

TABLA 4. Resultados de análisis roentgenofásicos de los ocres inferiores (OI) y superiores (OS).

| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | Fases Complementarias |
|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|------|-----|-------|----|------|-----|--------|----|-----------------------|
| d | l | d | l | d | l | d | l | d | l | d | l | d | l | d | l | |
| 15,5 | | | | 15,8 | | | | | | | | | | | | Nt |
| 14,25 | 1 | 14,24 | 3 | | | | | | | | | 14,2 | 6 | | | Ch |
| 13,2 | 1 | 13,5 | 2 | | | | | | | | | | | | | Mnt |
| 12,52 | 1 | 12,84 | 2 | 12,51 | 1 | 12,25 | 5 | | | | | | | | | HBi |
| 11,54 | 1 | | | | | 11,11 | 3 | | | | | | | | | Ch |
| 11,16 | 1 | 10,8 | 2 | | | 10,7 | 3 | | | | | | | | | Hal |
| 10,48 | 1 | 10,48 | 1 | 10,38 | 1 | | | | | | | | | | | Hal |
| | | | | 9,60 | 2 | | | | | | | | | | | Mn |
| 9,39 | 5 | 9,42 | 5 | | | | | | | | | | | | | HBi |
| 8,46 | 1 | | | 8,50 | 2 | | | | | | | | | | | MH |
| 7,90 | 1 | 7,96 | 2 | | | | | | | | | | | | | Ant. Hal |
| 7,30 | 5 | | | 7,29 | 4 | | | | | | | | | | | Ch |
| 7,14 | 4 | 7,13 | 10 | | | 7,04 | 2 | | | | | 7,10 | 7 | | | MH |
| 6,92 | 1 | 6,93 | 1 | 6,93 | 1 | | | | | | | | | | | Mn |
| 6,73 | 1 | 6,68 | 2 | 6,66 | 2 | | | | | | | | | | | Mnt |
| 6,42 | 1 | | | | | 6,47 | 1 | | | | | | | | | Mn; Lep |
| 6,31 | 1 | 6,27 | 2 | 6,31 | 1 | 6,31 | 3 | | | | | | | | | Be |
| 6,05 | 1 | 6,05 | 2 | 6,05 | 1 | 6,07 | 4 | | | | | | | | | MH |
| 5,96 | 2 | | | 5,91 | 1 | | | | | | | | | | | Mnt |
| 5,71 | 2 | 5,72 | 2 | 5,75 | 1 | 5,77 | 2 | | | | | | | | | MH; Ch |
| 5,28 | 1 | 5,30 | 2 | | | 5,25 | 1 | | | | | | | | | HBi; Mnt |
| 5,05 | 2 | 5,0 | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4,98 | 2 | 4,98 | 1 | 4,98 | 2 | 4,98 | | 4,98 | 2 | | | | | | | |
| 4,84 | 1 | | | 4,85 | 3 | 4,86 | 10 | | | 4,85 | | | | | | MH |
| 4,77 | 1 | 4,75 | 8 | | | | | | | | | 4,72 | 9 | 4,85 | 10 | Ch |
| 4,73 | 3 | | | 4,73 | 2 | | | | | | | | | | | MH |
| 4,54 | 1 | 4,58 | 2 | 4,54 | 1 | 4,54 | 1 | | | | | | | | | Mn; Mnt; Ch |
| 4,41 | 1 | 4,41 | 1 | 4,45 | 2 | 4,39 | 5 | | | | | 4,37 | 4 | | | Hal |
| 4,18 | 10 | 4,18 | 10 | 4,18 | 10 | 4,18 | 7 | 4,18 | 10 | | | | | | | |
| 3,86 | 1 | | | 3,90 | 1 | 3,88 | 1 | | | | | | | | | Hal |
| 3,71 | 1 | | | 3,68 | 2 | | | | | | | | | | | MH; He |
| 3,65 | 1 | 3,62 | 1 | 3,63 | 2 | 3,61 | 1 | | | | | | | | | Ant; Hal |
| | | 3,57 | 8 | | | | | | | | | 3,54 | 10 | | | Ch |
| 3,44 | 1 | 3,44 | 2 | | | | | | | | | | | | | MH |
| 3,38 | 2 | | | 3,38 | 2 | 3,38 | 2 | 3,38 | 1 | | | | | | | Hal; MH |
| 3,26 | 1 | | | | | 3,25 | 1 | | | | | | | | | Lep. |
| 3,16 | 1 | | | 3,17 | 1 | 3,19 | 1 | | | | | | | | | MH; Be |
| 3,12 | 2 | 3,12 | 5 | 3,09 | 1 | 3,12 | 1 | | | | | | | | | Mn; MH |
| 3,02 | 1 | | | 3,03 | 1 | 3,12 | 1 | | | | | | | | | MBi |
| 2,97 | 4 | 2,97 | 3 | 2,97 | 2 | 2,97 | 2 | | | 2,97 | 3 | | | | | |
| 2,95 | 2 | 2,95 | 1 | 2,95 | 2 | 2,94 | 2 | | | | | | | | | MH |
| | | 2,84 | 3 | | | 2,88 | 1 | | | | | 2,87 | 6 | | | Ch |
| 2,69 | 4 | 2,70 | 4 | 2,69 | 6 | 2,68 | 3 | 2,69 | 3 | | | | | | | He; Ch |
| 2,58 | 3 | 2,58 | 2 | 2,58 | 4 | 2,57 | 2 | 2,58 | 1 | | | 2,59 | 1 | | | Hal |
| 2,53 | 6 | 2,51 | 8 | 2,52 | 5 | 2,51 | 1 | 2,52 | 1 | 2,53 | 10 | | | | | Mn; He |
| 2,49 | 5 | 2,77 | 3 | 2,79 | 2 | 2,79 | 2 | 2,49 | 2 | | | | | | | Lep |
| 2,45 | 7 | 2,44 | 7 | 2,44 | 8 | 2,44 | 6 | 2,45 | 3 | 2,43 | 1 | 2,45 | 2 | 2,45 | 2 | |
| 2,35 | 2 | | | | | 2,35 | 6 | | | | | 2,39 | 2 | 2,38 | 3 | Mn |
| 2,25 | 3 | 2,25 | 3 | 2,24 | 4 | 2,23 | 1 | 2,25 | 1 | | | 2,27 | 2 | 2,24 | 1 | Hal |
| 2,18 | 3 | 2,18 | 2 | 2,19 | 4 | 2,19 | 2 | 2,19 | 2 | | | | | 2,16 | 1 | He |
| 2,10 | 2 | 2,08 | 2 | 2,10 | 2 | | | | | 2,10 | 2 | 2,07 | 0,5 | | | MH |
| 2,03 | 1 | | | | | 2,04 | 2 | | | | | 2,02 | 1 | 2,04 | 2 | HBi; Ch |
| | | 1,96 | 2 | 1,99 | 2 | 1,99 | 2 | | | | | 2,0 | 5 | 1,99 | 1 | |
| 1,91 | 2 | | | 1,91 | 1 | 1,91 | 1 | 1,92 | 0,5 | | | | | 1,91 | 1 | |
| | | | | 1,83 | 2 | 1,83 | 1 | | | | | 1,83 | 1 | | | He |
| | | 1,817 | 3 | | | | | | | | | | | 1,80 | 1 | |
| 1,79 | 2 | | | 1,79 | 2 | 1,78 | 1 | 1,80 | 1 | | | | | | | |
| 1,72 | 3 | 1,72 | 2 | 1,72 | 4 | 1,71 | 1 | 1,72 | 2 | 1,71 | 2 | 1,73 | 1 | | | Lep |
| 1,69 | 3 | 1,69 | 1 | 1,69 | 3 | 1,69 | 3 | 1,69 | 1 | | | | | 1,69 | 1 | He; MH; Hal |
| 1,69 | 2 | 1,61 | 2 | 1,61 | 2 | 1,60 | 1 | 1,60 | 1 | 1,61 | 2 | | | 1,59 | 1 | He; MH |
| 1,56 | 2 | 1,56 | 1 | 1,56 | 2 | 1,56 | 1 | 1,56 | 1 | | | 1,54 | 2 | 1,55 | 1 | |
| 1,50 | 2 | 1,50 | 2 | 1,50 | 2 | 1,50 | 1 | 1,50 | 1 | | | 1,50 | 1 | | | Ch |
| 1,485 | 2 | 1,49 | 2 | 1,49 | 3 | 1,49 | 1 | | | 1,485 | 3 | | | 1,4785 | 1 | He; Hal |
| 1,47 | 1 | 1,47 | 2 | 1,47 | 2 | 1,47 | 1 | 1,47 | 0,5 | | | | | | | MH |
| 1,45 | 3 | 1,45 | 2 | 1,45 | 3 | 1,46 | 1 | | | | | | | 1,457 | 1 | He |

