

Petrografía, geoquímica, cristalochímica y características de los fluidos asociados a una sección del metamórfico aflorante en Tierra Caliente, Estados de México, Guerrero y Michoacán

Eduardo González Partida

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Departamento de Geotermia, Cuernavaca, Mor., México.

Recibido: 8 de febrero, 1990. Aceptado: 5 de marzo, 1992.

RESUMEN

Con base en datos petrográficos, geoquímicos, cristalochímicos y de inclusiones fluidas se describen las características del metamórfico de Tierra Caliente, el cual corresponde inicialmente a sedimentos arcillosos del tipo Illite, manifestando una sedimentación madura. Su transformación a dos micas (biotita + muscovita) define un metamorfismo epizonal. A partir de los estudios cristalochímicos y de inclusiones fluidas, las condiciones termobarométricas de formación van de 300°C a 470°C y 2.5 Kb a 4 Kb; los fluidos carbónicos complejos fueron originalmente materia orgánica dispersa en la fracción arcillosa.

PALABRAS CLAVE: Petrografía, geoquímica, cristalochímica, inclusiones fluidas, metamorfismo, Complejo Tierra Caliente.

ABSTRACT

The metamorphic sequence of Tierra Caliente is discussed with respect to petrographic, geochemical, crystallochemical and fluid inclusion data. These rocks originated from illite clay sediments and show a mature sedimentation. Their transformation to biotite and muscovite suggests an epizonal metamorphism. This is confirmed by the crystallochemical and fluid inclusion data. The temperature ranges from 300° to 470°C and the pressures range from 2.5 to 4 Kbar; the composition of the carbonic fluid inclusions suggests that they originated from dispersed organic material in the clay fraction.

KEY WORDS: Petrographic, geochemistry, crystallochemistry, fluid inclusions, metamorphism, Tierra Caliente Complex.

INTRODUCCION

En la región denominada Tierra Caliente aflora una secuencia de esquistos pelíticos a la que Cserna y Fries (1981) llamaron Metamórfico Paleozoico (MP), al describir la geología de la hoja Taxco (Figuras 1 y 2).

La secuencia aflora de la base a la cima únicamente entre el arroyo El Ahogado al Cerro de la Pila en la rancharía de Tizapa, Estado de México. Aquí la unidad descansa discordantemente sobre un augen gneiss (Tizapa) y está cubierta por discordancia con rocas metavolcánicas (Roca Verde Taxco Viejo: RVTV). A estas unidades junto con un volcanismo cretácico (VC) sobreyacente Campa (1974; 1978) las reúne en una sola unidad asignándoles una edad Jurásico-Cretácica, sin considerar los grados de metamorfismo y alteración que las distingue (González y Torres, 1988). Mientras las unidades inferiores (MP y RVTV) alcanzan el grado de metamorfismo de facies esquistos verdes, la superior (VC) sólo muestra fenómenos de espilitización (ver placa fotográfica). En este estudio sólo se incluyen las rocas evidentemente metamórficas. El corte esquemático de la Figura 3 señala la localización del muestreo realizado.

ANALISIS PETROGRAFICO

En la parte inferior de la serie metamórfica predomina cuarzo, biotita, muscovita, microclima y albita; estos minerales están acompañados de leucóxenos y turmalina detrítica. La base de la unidad pertenece a la facies esquistos verdes, subfacies de biotita, clase cuarzo-feldespática. De una manera general, la serie se caracteriza por la asociación cuarzo-biotita-muscovita.

La biotita por lo general está parcialmente cloritizada y transformada a óxido de hierro y titanio (leucóxeno de anatasa-brouquita). El cuarzo se intercala rítmicamente entre las micas y el de segregación contiene finas inclusiones sólidas de calcita de 5 a 10 micras y es rico en inclusiones fluidas carbónicas. La muscovita es sana y se encuentra deformada manifestando tres fases de deformación (ver placa fotográfica). El paquete principal pertenece a la clase pelítica (Winkles, 1976).

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS MAYORES

En la Tabla 1 se presentan los resultados de análisis químicos efectuados en las rocas previamente estudiadas por petrografía. La tendencia geoquímica de una roca meta-

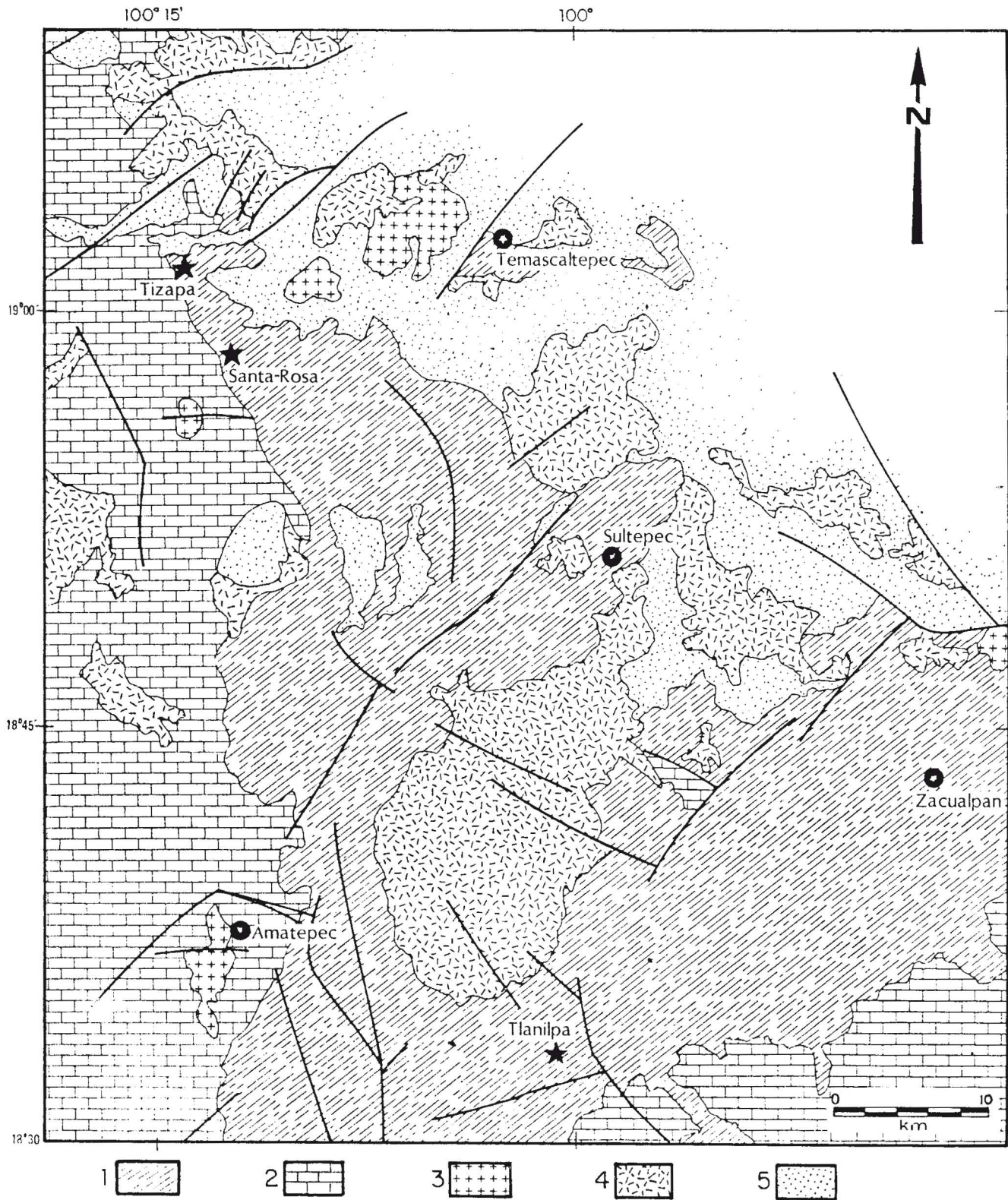
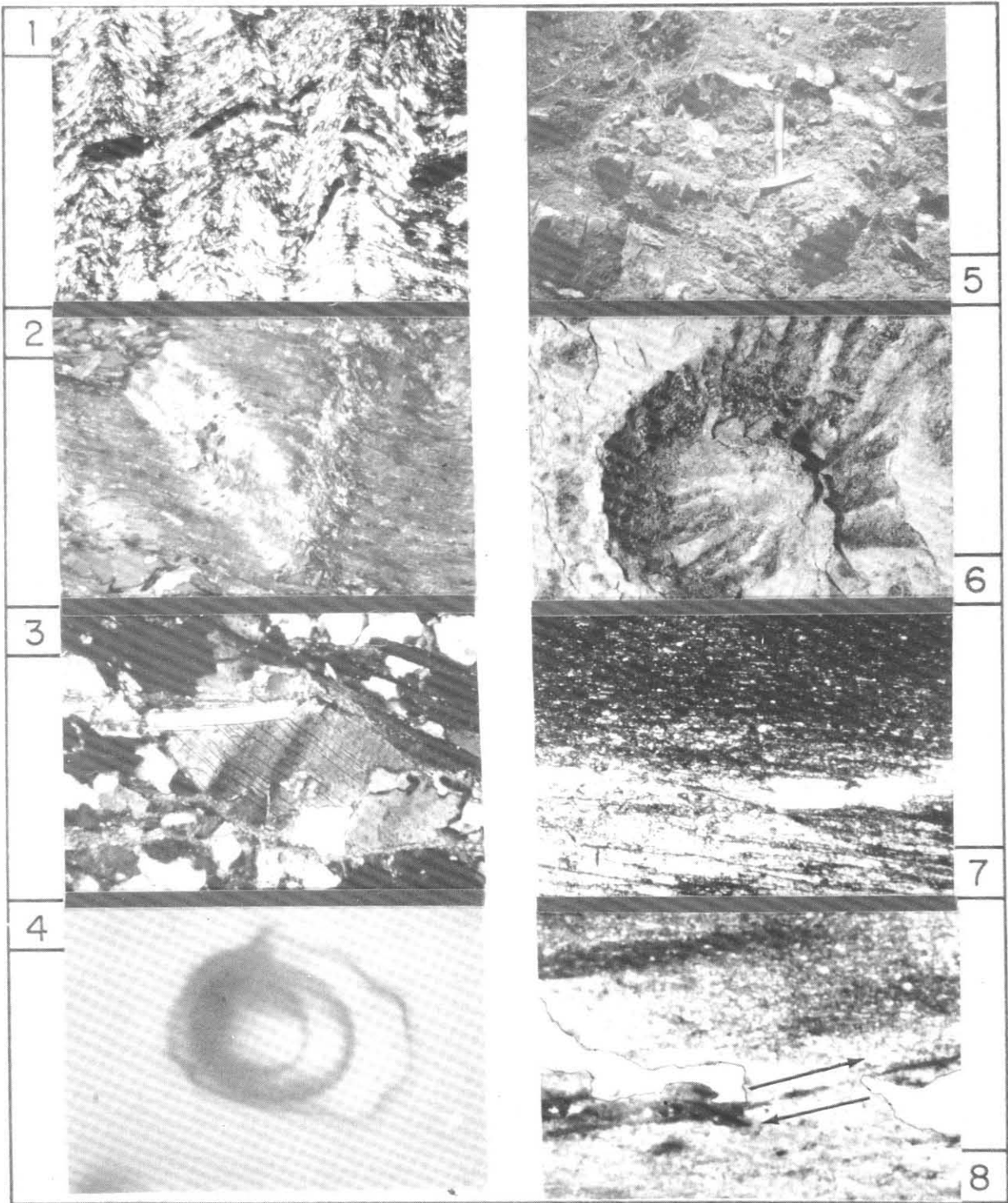


