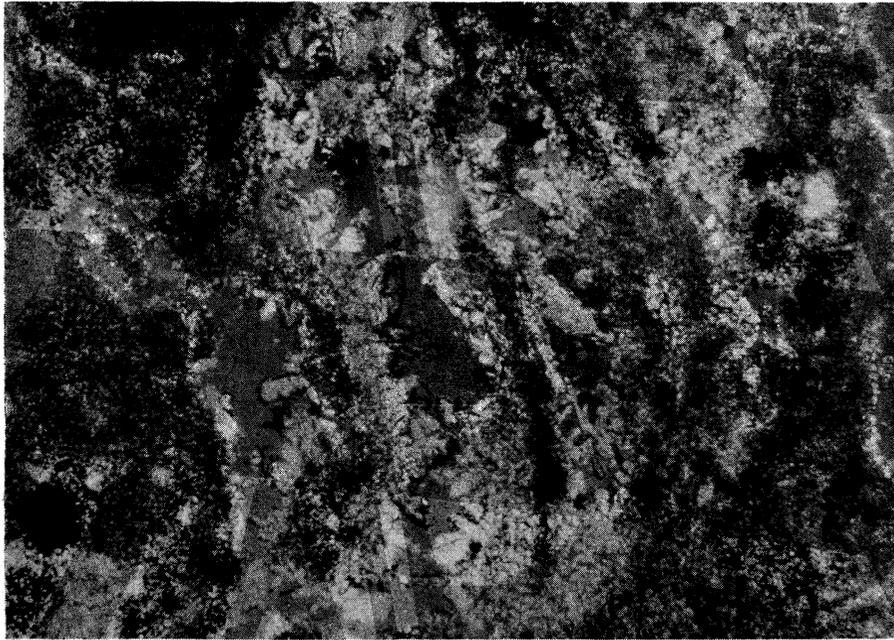


Figura 6. Microfotografía de calcita fina de precipitación biogénica y química, parcialmente dolomitizada. Cavidades con calcita acicular y microfauna. Muestra 5. Luz polarizada, prismas parcialmente cruzados, 195 x.

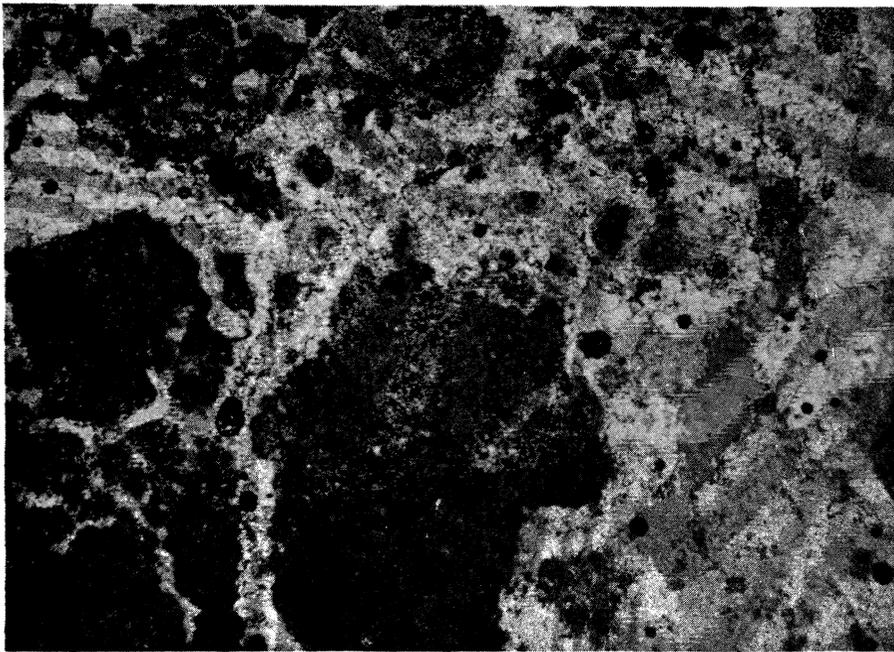


Figura 7. Microfotografía de calcita de precipitación biogénica y química parcialmente dolomitizada. Muestra 5. Luz polarizada, prismas parcialmente cruzados, 48 x.