Observaciones:

1-OIA; 2-OIY; 3-OSA; 4-OSY; 5-Goethita (Brawn, 1965); 6-Magnetita (Brawn, 1965); 7-Clorita (Shirozi, 1958); 8-Hidrotalita (Brawn, 1965). Los datos sobre otros minerales fueron tomados de los trabajos de Brawn, 1965; Mijev, 1957; Nikitin, 1962; Frank-Kamenevskiy, 1983. Las indicaciones son iguales a la Tabla 2 y además: Ch-clorita; Hal-halloysita; Mn-asbolana y niquelhemelana-antigorita; Lep-lepidocrosita; Bo-boehmita; He-hematita.

CDU : 549.02 : 551.251 : 552.122 (729.16)

CARACTERISTICAS GEOLOGO-MINERALOGICAS DE LAS TOBAS ALTERADAS DE PALENQUE DE YATERAS, GUANTANAMO

Ing. Gerardo Orozco Melgar. Asistente del Departamento de Ciencias Geológicas Básicas del ISMMMoa

Ing. Jorge Carralero Castro. Asistente del Departamento de Ciencias Geológicas Básicas del ISMMMoa

Ing. Luis Rojas Purón. Instructor del Departamento de Ciencias Geológicas Básicas del ISMMMoa

RESUMEN

En este trabajo se presentan las características geológicas y el estudio mineralógico de las tobas alteradas de Palenque de Yateras. Se hace una valoración de la composición mineralógica de estas rocas sobre la base de los resultados obtenidos mediante el análisis por difracción de rayos-X, ensayos térmicos, análisis granulométrico y mediante el microscopio electrónico. Finalmente, se exponen algunas consideraciones sobre la génesis del proceso de zeolitización de este depósito de tobas vítreas presente en Palenque.

ABSTRACT

This work shows us the geological features and a mineralogical study of the altered tuffs from Palenque de Yateras. An assessment is made of the mineralogical composition of these rocks based on the results obtained from different analyses and techniques: i.e., X-ray diffraction, thermal tests, granulometric analysis and the electronic microscope.

Finally some criteria are given on the genesis of the zeolitization process of this vitreous tuffs deposit in Palenque.

El área objeto de estudio se encuentra ubicada al sur del macizo Mayarí-Baracoa. En ella tienen un amplio desarrollo las rocas terciarias de origen sedimentario y vulcanógeno-sedimentario constituidas por sedimentos de diferentes génesis. Los materiales del Cuaternario son escasos y por ello tienen poco valor.

Fm. San Luis. (P₂² - P₂¹). Al igual que la anterior mantiene sus características principales en las zonas de trabajos.

El corte estratigráfico está constituido por cuatro formaciones bien delimitadas que alcanzan en conjunto un espesor aproximado de 3 000 m.

Tectónicamente la zona de Palenque es sencilla sólo de forma muy local y en las rocas menos competentes aparecen algunos pliegues de pequeña amplitud. El agrietamiento es sin embargo intenso, destacándose dos direcciones predominantes al NE y NW, respectivamente. Las fallas son escasas y parecen bastante jóvenes.

Estas formaciones de la más vieja a la más joven son:

Señalados estos aspectos generales consideremos en particular a la Fm. El Cobre en la zona de trabajo.

Fm. Raisú. (P₂¹ ? - P₂²), descrita por M. Ortiz en 1976 [4], para designar una secuencia de calizas

En Palenque de Yateras la Fm. El Cobre está constituida por un potente espesor, alrededor de 900 m de tobas vítreas con un mayor o menor grado de alteración del vidrio volcánico.

Fm. El Cobre. (P₂²). En esta área la unidad presenta características diferentes al corte de esta formación en otras localidades. En particular está constituida por un potente espesor de tobas claramente diferenciables en dos secuencias. A estas rocas haremos referencias posteriormente ya que constituyen el objeto principal del trabajo.

En las condiciones de campo se pueden distinguir con toda facilidad dos secuencias claramente diferenciables. La inferior constituida por tobas masivas, de color blanco cremoso a verde muy tenue, ligeras y blandas con característica de meteorización esferoidal. La parte más alta de la secuencia está formada por tobas estratificadas en capas de hasta 1 m de potencia, de color verde intenso, muy duras y densas.

Fm. Charco Redondo. (P₂²). En Palenque de Yateras la unidad presenta características muy similares en relación con las áreas de exposición de la misma. Aparecen calizas blanco-cremosas microcristalinas o pelitomórficas.

Atendiendo a estos aspectos la Fm. El Cobre en Palenque de Yateras ha sido dividida en dos miembros [2]:

Miembro San Rafael. (P₂²). Localidad tipo en el alto de San Rafael en el afloramiento de coordenadas X 673 900 e Y 194 650. Para este miembro se calculan unos 400 m de potencia. No aparece distribuido en la zona de manera continua. Estratigráficamente corresponde a la secuencia inferior.

Miembro Madre Vieja. (P₂¹). Localidad tipo en el poblado de Madre Vieja, en la carretera Bernardo-Palenque, en el afloramiento de coordenadas X 695 600 e Y 191 900. La potencia es de alrededor de 500 m. Las litologías predominantes son las tobas vitroclásticas y vitrocrystalásticas. Subordinadamente aparecen tufitas intercaladas en el corte. Estratigráficamente corresponde a la secuencia superior de la formación.

VALORACION DE LA COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS TOBAS

Para realizar la evaluación de la composición mineralógica de las tobas se tuvo en cuenta la diferenciación macroscópica de las rocas que forman los dos miembros de la Fm. El Cobre.

El complejo de métodos empleados fue el siguiente: separación granulométrica, análisis por difracción de rayos X, análisis térmicos y químicos, así como descripción de secciones delgadas y fotos a través del microscopio electrónico de rastreo.