Fig. 1. Esquema geológico general de Tierra Caliente. 1. Esquistos Paleozoicos, 2. Calizas secuencia volcanosedimentaria Cretácica, 3. Granitos terciarios, 4. Andesitas-riolitas terciarios, 5. Volcanismo Pliocuatnario



Placa fotográfica: 1). Esquistosidad de flujo S_1 - S_2 acompañada de la formación de "Kink-bands" (ob x 50), 2). Intersección de dos "Kink-bands" mostrando un pliegue conjugado (plano axial conjugado) obj. x 100, 3). Muscovita microplegadas obj. x 100, 4). Inclusión fluida compleja que muestra la fase CO_2 líquido + vapor más una fase líquida, tamaño de 25 micrones. Las fotos 1 a 4 corresponden al metapelítico Paleozoico, 5). Detalle de un "pillow" en la localidad de Ocurio, Mich.; hacia el centro se encuentra un corazón de vidrio, nótese que la roca no está deformada, 6). Amonita del Cretácico interior descrito por Campa *et al.*, (1978), muestra tomada sobre los afloramientos arcillo-carbonatados de la localidad fosilífera, carretera Teloloapan-Arcelia Gro., 7). Detalle al microscopio (obx10) a partir de la muestra presentada en la foto 6; obsérvese la sedimentación acillosa (oscuro) con calcita (claro). Los sedimentos no presentan metamorfismo, 8). Detalle al microscopio (ob x 20) de la foto 6; los microdesprendimientos señalados por flechas, están directamente relacionados a las fuerzas tangenciales de la cabalgadura de Arcelia, Gro. (fase Laramídica).

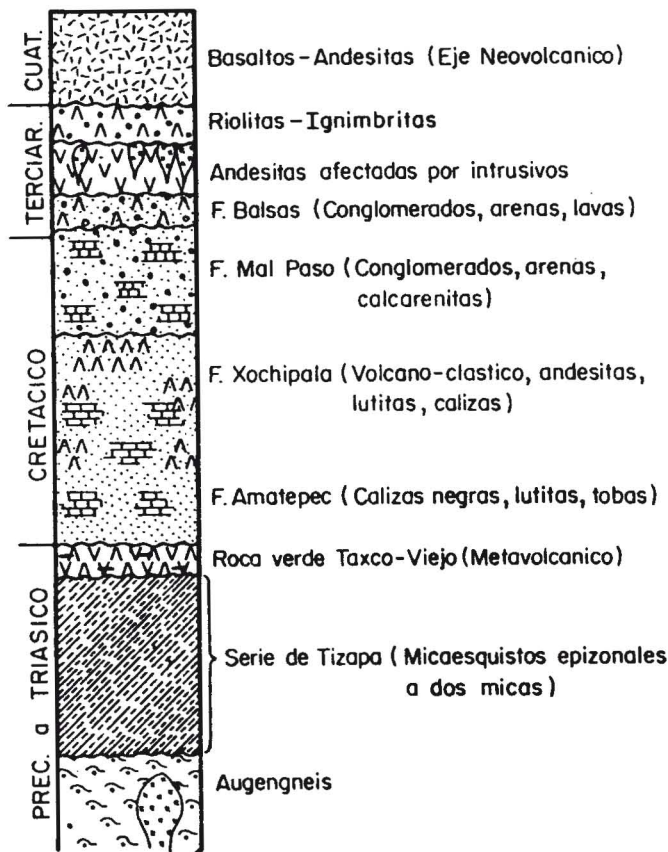


Fig. 2. Columna litológica de la serie metapelítica aflora entre el arroyo El Ahogado-Cerro la Pila en Tizapa, Edo. de México.

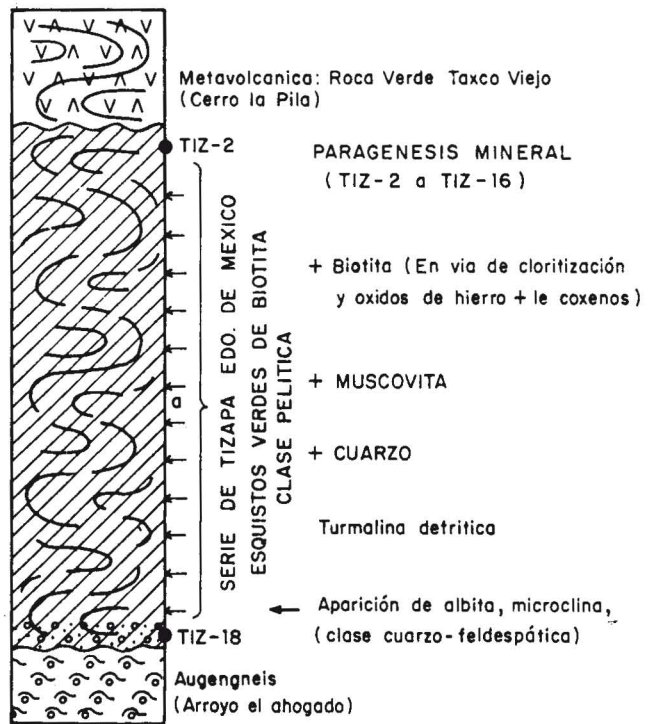


Figura 3. Columna estratigráfica esquemática de la región de Tierra Caliente.