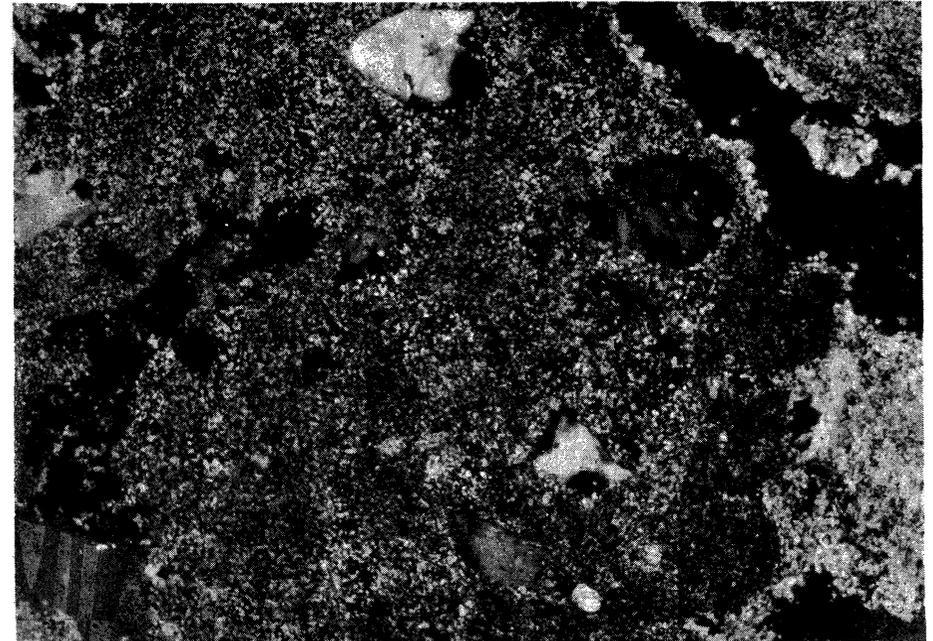


Figura 8. Microfotografía de calcita con cuarzo de precipitación biogénica y química, parcialmente dolomitizada. Muestra 5. Luz polarizada, 195 x.

valle de Ticul y alejándose de la Sierra de Puc, en los terrenos de la Hacienda de Ocat, se explota, por trabajos subterráneos rudimentarios, la attapulgita, la cual se presenta como masas esféricas, lentes o estrechos horizontes en caliza. Ésta, de grano fino, es comparable a la anterior, si bien ahora parece ser más evidente una precipitación (Figs. 9, 10) química inicial, seguida de una segunda mayor en óxidos de hierro y materia orgánica, posiblemente con mayor influencia biogénica. Las cavidades conteniendo calcita acicular son también comunes.

La caliza en contacto con la attapulgita es de grano fino, alta en fase orgánica, con algunos óxidos de hierro, escasos fragmentos eudrales y sub-edrales de cuarzo y pocas oolitas no muy bien formadas. Sin embargo, destaca en muestras de esta caliza la presencia de masas irregulares amorfas de bajo índice de refracción, no calcíticas, que parecen ser geles silícicos deshidratados o en proceso de ello (Fig. 11). Hay además pequeñas cavidades conteniendo cristales no calcíticos, aciculares, sedosos, blanco verdoso, de attapulgita (Fig. 12).

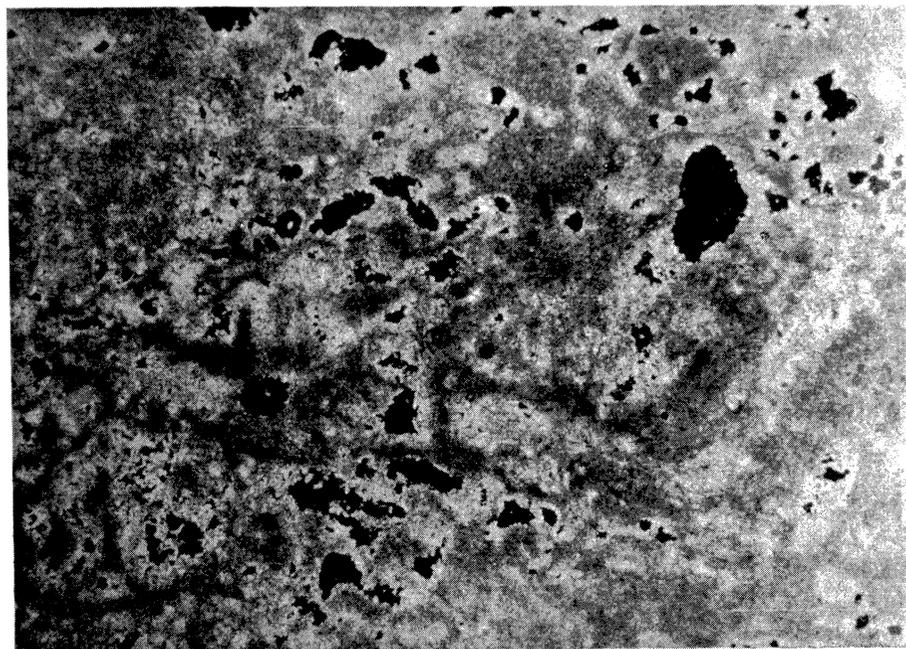


Figura 9. Microfotografía de caliza fina de origen biogénico y químico. Muestra 6. Luz polarizada, prismas cruzados, 121 x.

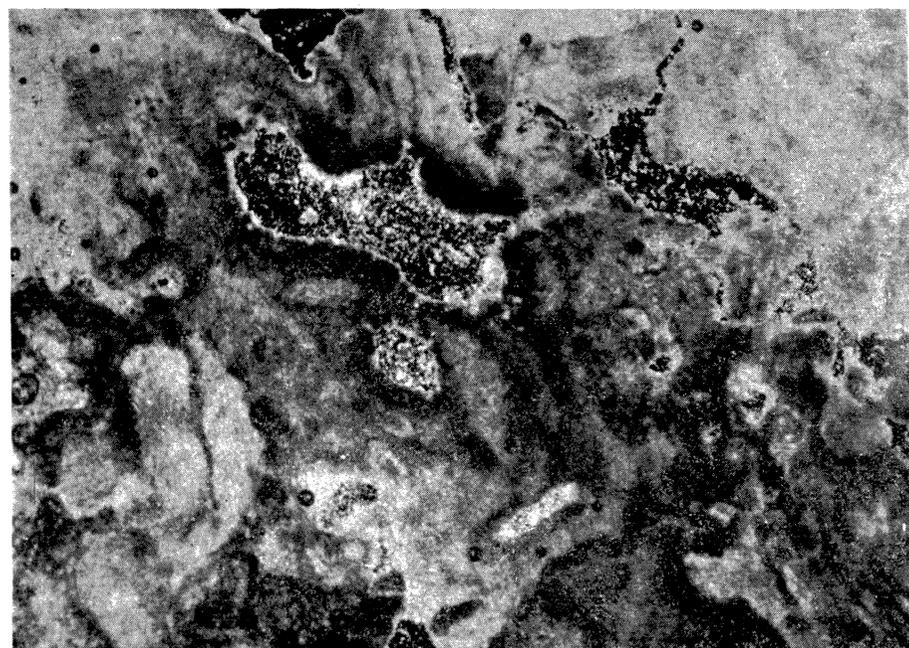


Figura 10. Microfotografía de caliza de grano fino de precipitación biogénica y química. Muestra 7. Luz polarizada, prismas cruzados, 48 x.