ANALISIS GRANULOMETRICO

Las muestras fueron molidas y tamizadas, y se obtuvieron fracciones de - 39 y - 44 micrones; además, por el método de sedimentación se obtuvo la fracción - 1 micrón. Dos muestras fueron procesadas de manera distinta; a las mismas se les sometió a un proceso de disgregación en una solución de pirofosfato de sodio para obtener la fracción - 63 micrones, y posteriormente, por medio del método de sedimentación, se obtuvieron cinco fracciones más: 20-63; 6,3-20; 2-6,3; 0,63-2 y <0,63 micrones. Los resultados de algunas muestras procesadas se observan en las Tablas 1 y 2.

ANALISIS DE MUESTRAS EN EL MICROSCOPIO PETROGRAFICO

El estudio de las secciones delgadas en el microscopio permitió establecer que las tobas de Palenque están compuestas principalmente por vidrio volcánico, el cual en gran medida aparece alterado formando minerales criptocristalinos con estructura fibrosa, apreciables fundamentalmente con nicols cruzados. Subordinadamente se observan cristales de plagioclasas a veces con

bordes corroídos y en ocasiones con extinción zonal; piroxenos rómbicos y monoclinicos, calcita en forma disgregada y pequeños cristallitos de micas. Las estructuras de las rocas son vitrocrystalásticas y en ocasiones vitroclásticas. El vidrio volcánico está presente en las rocas de las dos secuencias descritas y en ambas se encuentra alterado en mayor o menor medida.

ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

Por este método se procesaron once muestras empleando un difractómetro HZG-3 con régimen de trabajo, 36 kV y 20 mA, utilizándose radiación de cobre y cobalto. Se obtuvieron los roentgenogramas que se exponen en las Tablas 3, 4, 5 y 6 correspondientes a muestras representativas del miembro San Rafael y del miembro Madre Vieja. [3, 4, 5 y 6].

En la Tabla 7 se ofrecen los datos de patrones consultados en la literatura.

De la interpretación de los difractogramas se llega a la conclusión que los productos de alteración del vidrio volcánico son predominantemente minerales del grupo de las zeolitas y o montmorillonita. Se establecen las fases minerales del tipo clinoptilolita o heulandita según los reflejos: 9,0 Å, (10); 3,97 Å (10) y 3,89 Å (9) y para la moordenita 3,48 Å (10) y 3,45 Å (9). Existen reflejos bien definidos de montmorillonita que dada la relación de los reflejos de las caras (001)/(002), mayor que 13 Å, lo identifican como del tipo montmorillonita-moscovita de capas mezcladas según: 14,93 Å (8), 4,51 Å (5a) y 2,56 Å (2a). Para comprobar esto se sometieron varias muestras a tratamiento con glicol y calentamiento a 550 °C. Los resultados para las muestras P-2, P-4 y P-21 se ofrecen en la Fig. 1. En la misma puede observarse cómo el reflejo basal se desplaza después del tratamiento con glicol por encima de los 17 Å, y después del calentamiento ocurre la contracción del mismo hasta 9,99 Å lo que demuestra, según los datos de la literatura [5], que la montmorillonita presente es de capas mezcladas.

Cabe mencionar además a los feldespatos de la serie de las plagioclasas según: 3,40 Å (5), 3,21 Å (9), 3,20 Å (7) y mica para el reflejo 10,003 Å (3). Existe ópalo-cristobalita (Opal-Ct) pues hay reflejos anchos de 4,04 Å (3a) con dos o tres que le siguen en cascada, lo que de acuerdo con los datos de la literatura [5] indica que se trata de un mineral de transición de ópalo a cristobalita.

Los datos roentgenométricos nos indican que la fase feldespatos de la serie de las plagioclasas está alterada pues en ocasiones existen diferencias en sus distancias interplanares en relación con los datos patrones.

En la Tabla 8 se dan las alturas (I) en cm de los picos correspondientes a las fases zeolitas d=3,99 Å y d=9,00 Å de la muestra P-22 a. Como

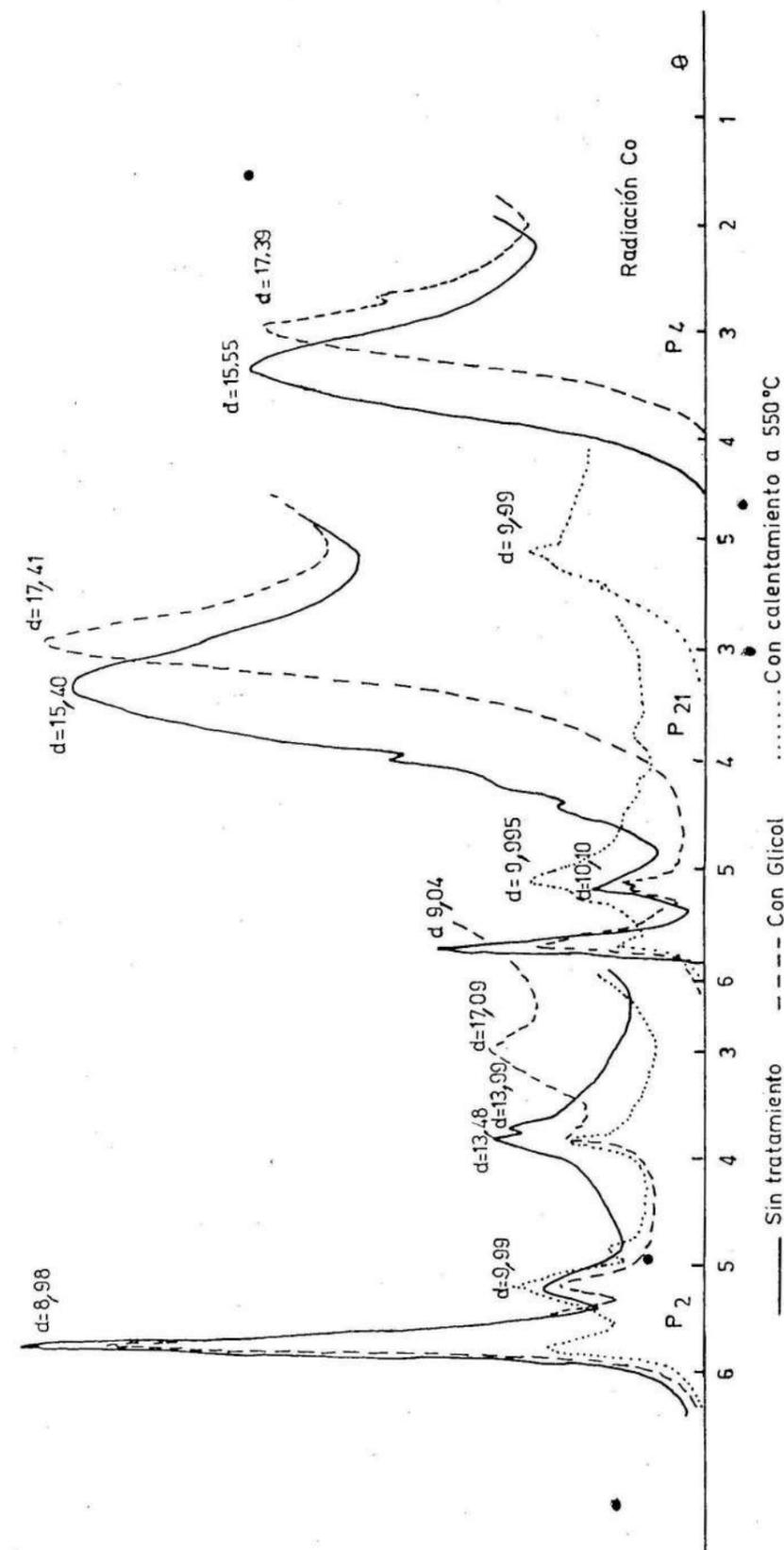


Fig. 1. Algoritmo de cálculo del modelo económico-matemático para determinar el complejo óptimo.