Tabla 1

Análisis químicos de roca total de los esquistos negros de Tizapa, Edo. de Méx. (C.R.P.G./CNRS, Nancy, Francia).

Muestra	Elementos Mayores : %											Elementos menores : ppm						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.	Ba	Co	Cr	Ni	Sr	V	Rb
TIZ 2	66.75	15.37	6.91	0.04	1.97	tr.*	0.30	3.45	0.79	0.19	4.61	781	52	89	53	39	164	132
TIZ 4	63.76	18.09	5.62	0.04	1.30	tr.	0.99	3.56	0.94	0.11	5.54	624	10	118	63	55	177	123
TIZ 5	63.49	17.34	7.34	0.03	2.15	tr.	0.60	2.48	0.18	tr.	6.18	10	10	10	10	10	10	10
TIZ 6	65.96	18.73	4.44	0.03	0.93	tr.	1.15	3.42	1.08	0.08	4.58	674	10	112	52	110	153	118
TIZ 7	72.61	12.23	5.16	0.03	0.77	tr.	0.22	2.55	0.65	0.08	4.90	424	10	75	51	29	128	97
TIZ 8	64.27	16.00	7.19	0.12	1.93	tr.	0.18	3.12	0.87	0.09	5.22	819	80	115	99	51	167	126
TIZ 9	66.73	15.14	6.05	0.04	2.24	tr.	0.26	2.98	0.72	0.18	5.60	583	59	107	62	43	177	110
TIZ 10	73.96	11.74	4.98	0.04	1.16	tr.	1.00	2.10	0.62	0.19	4.63	388	67	62	65	32	94	62
TIZ 11	52.06	22.51	8.85	0.04	2.22	tr.	1.26	3.57	1.05	0.04	8.35	665	65	134	80	65	142	120
TIZ 12	67.49	19.92	0.89	0.02	0.22	tr.	0.26	3.98	0.86	0.04	6.66	803	10	108	63	100	116	169
TIZ 13	67.70	18.32	2.03	0.01	0.32	tr.	0.21	3.92	0.96	0.01	5.35	844	45	137	45	115	261	136
TIZ 14	43.79	26.62	10.33	0.05	2.69	tr.	0.57	5.69	1.37	0.20	7.12	813	47	177	42	85	236	278
TIZ 15	71.71	14.05	3.68	0.06	1.04	tr.	1.48	2.93	0.82	0.17	4.13	470	51	79	54	76	133	122
TIZ 16	60.84	18.64	6.65	0.08	2.54	0.39	2.64	2.93	0.95	0.17	4.42	595	43	123	75	105	176	114
TIZ 18	77.86	11.00	2.19	0.03	0.19	tr.	1.21	6.10	0.32	0.03	1.54	859	48	15	17	97	41	190

mórfica de origen sedimentario detrítico puede interpretarse en diagramas construidos para este propósito (De la Roche, 1968; Moine 1974; M. Targey, 1981). La composición

química global de una roca sedimentaria detrítica (o su equivalente metamórfico) resulta de la sucesión de fenómenos de orden químico y mecánico que caracterizan las di-

versas etapas de las rocas sometidas a la acción meteórica, en donde se suceden tres reacciones químicas entre la fase mineral y el medio acuoso de depósito. En las zonas de alteración (donde se producen los efectos mayores), hay sedimentación y diagénesis en donde la composición geoquímica al momento del metamorfismo no se modifica. Las diferentes causas que intervienen en cada proceso son: condiciones tectónicas, climáticas y químicas del medio de depósito (movilidad de los elementos), el régimen hidrogeológico, la profundidad de la cuenca y selección mecánica del material durante su transporte y depósito. Sobre estas consideraciones fue construido el diagrama de la Figura 4, basado en el comportamiento diferencial del Na, K y Al. El diagrama sirve para la interpretación del origen y transformación de una roca metamórfica. Los procesos químicos o mecánicos de un ciclo superficial implican una disminución de la relación Na/Al, mientras que el K permanece unido con mayor facilidad al Al. El límite entre las series volcánicas y sedimentarias ofrece una gama completa de transición; lo mismo se puede decir en el caso inverso, donde la masomatosis y la anatexis provocan una convergencia. Los minerales más comunes de los sedimentos se agrupan, sea al origen o en la región derecha de la gráfica, lo que permite delimitar un sector sedimentario. Así las arcillas ocupan una posición central, mientras que las arcosas, los lechos rojos, las grauvacas ocupan los confines opuestos al sector sedimentario, tocando el volcanismo. Los resultados reportados en la Figura 4 manifiestan un comportamiento en el campo pelítico de las lutitas. La dispersión del grupo converge hacia el centro de las arenas cuarcíferas, comportamiento que se puede explicar por el hecho de que la serie presenta intercalaciones rítmicas (microsecuencias) de cuarzo y micas (muscovita-biotita) en proporciones variables a la escala de la lámina delgada por lo que sería más propio llamarlas areno-pelitas.

El triángulo de la Figura 5 denominado de "rocas totales" permite hacer un examen global de la composición. Los tres polos están ocupados respectivamente por SiO₂ (cuarzo), la suma de Fe₂O₃ total + TiO₂ ± CaO (carbonatos y óxidos) y Al₂O₃ (gibbsita, bauxita y corindón). Las muestras estudiadas se dispersan entre el polo cuarzo y los sílico-aluminatos; el campo cubre las lutitas o "shales", ilita y su distribución en el eje plagioclasa-cuarzo es debido igualmente a la participación de horizontes cuarcosos intercalados en pelitas. El diagrama de la Figura 6 complementa el anterior. Esta doble representación triangular pone en consideración todos los elementos mayores de una roca; en la mayoría de las rocas detríticas Na, K y Mg se encuentran comprendidos dentro de los sílico-aluminatos y aparecen como satélites del aluminio. Su agrupamiento en el triángulo de la Figura 6 permite aprovechar la diversidad en cuanto a la composición de los sílico-aluminatos. Los diferentes minerales sedimentarios se separan claramente en el interior de cada uno de los dominios y diversas tendencias pueden ser distinguidas. Las muestras estudiadas y circunscritas en el diagrama ocupan claramente el campo de las "lutitas-pelitas-shales", las ilitas y glauconita con alto contenido de K₂O. El diagrama de la

Figura 7 permite conocer la composición teórica de la fase arcillosa presente al momento de la sedimentación. La casi totalidad de las muestras estudiadas (como también se puede apreciar en las Figuras 5 y 6), se alinean en el campo de la ilita con una ligera tendencia hacia las montmorillonitas; en el mismo diagrama se ha graficado la posición de las muscovitas actuales a partir de los análisis de la microsonda. Se puede deducir que la composición inicial corresponde a cuarzo, ilita + montmorillonita, indicando una sedimentación madura. La dispersión refleja la transformación de la biotita en clorita.

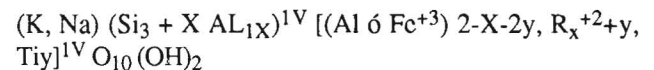
ANÁLISIS CRISTALOQUÍMICO DE LAS MUSCOVITAS

Es muy conocida la estructura de las micas blancas en forma de hojas constituídas por capas de cationes hexacoordinados (Zussman, 1979). La capa de octaedros resultantes se encuentra en dos capas de cationes tetra-coordinados. Los cationes dispuestos en hojas aseguran la coherencia de la estructura considerada. En micas llamadas "trioctaédricas", todos los sitios octaédricos están ocupados por metales divalentes (hierro ó manganeso). En las micas dioctaédricas, un octaedro sobre tres está vacante y se puede distinguir habitualmente en tres polos:

- Muscovita K (Si₃Al) Al₂O₁₀ (OH)₂
- Celadonita K (Si₄) (AlR⁺²) O₁₀ (OH)₂
- Paragonita Na (Si₃Al) (Al₂) O₁₀ (OH)₂

Son posibles dos sustituciones principales:

- La solución sólida muscovita-celadonita que corresponde a la fengita.
- La sustitución muscovita-paragonita que es discontinua y se puede expresar por la fórmula estructural.