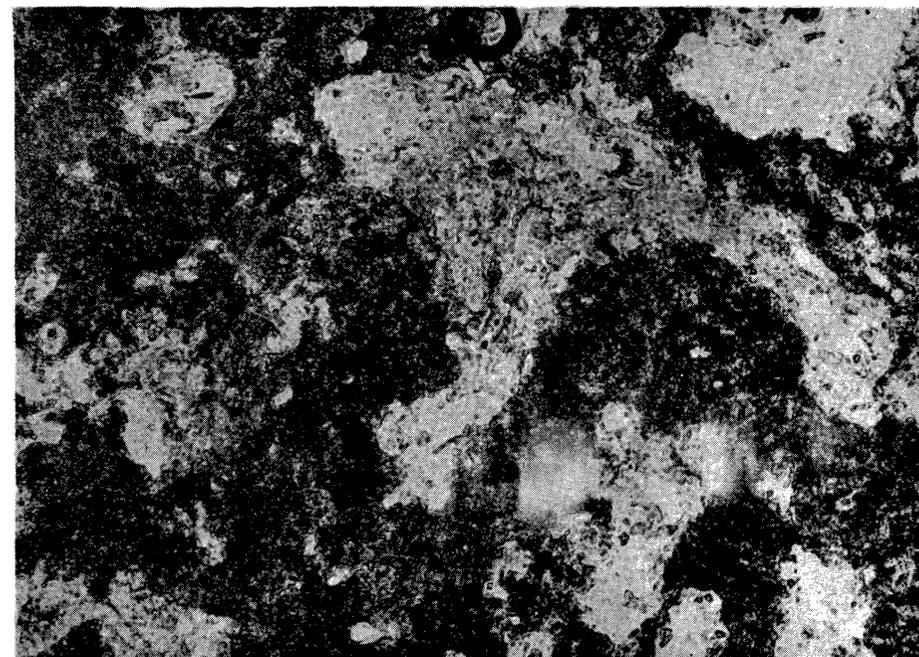


Figura 11. Microfotografía de caliza de precipitación biogénica y química, conteniendo escaso cuarzo y masas amorfas silícicas. Muestra 7. Luz polarizada, 194 x.

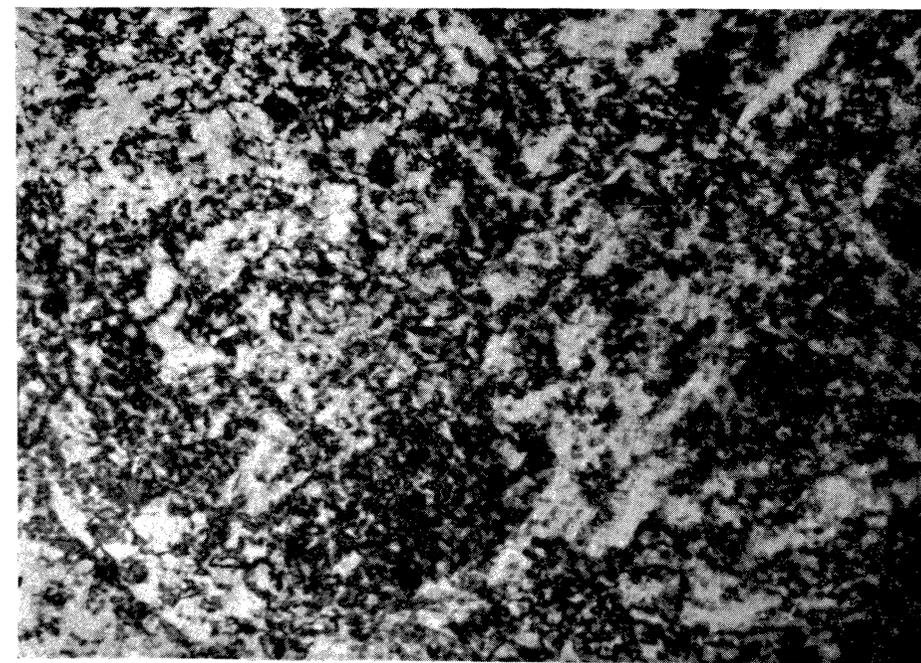


Figura 12. Microfotografía de attapulgita. Muestra 8. Luz polarizada, prismas cruzados, 155 x.

14 km al SE de la Hacienda de Ocat o 6 km 60° al SE de Ticul, sobre el camino de Chapa, se observan afloramientos de estrechos horizontes de attapulgita verdosa descansando en calizas magnésicas de grano fino, grisáceas y cretosas. La Fig. 13 muestra dicha attapulgita.