TABLA 1. Valores de los por cientos en peso de la fracción de 1 micrón.

| No. de la muestra | peso inicial en gramos | peso de la fracción menor de 1 micrón en g | por ciento en peso de la fracción menor de 1 micrón |
|-------------------|------------------------|--|---|
| P- 7 | 30 | 3,2 | 10,66 |
| P- 4 | 50 | 4,5 | 9,00 |
| P-14 | 50 | 4,0 | 8,10 |
| P- 2 | 50 | 3,9 | 6,18 |

TABLA 2.

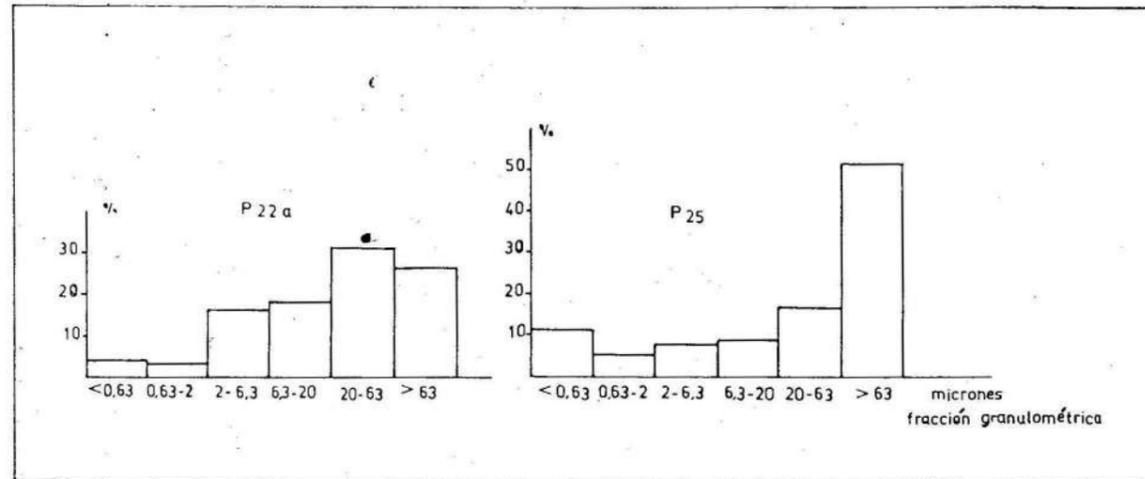


TABLA 3.

Valores de d (I/I₀)

P-21 Fracción menor de un micrón

| d | I/I ₀ | Zeol. | Mont. | Op-Ct | Feld. |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 14,79 | 100 | - | X | - | - |
| 13,47 | 28 | M | - | - | - |
| 9,204 | 25 | M | - | - | - |
| 8,964 | 67 | C+M | - | - | - |
| 7,929 | 12 | C | - | - | - |
| 6,775 | 14 | C | - | - | - |
| 6,560 | 23 a | M | - | - | - |
| 5,765 | - | ? | - | - | - |
| 5,241 | 18 | C | - | - | - |
| 5,137 | 16 | C | - | - | - |
| 4,947 | 6 | M | - | - | - |
| 4,784 | 6 | C | - | - | - |
| 4,676 | 12 | C | - | - | - |
| 4,495 | 100 | - | - | X | - |
| 4,368 | 68 | - | X | - | - |
| 4,328 | 20 | C | - | - | - |
| 4,22 | 44 | - | X | - | - |
| 4,06 | 80 | - | - | X | X |
| 3,968 | 100 | C+M | - | - | - |

TABLA 3 (continuación)

| | | | | | |
|-------|-----|---|---|---|---|
| 3,756 | 19 | M | - | - | - |
| 3,639 | 16 | M | - | - | - |
| 3,551 | 10 | C | - | - | - |
| 3,475 | 73 | M | - | - | - |
| 3,416 | 29 | M | - | - | - |
| 3,387 | 40 | M | - | - | - |
| 3,314 | 45 | - | - | X | - |
| 3,275 | 26 | - | - | - | X |
| 3,212 | 100 | - | - | - | X |
| 3,167 | 37 | M | - | - | X |
| 3,117 | 45 | C | - | - | - |
| 3,072 | 15 | C | - | - | - |
| 2,971 | 25 | C | - | - | - |
| 2,945 | 34 | C | - | - | X |
| 2,89 | 24 | M | - | - | - |
| 2,80 | 20 | C | - | - | - |
| 2,563 | 44 | - | X | - | - |
| 2,522 | 20 | M | - | - | X |
| 2,396 | 7 | C | - | - | - |
| 1,958 | 9 | M | - | - | - |
| 1,926 | 15 | M | - | - | - |

TABLA 4. Valores de d (I/I₀)

P-2 Fracción menor de 39 micrones

| d | I/I ₀ | Zeol. | Mont. | Op-Ct | Feld. |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 13,5 | 15 | M | X | - | - |
| 10,02 | Illita ? | - | - | - | - |
| 8,94 | 82 | C+M | - | - | - |
| 7,90 | 17 | C | - | - | - |
| 6,72 | 22 | M | - | - | - |
| 6,55 | 35 | M | - | - | - |
| 5,78 | ? | - | - | - | - |
| 5,27 | 15 | C | - | - | - |
| 5,10 | 19 | C | - | - | - |
| 4,64 | 16 | C | - | - | - |
| 4,507 | 100 | - | - | X | - |
| 4,38 | 14 | C | - | - | - |
| 3,972 | 100 | C+M | - | - | - |
| 3,906 | 46 | C | - | - | - |
| 3,756 | 37 | M | - | - | - |
| 3,804 | 10 | C | - | - | - |
| 3,62 | 11 | M | - | - | - |
| 3,545 | 8 | C | - | - | - |
| 3,457 | 91 | M | - | - | - |
| 3,378 | 53 | M | - | - | - |
| 3,34 | 80 | - | - | X | - |
| 3,196 | 100 | - | - | - | X |
| 3,168 | 51 | M | - | - | X |
| 3,12 | 26 | C | - | - | - |
| 3,07 | 19 | C | - | - | - |
| 3,02 | 26 | C | - | - | - |
| 2,97 | 50 | C | - | - | X |
| 2,89 | 26 | M | - | - | - |
| 2,79 | 21 | C | - | - | - |
| 2,734 | 16 | C | - | - | - |
| 2,68 | 21 | M+C | - | - | - |
| 2,569 | - | - | X | - | - |
| 2,519 | 32 | - | - | - | X |
| 2,429 | 13 | M+C | - | - | - |
| 2,398 | 11 | C | - | - | - |
| 2,278 | 5 | C | - | - | - |
| 1,956 | 13 | M | - | - | - |
| 1,874 | 17 | M | - | - | - |

TABLA 5.