Las fórmulas estructurales de los diferentes niveles de la serie metamórfica (Tabla 2) fueron calculadas a partir de los análisis de la microsonda CAMEBAX, realizados sobre la base de 12 oxígenos (definición del programa de cálculo utilizado); este tratamiento se manifiesta en función de Fe⁺⁺⁺. La interpretación dada permite evaluar el carácter dioctaédrico de las micas basándose sobre los criterios de Velde (1965):

- La suma de iones en los sitios interfoliares de 1 ± 0.1
- Grado de ocupación de los sitios octaédricos: 2 ± 0.1
- Carga de cationes en los sitios octaédricos y tetraédricos: 21 ± 0.1

A partir de la información de la Tabla 2 se demuestra que las micas blancas de la serie metamórfica corresponden a muscovitas.

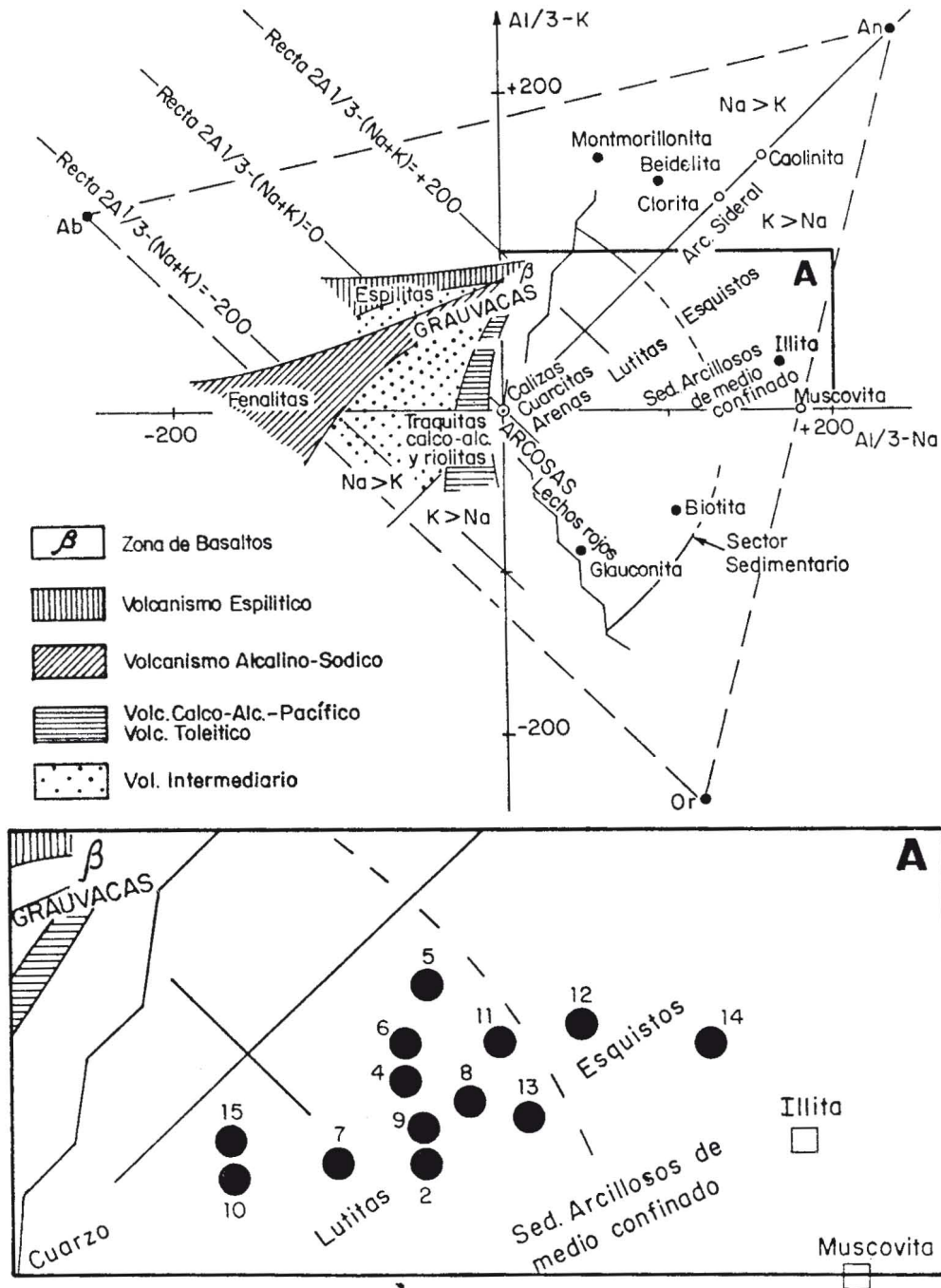


Fig. 4. Diagrama que muestra las tendencias volcánicas y sedimentarias presentes en función del comportamiento diferencial del Na, K, Al (tomado del mismo diagrama, que muestra los resultados del análisis de las metapelitas de Tizapa, Estado de México).

En la sustitución paragonítica, los sitios interfoliares son ocupados ya sea por K o por Na (polos muscovita paragonita). En las micas que pertenecen a esta serie, el porcentaje de paragonitas se manifiesta por $Na/(Na + K)$. En la Figura 8 se han reportado los valores numéricos de esta relación para las diferentes muestras estudiadas.

Si se observa la Figura 8 se puede afirmar que:

- La tasa de sustitución paragonítica decrece de la base de la serie (TiZ-14), hacia la cima (TiZ-2), ya que este valor pasa de 14.5 a 10.5% moles (valores medios). La tasa de sustitución de Na-K está en relación estrecha con la tempe-