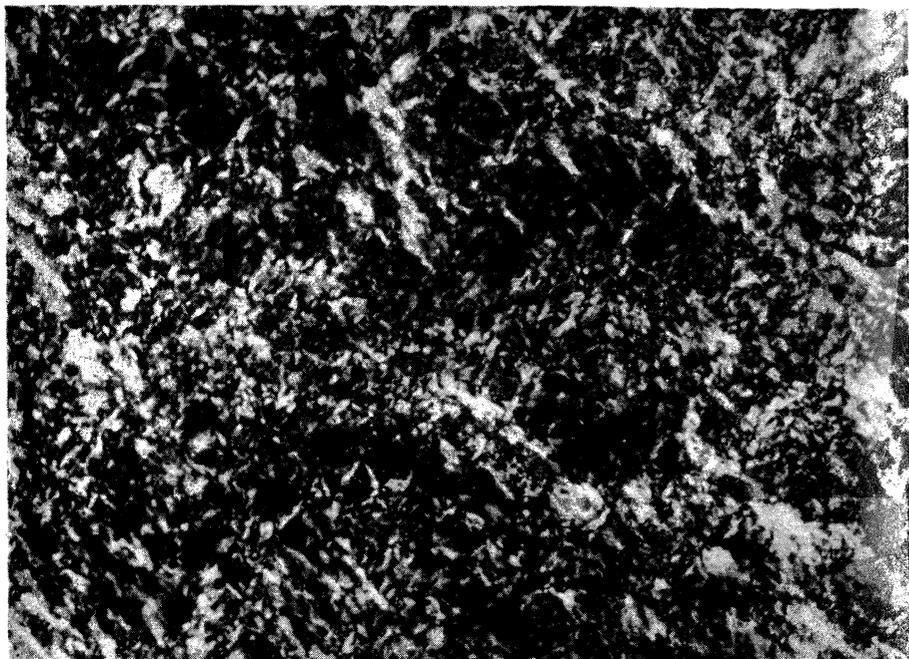


Figura 13. Microfotografía de attapulgita. Muestra 10. Luz polarizada, prismas cruzados. 490 x.

Paragénesis

Las observaciones de campo y los análisis mineralógicos que se presentan, sugieren que la attapulgita de Ticul es de precipitación química en medio marino recumbente, típico de lagunas costeras, acompañada de cristalización biogénica de aragonita y neoformación de calcita, dolomita y carbonatos intermedios, si bien se admite la posible cristalización química primaria de éstos.

Numerosos autores han reportado depósitos de igual naturaleza en las cuencas terciarias sedimentarias de África (Millot, 1964; Radier, 1957), en Sudán Oriental (Radier, 1953, 1957), Senegal (Capdecemme, 1952; Slansky,

1959), Marruecos (Lucas, 1962), Israel (Bentor, 1952; Yaalon, 1955), España (Huertas y otros, 1970) etcétera, donde suele presentarse asociada a calcita, dolomita, apatita (Capdecemme, 1952; Capdecemme y Kulbicki, 1954), ilita (Lucas, 1962) y silex (Bentor, 1952; Yaalon, 1955). Con menor frecuencia e importancia económica, se presenta también en ambientes lacustres continentales asociada a montmorrillonita y caolinita (Millot, 1964; Radier, 1953, 1957; Slansky, 1959).

Los análisis que más adelante se muestran indican que el mineral de Ticul contiene 62.54% SiO_2 , 11 Al_2O_3 y 10 MgO como componentes mayores. En un medio sedimentario marino, tal concentración de sílice tuvo que provenir de microorganismos. Krauskoff (1956, 1959) mantiene que, a pH alcalinos, se forma ácido monosilícico H_4SiO_4 soluble en concentraciones que van desde las 120 ppm (pH 9) hasta las 6000 (pH 11), polimerizándose el exceso. Por otra parte el aluminio permanece en solución como (H_2AlO_3) precipitándose hidróxidos en condiciones neutras a ligeramente ácidas y siendo su solubilidad comparable a la de la sílice, escasamente afectada por la salinidad. Okamoto y otros (1957) reportan que, pequeñas concentraciones de Al^{3+} , a pH de 8-9 pueden reducir la solubilidad del Si^{4+} a 15 ppm, mientras que Wey y Siffert (1961) indican que a pH de 11, la concentración se mantiene en 145 ppm SiO_2 en equilibrio 5:1 entre Si^{4+} y Al^{3+} . Si a soluciones de esta naturaleza se les agregan pequeñas concentraciones de Mg^{2+} en medio alcalino (pH 9), la solubilidad del ácido silícico se reduce a cero y ocurre la precipitación.

Es claro que, en el caso discutido, el radical silícico fue proporcionado por la microfauna evidente, tanto en los sedimentos como en la Sierra de Ticul. La abundancia errática de dolomitas y calizas dolomíticas confirma la presencia de concentraciones anómalas e igualmente distribuidas erráticamente, de iones magnesio que redujeron la solubilidad de Si^{4+} y Al^{3+} , causando la precipitación de geles de silico aluminatos magnésicos y su subsecuente cristalización a attapulgita.

PROPIEDADES

Difracción de rayos X

Registros de difracción de rayos X de las attapulgitas muestreadas en la Hacienda de Ocat y sobre el camino Ticul-Chapa, se obtuvieron en un difractor Philips, radiación filtrada Cuka, ángulos de Bragg de 3° a 65, registro continuo a 20 de 2°/min. Los resultados de distancias interplanares e intensidades, iguales para ambas muestras, se presentan en la Tabla I.