P-1 Fracción menor de 39 micrones

| d | I/I ₀ | Mont. | Feld. | Op-Ct |
|-------|------------------|-------|-------|-------|
| 15,69 | 100 | X | - | - |
| 4,48 | | X | - | - |
| 3,637 | 18 | - | X | - |
| 3,467 | 11 | - | X | - |
| 3,34 | 100 | - | - | X |
| 3,196 | 100 | - | X | - |
| 3,175 | 99 | - | X | - |
| 3,144 | 16 | - | X | - |
| 3,13 | 22 | - | X | - |
| 3,01 | 13 | - | X | - |
| 2,94 | 22 | - | X | - |
| 2,838 | 18 | - | X | - |
| 2,648 | 9 | - | X | - |
| 2,56 | 67 | X | - | - |
| 2,519 | 29 | - | X | - |
| 2,501 | 15 | - | X | - |
| 1,831 | 12 | - | X | - |
| 1,792 | 13 | - | X | - |
| 1,771 | 20 | - | X | - |
| 1,492 | 50 | X | - | - |

P-25 Fracción 0,63-2 micrones

| d | I/I ₀ | Mont. | Feld. | Zeol. |
|--------|------------------|-------|-------|-------|
| 14,5 a | 100 | X | - | - |
| 4,39 | 77 | X | - | - |
| 4,28 | 41 | X | - | - |
| 4,16 | ? | - | - | - |
| 4,04 | | - | X | - |
| 3,96 | | - | - | X |
| 3,75 | | - | X | - |
| 3,71 | | - | X | - |
| 3,56 | | - | X | - |
| 3,42 | | - | X | - |
| 3,30 | ? | - | - | - |
| 3,17 a | 29 | X | - | - |
| 2,55 a | 29 | X | - | - |
| 2,49 a | | - | X | - |

TABLA 6.

Valores de d (I/I₀)

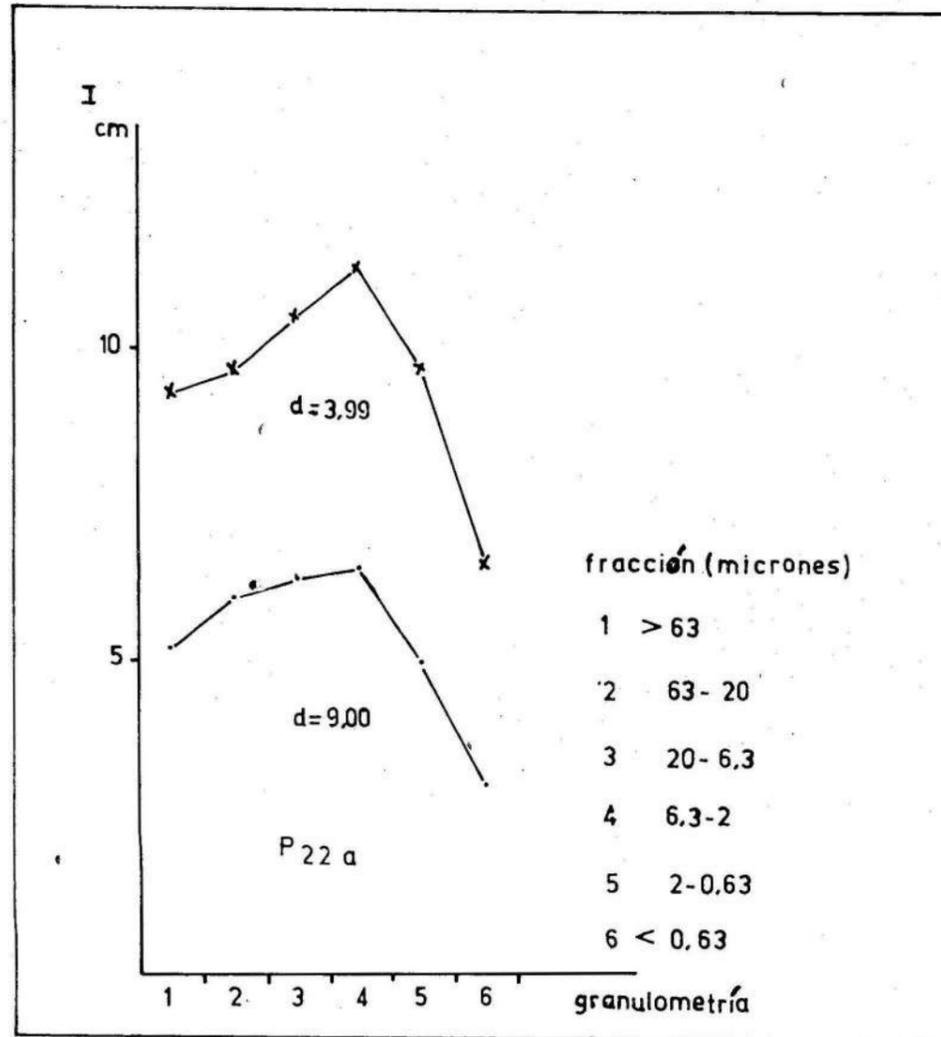
P-22 a Fracción 6,3-20 micrones

| d | I/I ₀ | Zeol. | Feld. | Op-Ct |
|---------|------------------|-------|-------|-------|
| 13,613 | 19 | M | - | - |
| 10,29 | 12 | M | - | - |
| 10,058 | illita ? | - | - | - |
| 9,28 | ? | - | - | - |
| 9,01 | 61 | C/M | - | - |
| 7,91 | 9 | C | - | - |
| 6,72 | 19 | C | - | - |
| 6,576 | 38 | M | - | - |
| 5,79 | ? | - | - | - |
| 4,51 | 50 | - | - | X |
| 4,303 | 38 | - | - | X |
| 4,236 | 41 | - | - | X |
| 4,07 | 100 | - | - | X |
| 3,99 | 100 | C/M | - | - |
| 3,91 | 38 | C | - | - |
| 3,83 | 24 | C | - | - |
| 3,766 | 15 | M | - | - |
| 3,466 | 100 | M | - | - |
| 3,414 | 31 | M | - | - |
| 3,381 | 47 | M | - | - |
| 3,34 | 16 | - | - | X |
| 3,217 | 100 | - | X | - |
| 2,956 a | 15/29 | C | X | - |
| 2,885 | 33 | M | - | - |
| 2,79 | 12 | C | - | - |
| 2,72 | 9 | C | - | - |
| 2,509 | 25 | - | X | - |
| 2,49 | 15 | - | - | X |

TABLA 7. Características roentgenométricas para zeolitas y montmorillonita.