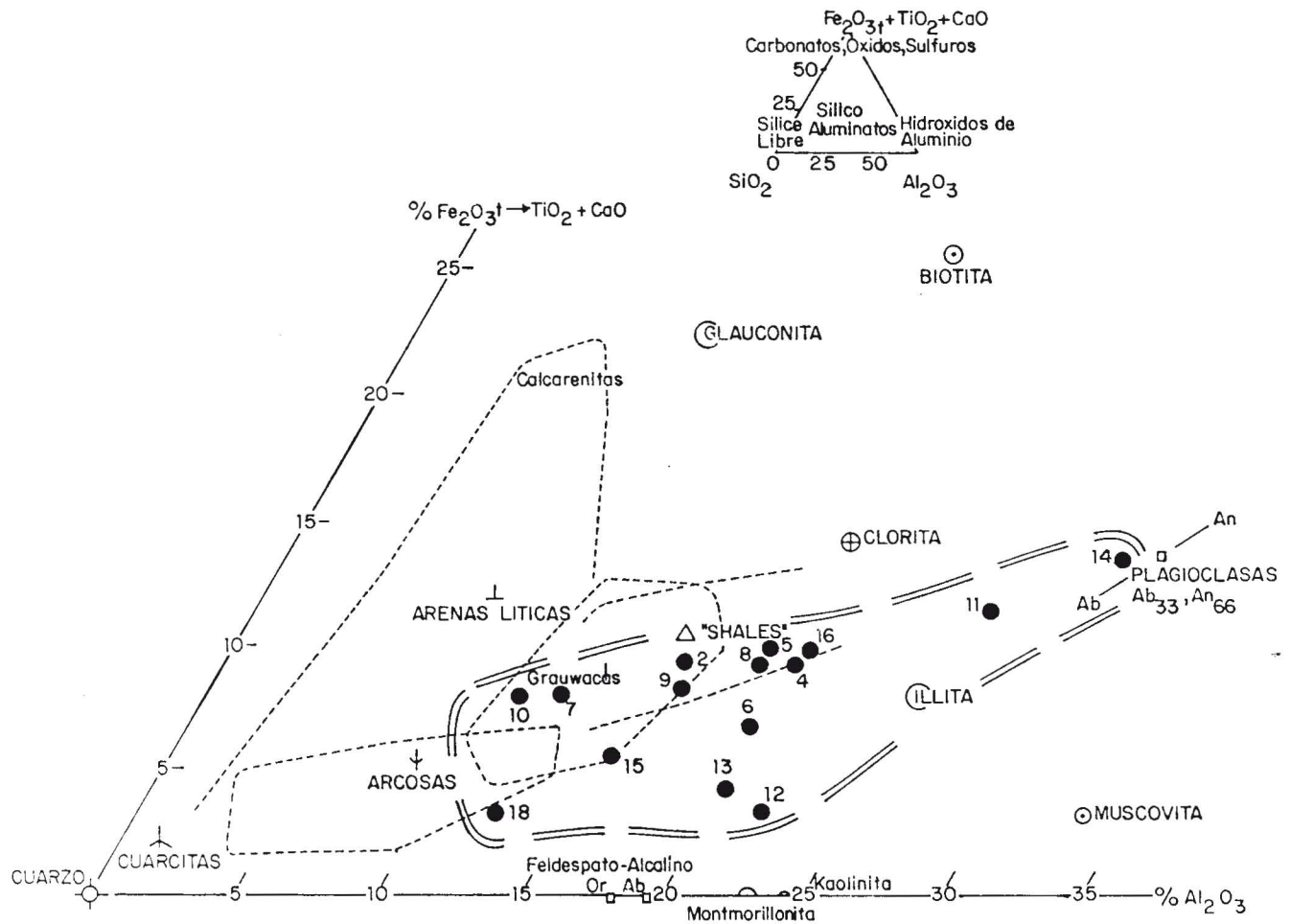


Fig. 5. Triángulo de rocas totales de De la Roche (1972); Posición y valores promedio de minerales y rocas detríticas; el sector con doble línea muestra los resultados obtenidos.

ratura de cristalización (Eugster y Yoder, 1955; Timaya, 1964; Zen y Albee; 1964 en Velde, op. cit.) ya que la tasa de paragonita decrece regularmente con la temperatura de formación (Lambert, 1959). En la Figura 9 el porcentaje molar de paragonita se manifiesta en función de la temperatura de cristalización de las micas. Si se toma en cuenta esta relación, la temperatura de cristalización de las micas blancas varía de 540°C a 470°C.

Estos resultados pueden interpretarse utilizando los diagramas P-T propuestos por Velde (op. cit.). Para las Tenquitas se muestra el diagrama de la Figura 10. Sobre la base de esta información se puede considerar que las muscovitas de la serie metamórfica de la región de Tizapa se forman a una presión comprendida entre 2.5 y 4 Kb.

CARACTERÍSTICAS DE LA FASE FLUIDA DEL METAMORFISMO

Los fluidos del metamorfismo han sido estudiados en el cuarzo de segregación de la serie de Tizapa, lejos de las zo-

nas de fuerte alteración hidrotermal asociadas a las acumulaciones de sulfuros masivos. Las inclusiones son abundantes pero de talla pequeña: 50-20 micras (ver placa fotográfica).

La morfología es generalmente simple. Se reconocieron cinco tipos (I a V) que se diferenciaron por los volúmenes respectivos de sus constituyentes. Los compuestos carbonosos predominan y la fase acuosa es reducida y a veces está ausente. Ciertas inclusiones de contenido puramente carbonoso contienen fases sólidas, consistentes en carbonatos y filitas. La composición de los fluidos ha sido determinada por microtermometría y la fase volátil carbonosa se determinó a partir del estudio por microsonda de efecto Raman. Las principales características de los diferentes tipos de inclusiones se resumen en la Tabla 3.

La homogeneización global se efectúa siempre en fase líquida: acuosa (tipos I y II) o carbonosa (tipos III, IV y V). El punto de fusión del CO₂ más bajo que -56.6°C demuestra la existencia de otros compuestos volátiles. Heyen *et al.* (1982) proponen un diagrama en el que se pueden de-

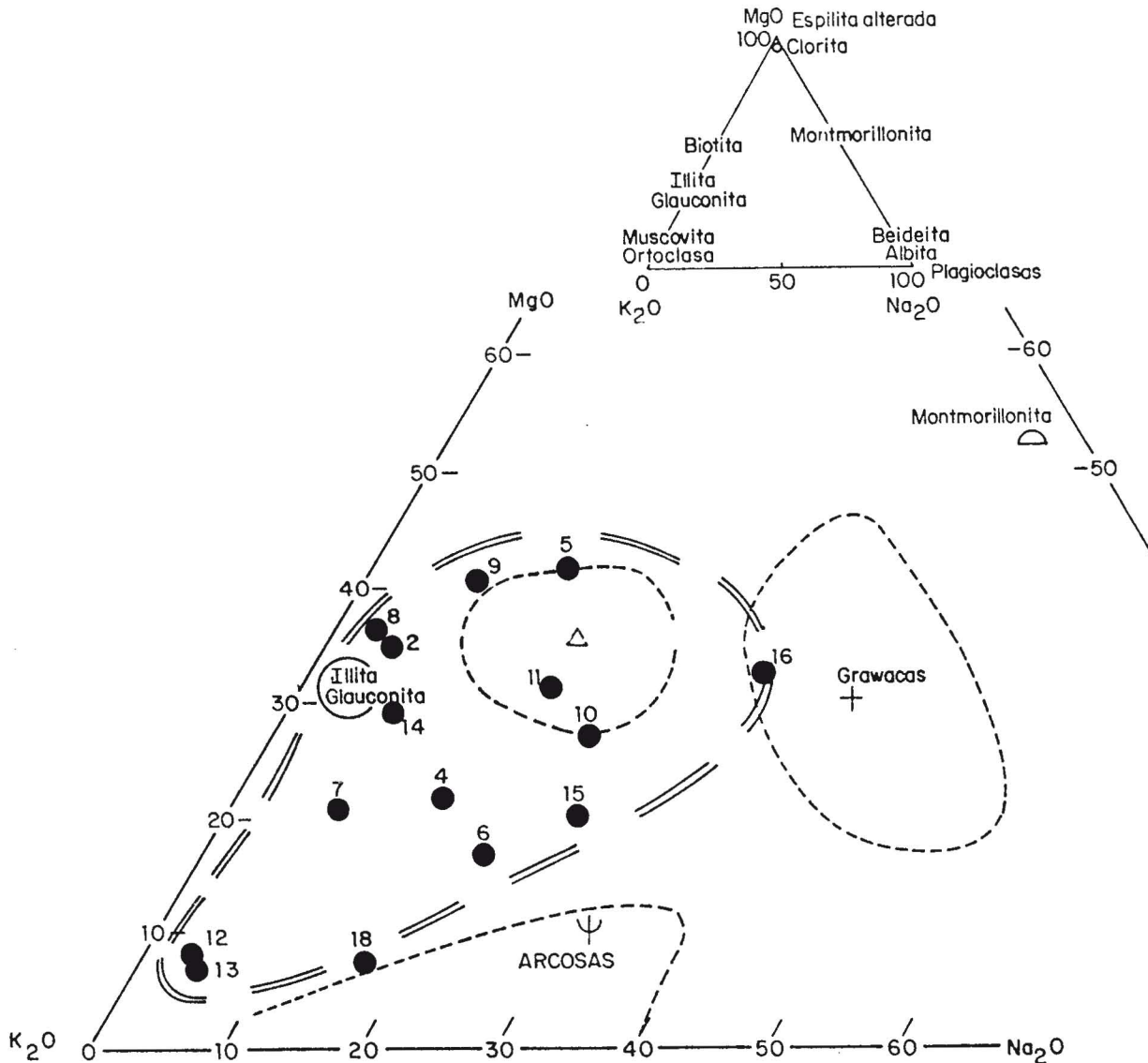


Fig. 6. Triángulo de silico-aluminatos de De la Roche (1972).

terminar las principales características (volumen molar y composición), por ejemplo, si se define $X_{eq} CH_4 = X_{CH_4} + X_{N_2}$ (donde X=fracción molar), la fracción descrita como metano a partir del análisis microtermométrico incluye seguramente algo de nitrógeno como lo sugiere el estudio de la sonda Raman (Tabla 3).