TABLA I

DATOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X
PARA ATTAPULGITA DE TICUL, YUCATÁN

1 *			2 *				3 *	
d	I	hkl	d	I _{calc}	d _{obs}	I _{obs}	d	I
10.39	10	110	10.48	330	10.30	10	10.20	12
7.55	1							
6.45								
6.27	2	200	6.45	17	6.44	6	6.44	2
6.02	1							
5.82	1							
5.37	2	130	5.44	12	5.42	5	5.30	2
5.15	1							
4.89	1							
4.61	1							
4.48	2	040	4.50	66	4.49	8	4.30	10
4.26	1							
4.12	1	310	4.18	13	4.18	3		
4.00	1							
3.65	1	240	3.69	18	3.69	5		
		330	3.49	12	3.50	3		
		150	3.47	2				
3.29	1							
3.20	2	400	3.23	120	3.23	10	3.25	10
3.19	3							
3.13	1							
		420	3.04	3	3.03	1		
2.92	1							
2.82	1							
2.71	1	350	2.76	2				
2.59	1	510	2.56	8	2.55	3	2.55	10
2.56								
2.54								
2.53	1							
2.50	1							
		530	2.38	5	2.38	3		
2.24								
2.22	1	080	2.25	1			2.25	4
2.19	1							
2.14	1	600	2.15	15	2.15	5		
2.13	1							
2.12	1							

2.10	1	550			2.10	1		
1.91	1							
1.89	1							
1.85	1	480			1.84	1		
1.81	1	390	1.81	3	1.82	1	1.80	2
1.80	1							
1.78	1							
1.77								
1.76	1	660	1.75	1				
1.72	1							
1.70	1							
1.66	1							
1.65	1							
1.64	1	800	1.61	3	1.62	1	1.67	2
1.59	1							
1.57	1	680	1.55	17	1.56	3		
1.47	1	0,12,0	1.50	40	1.50	5	1.49	4

- * 1. Attapulgita de la Hacienda de Ocat, Ticul, Yucatán.
- 2. Bradley (1940). Arcilla de Attapulgus, Georgia.
- 3. De Lapparent (1938). Arcilla de Attapulgus, Georgia.

comparándolos con los de Lapparent (1938) y Bradley (1940) para la arcilla de Attapulgus, Georgia, Estados Unidos. El difractograma se ilustra en la Fig. 14. Con variaciones menores, coinciden las tres series de datos en

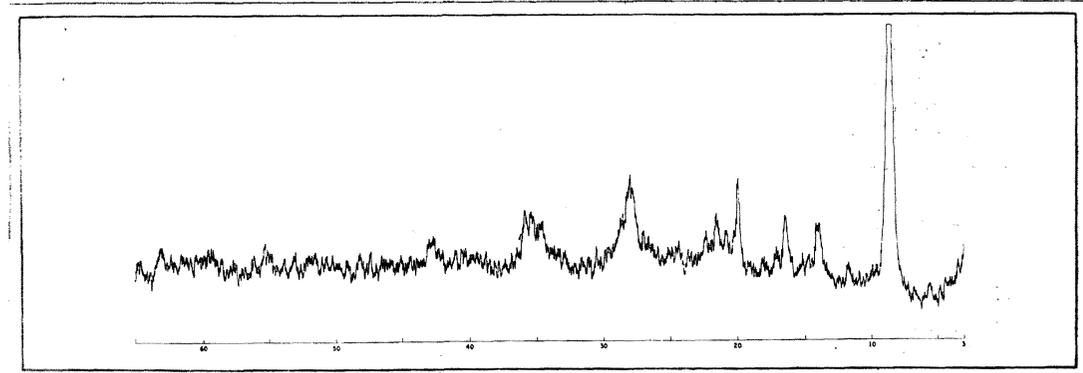


Figura 14. Difractograma de attapulgita de la Hacienda de Ocat, Ticul, Yucatán, Radiación filtrada Cok.

las distancias interplanares, mas no tanto en las intensidades. Bradley (1940) reporta para la attapulgita una celda monoclinica de simetría C 2/m, con asen $\beta = 12.9A$, $b = 18A$ y $c = 5.3A$, paralelo al eje de la fibra, comparables

a los valores de $a = 12.86A$ y $b = 17.95A$ calculados para el mineral de Ticul.

Composición química y fórmula estructural

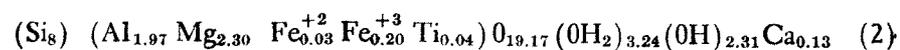
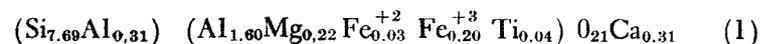
Los análisis químicos de las dos muestras de referencia se presentan en la Tabla II. De ellos, y admitiendo (1) una estructura aniónica de silicato

Tabla II

ANÁLISIS QUÍMICO DE ATTAPULGITA DE TICUL, YUCATÁN

6 km al SE de Ticul, carretera Ticul Chapa, Yucatán			Hacienda de Ocat, Ticul, Yucatán	
SiO ₂	%	52.68	52.46	54.50
Al ₂ O ₃		11.08	11.24	11.48
MgO		10.23	10.46	10.55
CaO		0.84	1.24	0.86
FeO		0.28	0.42	0.31
Fe ₂ O ₃		1.80	1.52	1.88
TiO ₂		0.37	0.28	0.37
H ₂ O ⁻		8.70	8.74	9.00
H ₂ O ⁺		10.44	13.34	10.95
Pérdida a 80°		8.70	8.74	9.00
Pérdida a 200°		2.24	2.19	2.39
Pérdida a 400°		6.31	8.74	6.60
Pérdida a 700°		1.89	2.21	1.96

conteniendo 21 oxígenos u $O_{20}(OH)_2 (H_2O)_4$ (de Lapparent, 1938; Brandley, 1940; Caillere y Henin, 1961; Imai y otros, 1969), (2) sustitución tetraédrica del tipo $Si^{+4(IV)}/Al^{+3(IV)}$ y (3) sustitución octaédrica $Al^{+3(IV)}/(Mg^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Ti^{+4})^{(IV)}$, se calculan las fórmulas estructurales (1) y (2), equivalentes entre sí. Demuestran una amplia sustitución octaédrica.