| Clinoptilolita Mumpton, 1963 | | Mordenita Senderov, 1963 | | Montmorillonita Mijeev, 1957 | |
|---------------------------------|------|-----------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| I/I ₀ | d | I/I ₀ | d | I/I ₀ | d |
| 10 | 9,00 | 7 | 13,5 | 10 | 15,30 |
| 4 | 7,94 | 0,5 | 10,3 | 10 | 4,50 |
| 3 | 6,77 | 9 | 9,0 | 10 | 3,07 |
| 2 | 6,64 | 0,5 | 8,02 | 8 | 2,55 |
| 1 | 5,91 | 0,5 | 7,12 | 7 | 1,50 |
| 3 | 5,24 | 8 | 6,55 | | |
| 1 | 5,11 | 1 | 5,87 | | |
| 2 | 4,69 | 4 | 5,63 | | |
| 2 | 4,48 | 1 | 4,95 | | |
| 2 | 4,34 | 8 | 4,44 | | |
| 10 | 3,96 | 1 | 4,18 | | |
| 8 | 3,90 | 8 | 3,98 | | |
| 1 | 3,83 | 5 | 3,77 | | |
| 1 | 3,73 | 1 | 3,58 | | |
| 2 | 3,55 | 10 | 3,48 | | |
| 2 | 3,46 | 9 | 3,36 | | |
| 6 | 3,42 | 10 | 3,17 | | |
| 3 | 3,12 | 5 | 2,88 | | |
| 2 | 3,07 | 2 | 2,68 | | |
| 2 | 3,04 | 3 | 2,52 | | |
| 5 | 2,97 | 2 | 2,43 | | |
| 1 | 2,87 | 1 | 2,21 | | |
| 3 | 2,82 | 1 | 2,14 | | |
| 1 | 2,80 | 3 | 2,03 | | |
| 1 | 2,73 | 2 | 1,98 | | |
| 1 | 2,72 | 4 | 1,938 | | |
| 1 | 2,68 | 4 | 1,876 | | |
| 1 | 2,44 | 4 | 1,794 | | |
| 1 | 2,42 | 1 | 1,761 | | |
| 1 | 2,38 | 1 | 1,706 | | |
| 1 | 2,29 | 1 | 1,685 | | |
| | | 1 | 1,652 | | |
| | | 1 | 1,613 | | |
| | | 3 | 1,588 | | |

TABLA 8.



se aprecia, las intensidades mayores se presentan para las granulometrías desde 20 a 2 micrones que es donde se concentran los minerales del grupo de las zeolitas, aunque esta fase está presente en todas las fracciones.

Aunque el proceso de alteración se ha desarrollado tanto en las rocas de la secuencia inferior como en las de la secuencia superior, de acuerdo con los datos roentgenográficos se establece que en la secuencia inferior el proceso de alteración es predominante hacia la formación de minerales del tipo montmorillonita-moscovita de capas mezcladas, y en la secuencia superior predomina la alteración hacia los minerales del grupo de las zeolitas.

ANÁLISIS TÉRMICOS

Los datos de los análisis térmicos corroboran los obtenidos por difracción de rayos X. Las rocas

ricas en zeolitas muestran una curva ATD con un solo efecto endotérmico alrededor de los 160 °C. La curva de pérdida de peso (TG), revela un proceso gradual de este fenómeno con el aumento de la temperatura, sin escalones intermedios.

Cuando la roca, además de poseer zeolitas contiene arcillas, muestra P-2, Fig. 2; el primer pico endotérmico se hace más agudo en la curva ATD y pueden presentarse otros alrededor de los 550 y 780 °C. La curva TG presentará entonces escalones aunque, si predominan las zeolitas, mantiene el aspecto de continuidad.

Este método es muy conveniente pues permite calcular los contenidos de montmorillonita y zeolitas cuantitativamente.

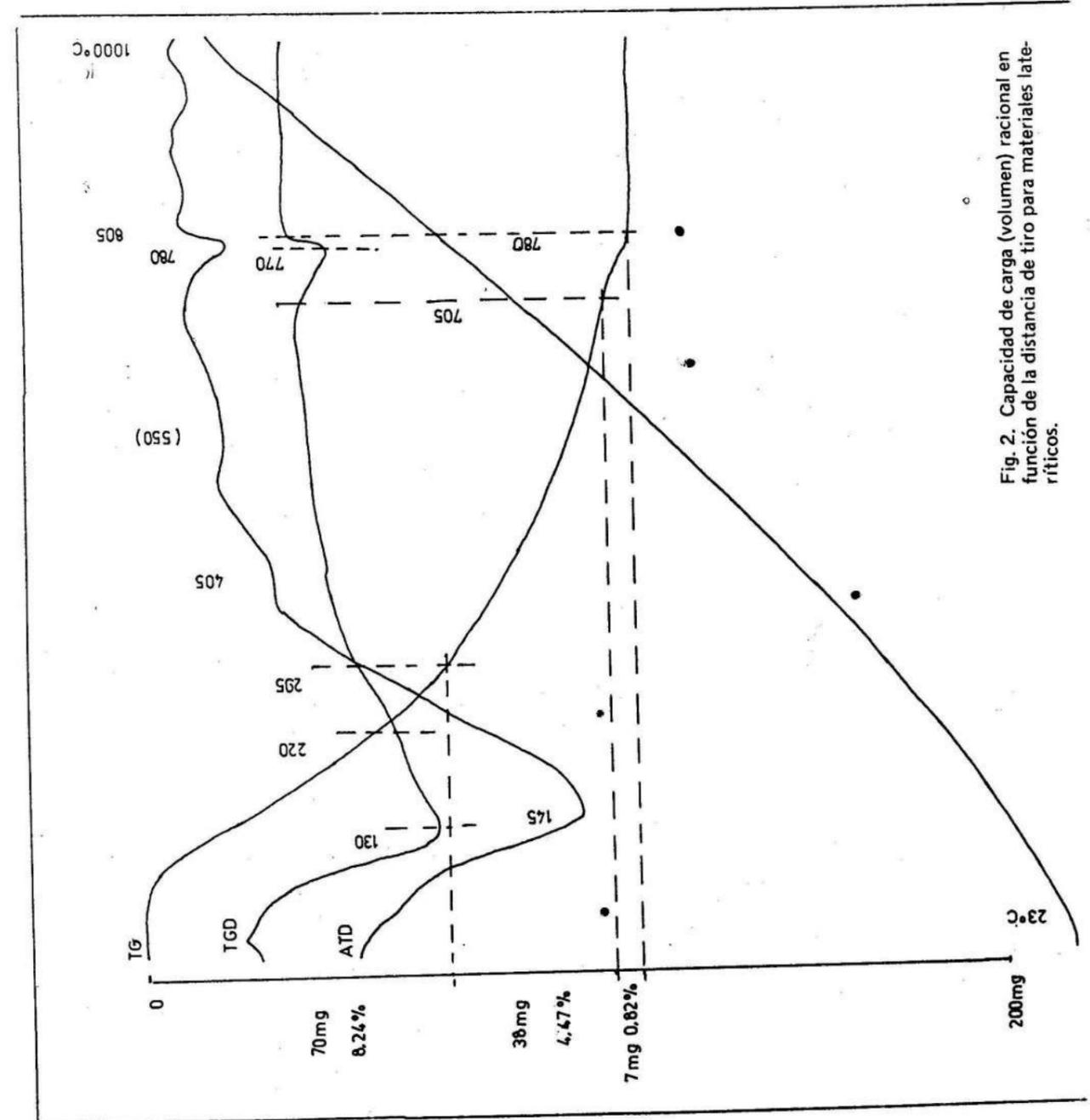


Fig. 2. Capacidad de carga (volumen) racional en función de la distancia de tiro para materiales láte- ríticos.