La existencia de "clataratas" $CO_2 - 5 \frac{3}{4} H_2O$ en las inclusiones a baja temperatura permiten interpretar las temperaturas de fusión del hielo, en presencia de "clataratas" como una salinidad subestimada (Collins, 1979; Ramboz, 1980). Por el contrario el CH_4 , que es poco soluble en la fase acuosa no baja significativamente la temperatura de fusión del hielo. La proporción de $CH_4 (+N_2)$ baja, en relación a CO_2 y las temperaturas de fusión de las "clataratas"

en presencia de CO_2 líquido sugiere una salinidad de 2 a 8% eq. peso $NaCl$ (Bozzo *et al*, 1973).

La Figura 11 muestra la distribución de los principales tipos de inclusiones en función de las temperaturas de fusión del CO_2 y de las "clataratas", así como las influencias perturbadoras y antagónicas del $NaCl$ y $CH_4 (+N_2)$. Así definidas, las características de esas soluciones complejas sugieren que N_2 está presente en cantidades importantes, y ha sido considerado como fluido predominante en un metamorfismo elevado (Touret, 1981), pero puede provenir igualmente de la degradación de la materia orgánica o de minerales arcillosos en donde substituye el K^+ .

Dhamelincout *et al.* (1979) reportan la presencia del N_2 asociada a CH_4 en los cuarzos de esquistos negros débil-

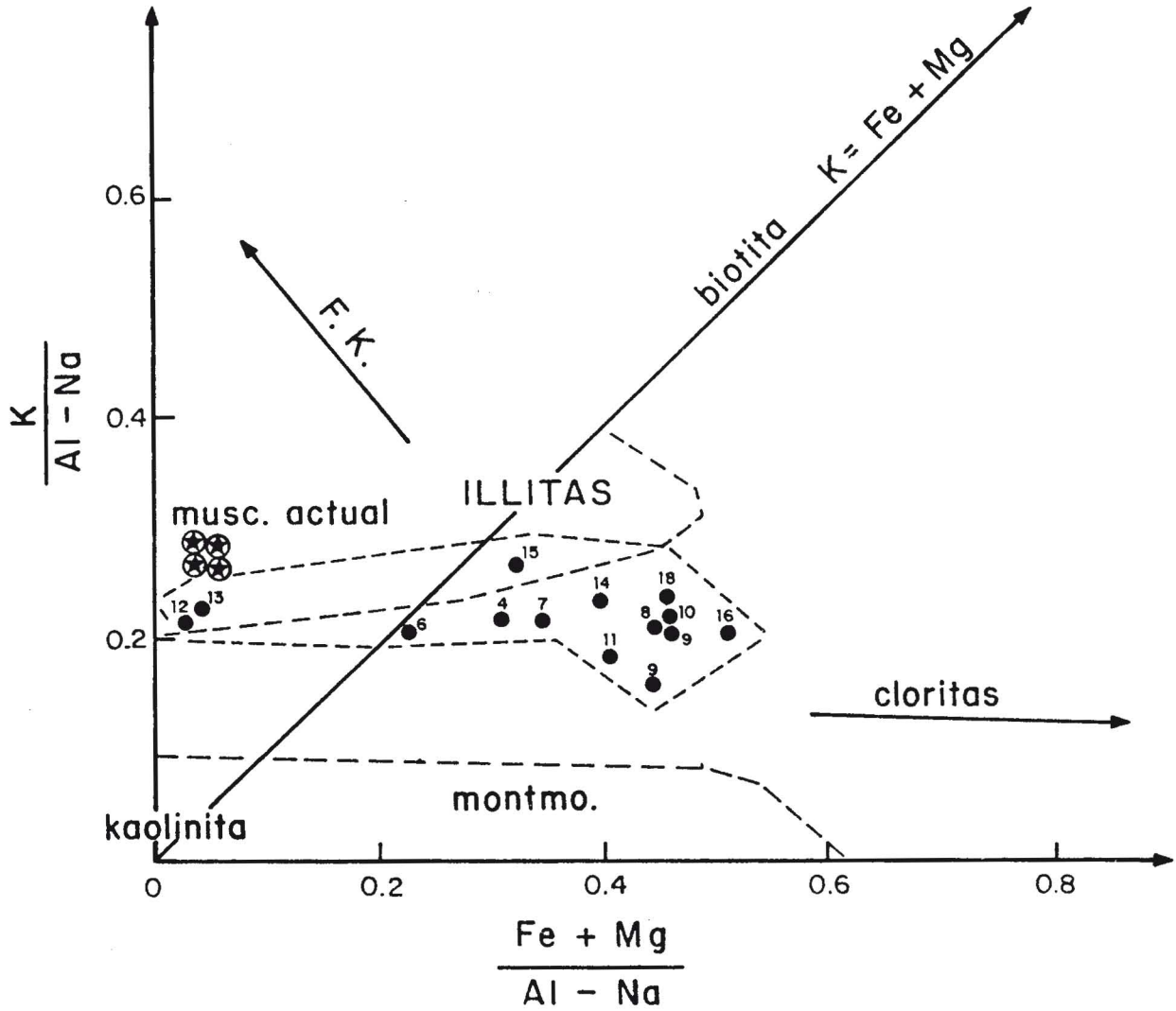


Fig. 7. Diagrama K/Al-Na en función de (Fe+Mg)/(Al-Na) tomado de Moine (1974).

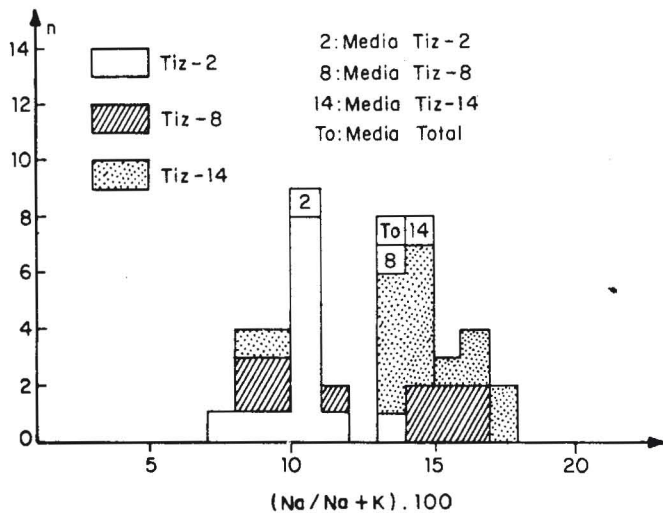


Fig. 8. Variación de la tasa de paragonita para las muestras Tiz-2, 8 y 14; los números dentro del diagrama representan los valores promedio.

mente metamorizados de Los Alpes, interpretándolos como derivados de la descomposición de la materia orgánica. Una interpretación parecida puede ser el caso de los esquistos de Tizapa.

La aparente coexistencia de fluidos puramente carbonosos y de la mezcla $CO_2-CH_4 (+CH_4+N_2+NaCl)$ puede tener dos explicaciones: dilución progresiva de un fluido puramente carbonoso por soluciones exteriores acuosas; esta es la interpretación más frecuente (Touret, 1981). O bien la aparición de un fenómeno de inmiscibilidad de un fluido homogéneo ($CO_2=CH_4-H_2P$) + NaCl (+ N_2) a temperaturas del orden de $350^\circ C - 400^\circ C$ (Hollister y Burrus, 1976).

CONCLUSIONES

El metamórfico de Tierra Caliente corresponde a la acumulación de sedimentos arcillosos del tipo illitas, manifestando una sedimentación madura. Su transformación a biotita + muscovita define un metamorfismo epizonal a dos micas; las intercalaciones rítmicas con cuarzo permiten

Tabla 2

Análisis de las muscovitas estudiadas en la microsonda CAMEBAX (CNRS, Universidad Nancy I, Francia).