Absorción infrarroja

El registro de absorción de infrarrojo se ilustra en la Fig. 15 y su interpretación, según los modelos de Stubican y Roy (1961, 1961a), en la Tabla III. A frecuencias de 3500 cm^{-1} , normalmente atribuidas al estiramiento protón-oxígeno, se identifican máximos a 3580 cm^{-1} y 3515 de agua estructural, y a 3555 cm^{-1} , zeolítica. Doblado de los HO— de constitución se registra a 1640 cm^{-1} y 1440 .

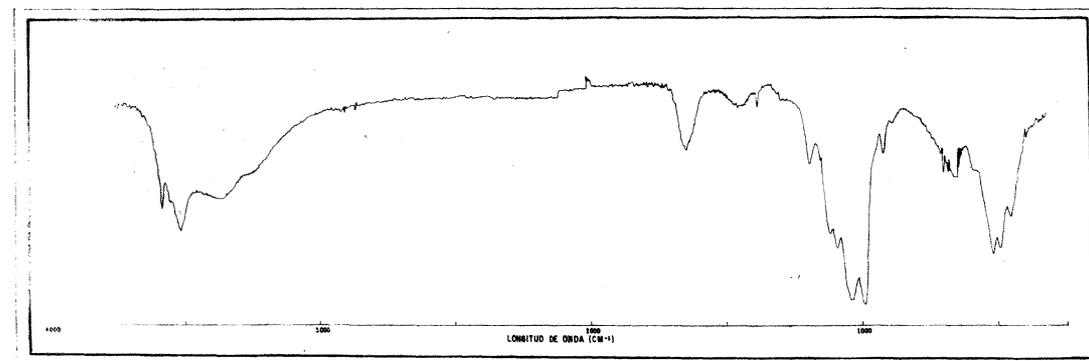


Figura 15. Registro de absorción infrarroja de la attapulgita de la Hacienda de Ocat, Ticul, Yucatán.

El alargamiento de la unión Si-O se nota entre 1100 cm^{-1} y 900 , con desplazamiento de los máximos hacia frecuencias menores por sustitución tetraédrica Si^{+4}/Al^{+3} , aumento de la distancia (Si, Al)-O y del carácter iónico de la unión. Los máximos reportados en la Tabla III se estima están, además, asociados a efectos de los cationes octaédricos.

Una absorción de mediana intensidad ocurre a 650 cm^{-1} y se atribuye a la unión Si-O desplazada de su valor común de 668 cm^{-1} por la sustitución tetraédrica. Otras absorciones intensas a 515 cm^{-1} , 490 y 445 confirman sustitución octaédrica de $Al^{+3(VI)}$ por Mg^{+2} , Fe^{+2} y Fe^{+3} , con incremento de la longitud de la unión Si-O^{VI} y de su carácter iónico. La banda de 445 cm^{-1} puede atribuirse a Si-O de tectosilicatos.

Microscopía electrónica

Las micrografías electrónicas de la attapulgita de Ticul se presentan en la Fig. 16, obtenidas en un microscopio Philips EM100 operado a 60.000 volts

TABLA III

DATOS DE ABSORCIÓN INFRARROJA DE LA ATTAPULGITA
DE LA HACIENDA DE OCAT, TICUL, YUCATÁN

Frecuencia (cm^{-1})	Intensidad	Moda
3580		estructural
3555		zeolítico
3515	MI	H-O estructural
3370		
3235		
1640	M	
1440	MD	H-O constitución
1190		Si-O
1120		Si-O-Al
1090	I	Si-O Si-O-Mg
1040		Si-O-Fe ³⁺
990		Si-O-Fe ²⁺
915	MD	H-O-Al
650	M	Si-O
575		Si-OAl ^(VI)
515	I	Si-O Si-O-Mg ^(VI)
490		Si-O-Fe ^{3(VI)}
445		Si-O-Fe ^{2(VI)}

y aumentos superiores a los 25.000 diámetros. Los ejemplares se prepararon por dispersión ultrasónica en agua destilada, en tiempos no mayores de 4 min no recomendándose agitaciones más enérgicas, por ocurrir disolución de los cristales y formación de geles. La suspensión se depositó sobre colodión en rejillas de cobre. La micrografía muestra cristales aciculares, fibrosos, curvos a rectos, de 0.5 a 1.0 micrones de sección transversal y largos de hasta 10 micrones. No parecen ser cilíndricos huecos, sino más bien sólidos con terminaciones en punta. Los espectros de difracción electrónica no fue posible obtenerlos, dado el fino tamaño de los cristales y los consiguientes efectos de difracción interna.

Recientemente, Bohor y Hughes (1971) examinaron por microscopía electrónica de barrido el mismo mineral, reportando cristallitos aciculares doblados longitudinalmente, con un extremo libre, compactados en masas que recuerdan bolas de hilo, coincidiendo en ello con lo observado por el autor. Tales masas pueden desintegrarse por dispersión apropiada.