TABLA 9. Análisis químicos completos de tobas alteradas.

| Muestra | P 22 | P 22 b | P 7 | P 3 c | P 2 | P 10 | P 14 | P 4 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 61,34 | 67,87 | 57,16 | 65,34 | 61,92 | 59,46 | 67,56 | 59,32 |
| Al ₂ O ₃ | 14,37 | 11,85 | 15,76 | 11,95 | 12,87 | 16,01 | 12,48 | 16,06 |
| TiO ₂ | 0,46 | 0,28 | 0,59 | 0,24 | 0,34 | 0,66 | 0,34 | 0,58 |
| CaO | 3,66 | 2,99 | 4,10 | 3,99 | 5,54 | 5,10 | 3,66 | 4,65 |
| MgO | 2,31 | 0,24 | 4,49 | 0,70 | 1,75 | 2,31 | 1,35 | 3,03 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,48 | 1,20 | 5,48 | 0,75 | 2,47 | 3,84 | 1,16 | 3,65 |
| Na ₂ O | 1,50 | 2,00 | 1,30 | 2,35 | 1,50 | 1,95 | 1,55 | 2,90 |
| K ₂ O | 1,73 | 0,84 | 0,53 | 2,22 | 1,56 | 1,87 | 0,93 | 1,29 |
| P ₂ O ₅ | 0,108 | 0,02 | 0,089 | 0,097 | 0,060 | 0,09 | 0,056 | 0,112 |
| MnO | 0,053 | 0,007 | 0,043 | 0,030 | 0,030 | 0,10 | 0,013 | 0,080 |
| SO ₃ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| FeO | 2,57 | 1,49 | 2,26 | 2,37 | 0,82 | 2,62 | 1,03 | 2,73 |
| PPI | 8,68 | 10,18 | 7,99 | 8,76 | 10,34 | 6,85 | 9,23 | 5,65 |

ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis químicos realizados a varias muestras se exponen en la Tabla 9. Las muestras P-4, P-21, P-7 y P-10 corresponden a rocas del miembro San Rafael, y las muestras P-2, P-22, P-14 y P-3 corresponden a rocas del miembro Madre Vieja.

Es significativo que las rocas del miembro San Rafael, ricas en montmorillonita, poseen mayor contenido de MgO, así como menor contenido de SiO₂ en relación con las rocas de la secuencia superior, más ricas en zeolitas. Esto se aprecia con claridad tanto en el diagrama SiO₂-MgO-Al₂O₃ como en el diagrama SiO₂-Na₂O - K₂O - MgO que se muestran a continuación. La relación SiO₂/Al₂O₃ se comporta de manera distinta para ambos tipos de rocas. Para las tobas predominantemente arcillosas esta relación tiene, como promedio, un valor de 3,83, mientras que en las tobas ricas en zeolitas el valor se eleva, como promedio, hasta 5,36.

Dados los elevados valores del contenido de sílice de estas rocas se puede establecer, de forma general, que tanto durante la alteración del vidrio volcánico a arcillas como a zeolitas se produce una concentración de la sílice, es decir, en este proceso no hay migración del silicio.

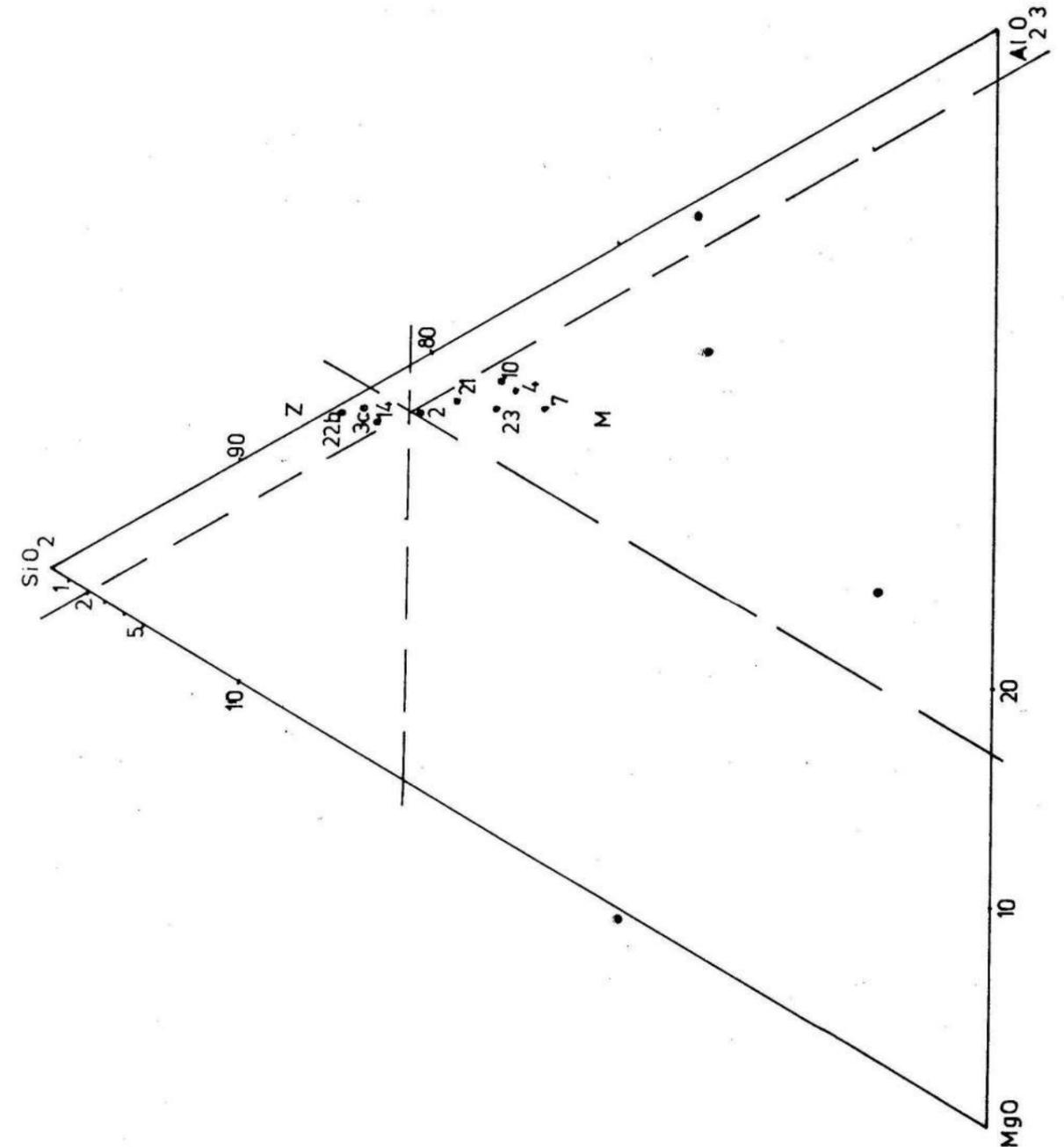
MICROSCOPIA ELECTRONICA

Se tomaron fotos a través de un microscopio electrónico de rastreo a dos muestras: P-25, rica en arcillas y P-22 a, rica en zeolitas. La Foto 1 (muestra P-22 a) permite observar, con un aumento de 3 000 x, agregados en forma de felpa rellendo poros que forman agujas de 1 micrón de largo por 0,1 micrón de diámetro. Los poros de la muestra P-25, Fotos 2 y 3 (aumentos 1 000 x y 5 000 x, respectivamente) están rellenos por un material en forma de panal con fibras de longitud igual a 1 micrón y 0,1 micrón de espesor y menores. Esta forma es típica de la montmorillonita. Lo anterior comprueba los datos roentgenográficos y permite establecer cómo la alteración avanza rellendo poros alrededor de los granos de vidrio volcánico.

CONSIDERACIONES SOBRE EL PROCESO DE ALTERACION DE LAS TOBAS

La formación de zeolitas a partir del vidrio volcánico de tobas y otros tipos de rocas, está ampliamente reportada en la literatura [1] y [7]. En Cuba, algunos autores [1,3] ya han establecido la presencia de minerales del grupo de las zeolitas a partir del vidrio volcánico en diferentes zonas del país, y suponen que las mismas se formaron por alteración hidrotermal del vidrio volcánico.