% PESO ÓXIDOS	TIZ-2 (25)*	TIZ-8 (16)*	TIZ-14 (26)*	MEDIA TOTAL
SiO ₂	48.890	48.550	48.430	48.623
Al ₂ O ₃	34.030	35.030	34.610	34.536
K ₂ O	8.162	8.710	8.440	8.436
FeO	1.510	1.300	1.290	1.366
MgO	1.27	0.986	1.000	1.085
Na ₂ O	0.732	0.896	0.930	0.852
TiO ₂	0.136	0.264	0.230	0.210

*Número de análisis en cada muestra.

FORMULAS ESTRUCTURALES DE LAS MOSCOVITAS

TIZ-2 Manifestada sobre la forma de hierro reducido FeO
 $(K_{0.68}Na_{0.09})_{0.78}(Si_{3.22}Al_{0.78})_4(Al_{1.86}Fe_{0.08}Mg_{0.12}Ti_{0.01})_{2.07}O_{10}(OH)_2$
 Manifestada sobre la forma de hierro oxidado Fe₂O₃
 $(K_{0.68}Na_{0.09})_{0.78}(Si_{3.20}Al_{0.80})_4(Al_{0.83}Fe_{0.06}Mg_{0.12}Ti_{0.01})_{2.05}O_{10}(OH)_2$

TIZ-8 Manifestada sobre la forma de hierro reducido FeO
 $(K_{0.73}Na_{0.11})_{0.84}(Si_{3.17}Al_{0.83})_4(Al_{1.87}Fe_{0.07}Mg_{0.10}Ti_{0.01})_{2.05}O_{10}(OH)_2$
 Manifestada sobre la forma de hierro oxidado Fe₂O₃
 $(K_{0.72}Na_{0.11})_{0.84}(Si_{3.16}Al_{0.84})_4(Al_{1.85}Fe_{0.07}Mg_{0.10}Ti_{0.01})_{2.03}O_{10}(OH)_2$

TIZ-14 Manifestada sobre la forma de hierro reducido FeO
 $(K_{0.71}Na_{0.12})_{0.83}(Si_{3.19}Al_{0.82})_4(Al_{1.87}Fe_{0.07}Mg_{0.10}Ti_{0.01})_{2.05}O_{10}(OH)_2$
 Manifestada sobre la forma de hierro oxidado Fe₂O₃
 $(K_{0.71}Na_{0.12})_{0.82}(Si_{3.18}Al_{0.83})_4(Al_{1.85}Fe_{0.07}Mg_{0.10}Ti_{0.01})_{2.03}O_{10}(OH)_2$

MEDIA TOTAL Manifestada sobre la forma de hierro reducido FeO
 $(K_{0.71}Na_{0.11})_{0.81}(Si_{3.19}Al_{0.81})_4(Al_{1.86}Fe_{0.07}Mg_{0.11}Ti_{0.01})_{2.06}O_{10}(OH)_2$
 Manifestada sobre la forma de hierro oxidado Fe₂O₃
 $(K_{0.70}Na_{0.11})_{0.81}(Si_{3.18}Al_{0.82})_4(Al_{1.84}Fe_{0.07}Mg_{0.11}Ti_{0.01})_{2.03}O_{10}(OH)_2$

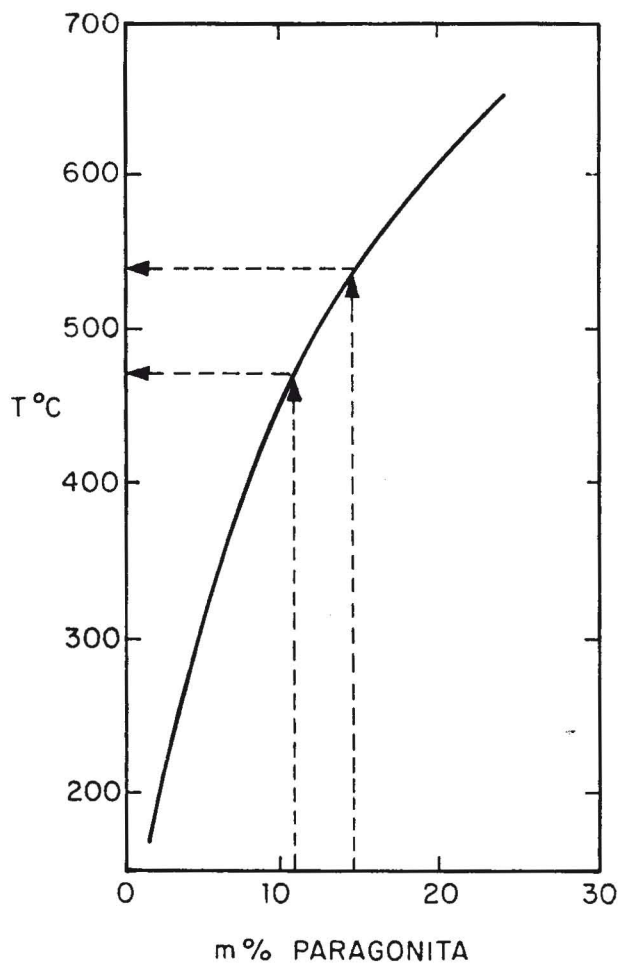


Fig.9. Diagrama que muestra el porcentaje molar de paragonita; la curva fue calculada por Lambert (1959). Con flechas y líneas discontinuadas, la posición de las muscovitas estudiadas.

Tabla 3

Características microtermométricas de los diferentes tipos de inclusiones estudiadas y resultados obtenidos según el ábaco de Ramboz C. (1982) y el análisis de la microsonda a efecto RAMAN (CREGU, Nancy, Francia).

								SCHWANANBERG(1979)		RAMBOZ et al (1982)			RAMAN		
	CO ₂ CO ₂	VCO ₂ VT	Tf CO ₂	Tfclash	ThCO ₂	T homog	Salinidad	XCH ₄	Densidad	XCH ₄	Volumen molar	Densidad	XCO ₂	XCH ₄	XN ₂
I	50	20 30	-57.2 a -57.7	+ 5 a +8.5	+23.5	320 a 360	H ₂ O equivalente	0.025	0.70	0.050	70	0.61			
II	60	40 50	-57.2 a -57.4	+6.5 a + 8	+23.5 a +29.5	310 M ₂ O a 400	2 a 8 % de peso	0.015	0.55 a 0.70	0.040	65	0.66	0.9532	0.0134	0.0334 0.0468
III	80	70 80	-57.2 a -57.6	+ 7 a + 9	+25.5 a + 27	330 CO ₂ a 350		0.020	0.65	ud.	104	0.400			
IV	60	90	-57.4		28.7			0.025	0.50	ud	ud	ud			
V _B	80		V _A = -58.8 V _B = -57.7		V _A = +11.5 V _B = +2.2			V _A 0.060 V _B 0.023	0.80 0.75	V _A nd V _B 0.11	ud ud	ud 0.68	V _B 0.8599	0.0186	0.1215 0.1401
V _C	90		-57.7		+21			0.020	0.75	ud	ud	ud			

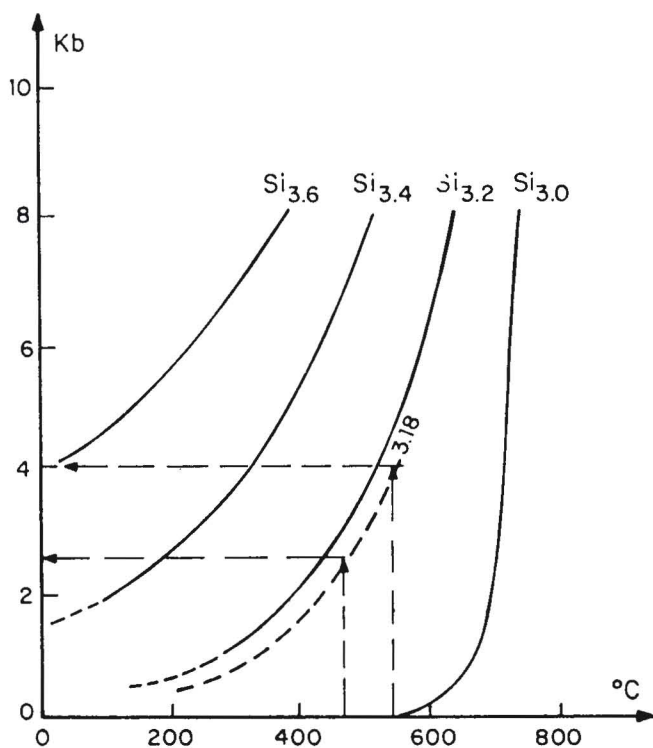


Fig. 10 Diagrama presión-temperatura de las fengitas, según Velde (1965); en líneas discontinuas las muscovitas de Tizapa, Estado de México.

llamarlas areno-pelitas. Las temperaturas de cristalización de las muscovitas varían de 450°C a 470°C y presiones de 2.5 Kb a 4Kb lo que confirma las observaciones petrográficas.