Figura 16. Microfotografía electrónica de la attapulgita de la Hacienda de Okat, Ticul, Yucatán. 27 200 x.

BIBLIOGRAFÍA

- BENTOR, Y. K. (1952). Relations entre la technique et les depots de phosphate dans le Neguev israelien. XIX Congr. Intern. Geol. Algiers, fasc. 9, pp. 93-102.
- BOHOR, B. F. y HUGHES, R. E. (1971). Scanning electron microscopy of clays and clay minerals. *Clays and Clay Minerals* 19, 49-54.
- BUTTERLIN, J. y BONET, F. (1962). Las formaciones cenozoicas de la parte mexicana de la península de Yucatán. Su contribución al conocimiento de la paleografía durante el Paleoceno, de la margen del Golfo de México. Instituto de Geología, Univ. Nac. de México. Comunicación interna.
- BRADLEY, W. F. (1940). Structure of Attapulgite. *Amer. Min.* 25, 405-410.
- CAILLERE, S. y HENIN, S. (1961). Palygorskite. The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. Ed. G. Brown. Mineralogical Society, London. Cap. IX, pp. 343-352.

- CAPDECOMME, L. (1952). Sur les phosphates alumineux de la région de Thies, Senegal. C. R. Acad. Sci. Fr. 235, 187.
- CAPDECOMME, L. y KULBRICKL, G. (1954). Argilles des gites phosphates de la région de Thies, Senegal, Bull. Soc. Fr. Min. Crist. 77, 500-518.
- DE LAPPARENT, J. (1935). Attapulгите. C. R. Acad. Sci. Paris 201, 481-483.
- HUERTAS, F., LINARES, J., MARTIN-VIVALDE, J. L. (1970). Clays Minerals geochemistry in basic sedimentary environments. Anales Reunión Hispano Belga de Minerales de la Arcilla. Con. Sup. Inv. Científicas, Madrid, pp. 211-214.
- IMAI, N., OTSUKA, R., KASHIDE, H. y HAYASHI, H. (1969). Dehydration of palygorskite and sepiolite from the Kuzum district. Tohigi Pref. Central Japan. Proc. Int. Clay Conf. Israel Univ. Press, Jerusalem, vol. 1, pp. 99-108.
- KRAUSKOFF, K. B. (1956). Dissolution and precipitation of silica at low temperatures, Geochim. Cosmochim. Acta 10, 1-27.
- KRAUSKOFF, K. B. (1959). The geochemistry of silica in sedimentary environments, Soc. Econ. Pal. Min. Sp. Publ. 7, 4-19.
- LUCAS, J. (1962). La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Études sur les argiles du trias. Mem. Serv. Geol. Als. Lor 23, 202 p.
- MILLOT, G. (1964). Géologie des argiles. Masson et Cie. Ed. Paris, France, pp. 32-37.
- OKAMOTO, G., OKURA, T., GOTO, F. (1957). Properties of silica in water, Geochim. Gosmochim. Acta 12, 123-132.
- RADIER, H. (1953). Contribution a L'étude stratigraphique et structurale du detroit Saudanais. Bull. Soc. Geol. Fr. 3, pp. 677-695.
- RADIER, H. (1957). Le Precambrien Saherien au Sand de l'Adran des Iforas. Le bassin cretace et terciaré de gas. These Sc. Strasburg et Bull. Serv. Geolog. Prosp. Min. AOF. 26, 556.
- SLANKY, M. (1959). Contribution a l'étude géologique du bassin sédimentaire cotier du D'ahomey et du Togo. These Sci. Nancy, p. 355.
- STUBICAN, V. y ROY, R. (1961). Infrared spectra of layer structure silicates. Jour. Am. Cer. Soc. 44 (12), 625-27.
- STUBICAN, V. y ROY, R. (1961a). Isomorphous substitution and infrared spectra of the layer lattice silicates. Am. Mineralogist 46, 32-51.

- WEY, R. y SIFFERT, B. (1961). Reactions de la silice monomeculaire en solution avec les ions Al^{3+} et Mg^{2+} Genèse et synthèse des argiles. Col. Intern. C. R. N. S. 105, 11-23.
- YAALON (1955). Clays and some non-carbonate minerals in limestones and associated soils of Israel. Bull. Res. Council Israel, 5B, 2, B, 161-173.