En los cuarzos de segregación del metamórfico se reconocieron cinco tipos de inclusiones fluidas, con una composición caracterizada por CO₂, CH₄, N₂, H₂O y NaCl. Las temperaturas de homogeneización final varían de 300°C a 460°C. Los compuestos carbónicos encontrados dentro de los fluidos pueden ser el resultado de la transformación por metamorfismo regional del material carbónico de origen orgánico, disperso inicialmente dentro de los sedimentos pelíticos.

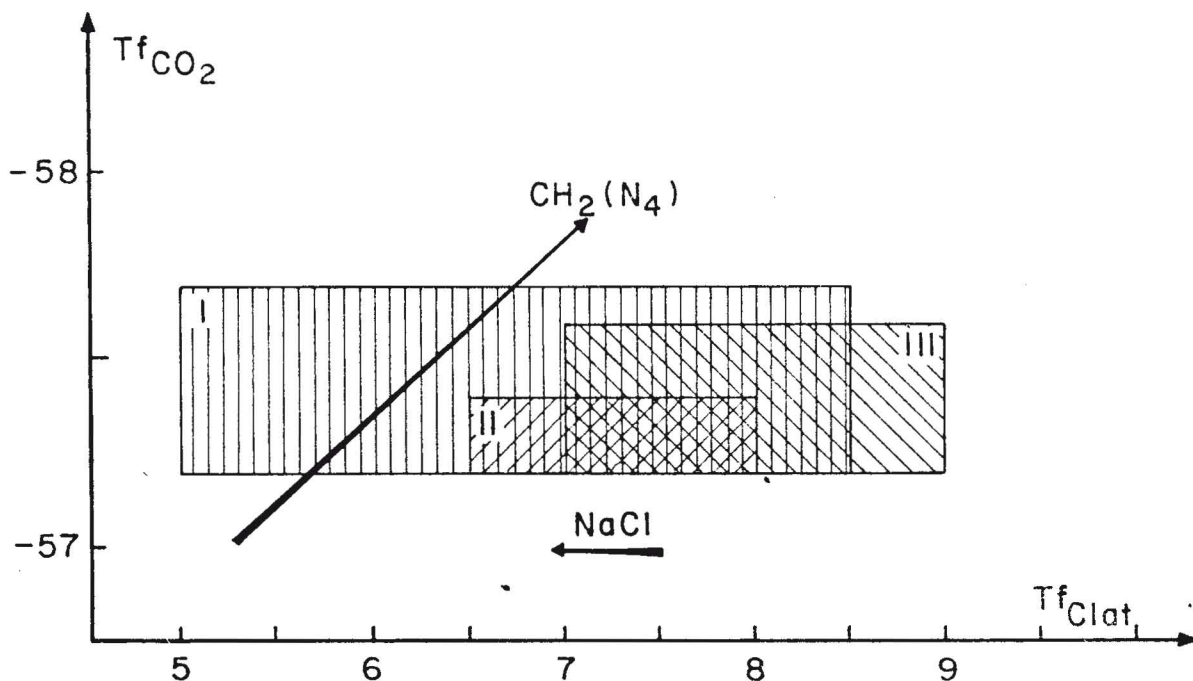


Fig. 11. Diagrama Tfco₂-Tf clataratas e influencia antagonista de NaCl y CH₄ sobre las temperaturas microtermométricas medidas en los diferentes tipos de inclusiones carbónicas.

BIBLIOGRAFIA

BOZZO, A. T., H. S. CHEN, J. R. KASS y A. J. BARDUHN., 1973. The properties of the hydrates

of chlorine and carbon dioxide. Int. Symp, on fresh water from the Sea. 3, 437-451.

- CAMPA, U. M. F., M. CAMPOS, R. FLORES y R. OVIEDO, 1974. La secuencia mesozoica volcanosedimentaria metamorfizada de Ixtapan de la Sal, México-Teloloapan Guerrero. *Bol. Soc. Geol. Méx. T. 35*, 7-28
- CAMPA, U. M. F., 1978. La evolución tectónica de Tierra Caliente, Gro. *Bol. Soc. Geol. Méx. T. 39*, 2, 52-64.
- COLLINS, P. L., 1979. Gas hydrates in CO₂ bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. *Econ. Geol.*, 74, 1435-1444.
- CSERNA Z. y C. FRIES JR. 1981. Hoja Taxco 149-h (7), con resumen de la hoja Taxco Estados de Gro., Méx. y Mor. UNAM. *Inst. Geol. Geológica de México*, serie 1:100,000 mapa con texto 47 p.
- DHAMELINCOURT, P., J. M. BENY, J. DUBESSY y B. POTY., 1979. Analyse d' inclusions fluides à la microsonde mole à effet RAMAN. *Bull mineral.* 102, 600-610.
- DE LA ROCHE H., 1968. Comportement géochimique différentiel de Na, K et al dans le métamorphisme, formations volcaniques et sédimentaires: Un guide pour l'étude des formations métamorphiques et plutoniques. *C.R. Acad. Sc. de Paris* 267, 39-42.
- DE LA ROCHE H., 1972. Revue de quelques diagrammes chimico-minéralogiques pour l'étude des associations signées ou sédimentaires et leurs dérivés métamorphiques. *Sci. de la Terre*, 17, 31-46.
- GONZALEZ-PARTIDA, E. y V. TORRES, 1988. Análisis geológico regional y yacimientos minerales asociados a la porción Centro Occidental de México. *Géofís. Int.* 27, 2, 543-581.
- HEYENG., Z. C. RAMBO y J. DUBESSY., 1982. Simulation des équilibres des phases dans le système CO₂-CH₄ en dessous de 50°C et de 100 bar. Applications aux inclusions fluides. *C.R. Acad. Sci. Paris.* 294, 203-206.
- HOLLISTER L. S. y R. C. BURRUS., 1976. Phase equilibria in fluid inclusions from the Khatada Lake metamorphic complex. *Geoch. Gosmoch. Acta* 40, 163-175.
- LAMBERT R. J., 1959. The mineralogy and metamorphism of the main schists of the Morar and Knoydart districts of Invernessshire. *Trans. Roy. Soc. Edimb*, p. 63.
- MOINE B. 1974. Caractères de sédimentation et métamorphisme des séries précambriennes épizonales à catazonales du Centre de Madagascar. (région d'Ambato-Finan Drahana). *Sci. de la Terre* M. 31.
- RAMBOZ C., 1980. Géochimie et étude des phases fluides de gisements et indices d'étain-tungstène du sud du Massif Central (France). Thèse INPC. Nancy France. 278 p.
- TARGEY M. 1981. Utilisation de la géochimie majeure pour la cartographie des terrains cristallins. *BRGM. No. 12*, 134 p.
- TOURET, J., 1981. Fluid inclusions in high grade metamorphic rocks, in *Short course in fluid inclusions: Application to petrology: Wollister and Crawford. Min. Assoc.*
- VELDE B., 1961. Phengite micas: synthesis, stability and natural occurrence. *Amer. Journ. Sci.* 263, 586-913.
- WINKLER G. F. 1976. Petrogenesis of metamorphic rocks. 4th Ed. *Springer Study edition*, 334 p.
- ZUSSMAN J. 1979. The crystal chemistry of the micas. *Bull. Mineral.* 102, 5-13.

Eduardo González Partida
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento de Geotermia,
Interior Internado Palmira,
A.P. 475, 62000, Cuernavaca, Morelos
México.