APÉNDICE I

ESTUDIOS MINERALÓGICOS

químicos, difracción de rayos X y petrográficos

Muestra	Procedencia. Análisis
1	<p>Cerro de Ticul o de Puc, sobre el lado sur del km 16 de la carretera 148 de Muna a Ticul, frente a la Hacienda de Ocat, municipio de Ticul, Yucatán.</p> <p>Caliza fosilífera dura, compacta, color marrón rojizo. Fragmentos de algas calcáreas rodofíceas <i>Lithothammium</i> sp., <i>Amphiroa</i> sp., <i>Archacolithothammium</i> sp. y restos de foraminíferos <i>Homotrema</i> sp. y <i>Rosalina</i> sp., en orientaciones diversas, en matriz afanítica de calcita. Escasos fragmentos subedrales de cuarzo y escasas oolitas (Fig. 2). Origen sedimentario marino, con precipitación biogénica y escaso transporte. Biocalcarenita.</p>
2	<p>Sección sobre el lado sur del km 16 de la carretera 148 de Muna a Ticul, en los sedimentos en contacto con el cerro de Ticul. Parte baja de la sección.</p> <p>Dolomita amarillenta, pulverulenta, cretosa, microgranular, afanítica. Origen sedimentario marino, por dolomitización de calizas de precipitación bioquímica o química. Tiza dolomítica. Dolomita. 30.9% CaO, 19.73 MgO, 45.93 CO₂.</p>
3	<p>Igual localidad. 1 m arriba de la anterior.</p> <p>Caliza amarillenta, microgranular, cretosa. Calcita microgranular, afanítica, con cementante calcítico. Abundantes cavidades con calcita acicular prismática (Figs. 3, 4). Origen sedimentario marino, con precipitación biogénica de aragonita o calcita y escaso transporte. Caliza. Calcita. 53.35% CaO, 0.70 MgO, 43.20 CO₂.</p>
4	<p>Igual localización, junto a la muestra 3.</p> <p>Conglomerado con capas concéntricas de 2 cm de espesor, amarillento, pulverulento, algo compactado. Dolomita cálcica microgranular, afanítica, con cementante calcítico. Origen sedimentario marino, con dolomitización de calcita o aragonita biogénica y química. Dolomita cálcica de grano fino. Dolomita, calcita, 32.14% CaO, 17.96 MgO, 45.12 CO₂.</p>

- 5 Igual procedencia. Parte alta de la sección, 3 m arriba de la muestra 1. Caliza amarillenta, pulverulenta, cretosa.
Calcita microgranular, afanítica, con cementante calcítico. Abundantes cavidades con calcita acicular y escasos restos de microfauna. Escasos fenocristales subangulares de cuarzo. Dos posibles cristalizaciones, la primera de origen biogénico, con bajas limonita y hematita; la segunda, sin éstos y parcialmente dolomitizada (Figs. 5, 6, 7, 8). Origen sedimentario marino, con precipitación biogénica y dolomitización de calcita.
Caliza dolomítica.
Calcita, dolomita. 46.19% CaO, 5.70 MgO, 42.57 CO₂.
- 6 500 m al norte de la entrada a la Hacienda de Ocat, 8 km al NO de Ticul, sobre el camino Ticul-Muna. Caliza en la que se presenta la arcilla, llamada "Jarapacho" por los naturales.
Caliza rojiza a amarillenta poco compacta, pulverulenta y cretosa cuando seca, en la que se presentan estrechos horizontes o lentes de attapulgita.
Calcita microgranular, afanítica, con cementante calcítico, limonita y escasos cristales subedrales de cuarzo. Abundantes cavidades con algo de calcita acicular. Dos posibles épocas de cristalización biogénica, la segunda más alta en óxidos (Fig. 9).
Origen sedimentario marino, con precipitación biogénica.
Caliza.
Calcita. 52.57% CaO, 0.31 MgO, 41.72 CO₂.
- 7 Igual localización. Caliza en contacto con attapulgita.
Caliza amarillenta, pulverulenta y deleznable cuando seca. Calcita microgranular, afanítica, con cementante calcítico y abundantes cavidades con calcita acicular. Dos posibles épocas de cristalización, la segunda más alta en limonita. Masas amorfas, vítreas, de índice de refracción 1.48-1.53, de composición posiblemente silicosa. Algunas oolitas y cristales subedrales de cuarzo (Figs. 10 y 11). Origen sedimentario marino, con precipitación biogénica y química.
Caliza.
- 8 Igual localidad. Arcilla o "sacalum".
Arcilla verde grisáceo, húmeda, plástica, que se presenta como masas pseudoesféricas o lentes de hasta 3 m de diámetro en calizas.
Origen sedimentario marino (Fig. 12).
Attapulgita.
Attapulgita. 52.46% SiO₂, 11.24 Al₂O₃, 10.46 MgO, 1.24 CaO, 0.42 FeO, 1.52 Fe₂O₃, 0.28 TiO₂, 8.64 H₂O—, 13.34 H₂O+, 8.74 pérdida por secado a 80°, 2.19 pérdida a 200°, 8.74 a 400° y 2.21 pérdida a 700°.
- 9 6 km 60° al SE de Ticul, sobre el camino de Ticul a Chapa, 10 m al Sur del camino, a 1 m de profundidad.

Caliza grisácea, pulverulenta cretosa.

Calcita microgranular, afanítica, con abundantes cavidades conteniendo unas, calcita acicular y otras, attapulgita. Escasa dolomitización.

Origen sedimentario marino.

Caliza, dolomita escasa. 49.32% CaO, 1.97 MgO, 41.13 CO₂.

10

Igual localidad. Arcilla o "sacalum".

Arcilla verde, plástica, en masas lenticulares o estrechos horizontales en calizas grisáceas pulverulentas cretosas (Fig. 13).

Origen sedimentario marino.

Attapulgita.

Attapulgita. 52.68%, SiO₂, 11.08 Al₂O₃, 10.23 MgO, 0.84 CaO, 0.28 FeO, 1.80 Fe₂O₃, 0.37 TiO₂, 8.70 H₂O⁻, 10.44 H₂O⁺, 8.70 pérdida a 80°, 2.24 a 200°, 6.31 a 400° y 1.89 a 700°.

CALCULO CRISTALOGRAFICO. CALCULO ELECTRONICO

Prog. 140

Análisis de los reflejos de un roentgenograma
y determinación de su grupo espacial

*Francisco José FABREGAT GUINCHARD **

* Investigador Titular en el Instituto de Geología, UNAM.
México 20, D. F.