En la zona de Palenque existe una marcada diferenciación en la composición mineralógica de los miembros descritos. Mientras que las rocas del miembro inferior están alteradas principalmente convirtiéndose en minerales arcillosos del tipo montmorillonita-moscovita de capas mezcladas, las rocas del miembro superior aparecen alteradas principalmente a minerales del grupo de las zeolitas. Las zeolitas establecidas son ricas en sílice y esto hace que la composición actual de las rocas sea ácida, hecho demostrado por los análisis químicos. Considerando los dos tipos de alteración presentes en las rocas y su sucesión en el tiempo, proponemos el siguiente esquema: vidrio volcánico (alteración submarina)-Montmorillonita-zeolitas. La sucesión en el tiempo del tipo de alteración podría explicarse por la variación de la composición del material original depositado en la cuenca de un quimismo básico-medio o medio-ácido (?) con la ulterior concentración de la sílice, evidenciado por la presencia de ópalo-cristobalita en las muestras, y migración del magnesio que favoreció la formación de las zeolitas. Este mecanismo que ocurrió durante la diagénesis de las rocas es bastante complejo y se supone un proceso de hidratación y sustitución para las arcillas y de ulterior disolución, concentración y cristalización en poros para las zeolitas como lo demuestran las fotos del microscopio electrónico, y que se evidencia porque en las rocas está presente siempre vidrio volcánico no alterado, lo cual se explica por un mecanismo de disolución selectiva que produjo un proceso de alteración no homogéneo influido por el tiempo de contacto de la solución con el material depositado, cristalizando los minerales en aquellos puntos donde las condiciones físico-químicas eran más favorables para su formación.



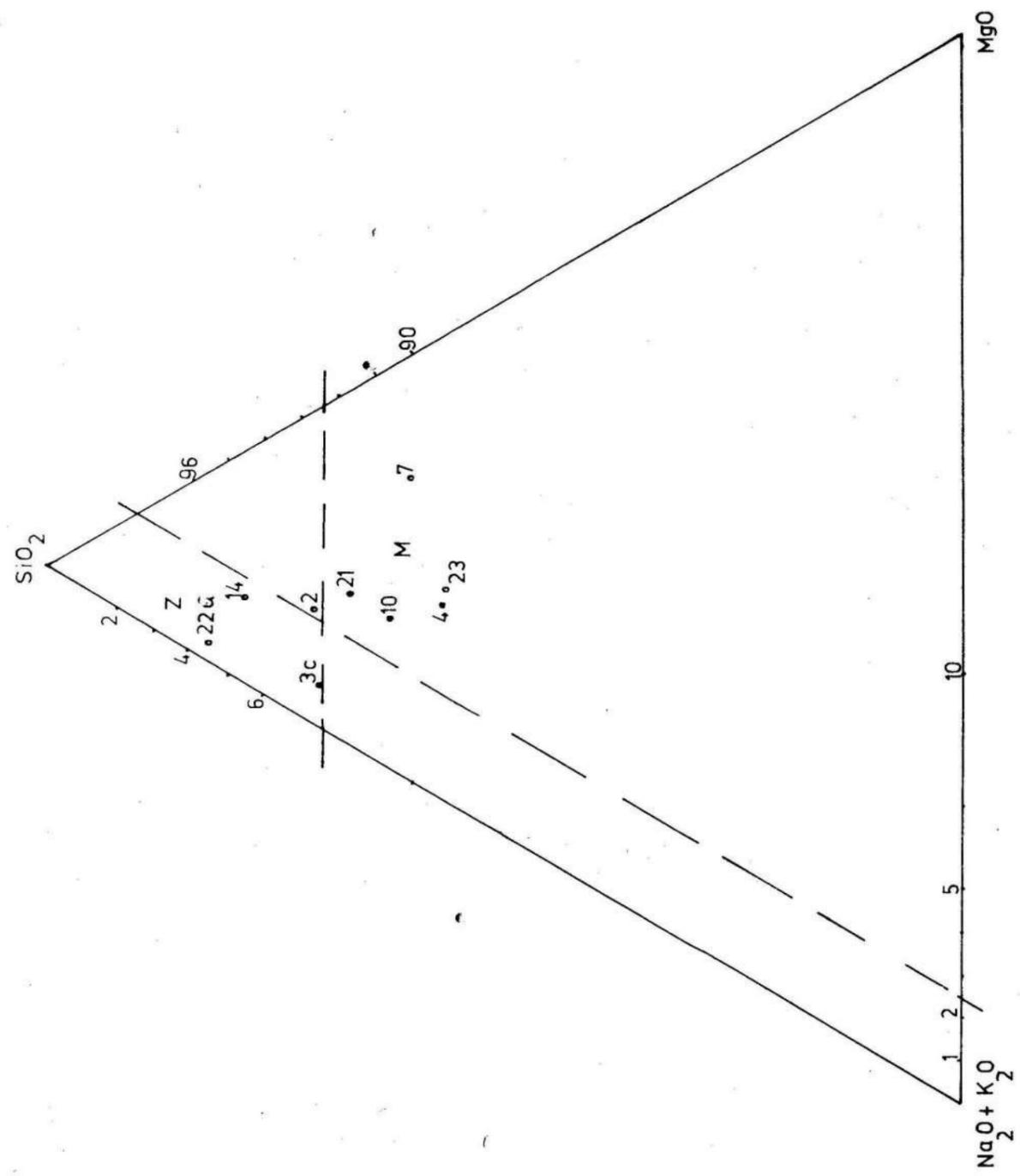


Foto 1.

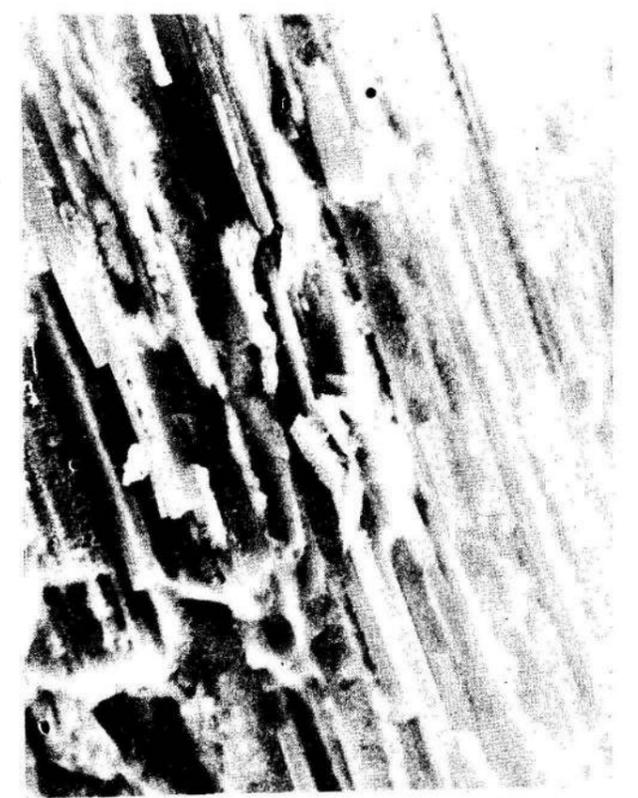


Foto 2.

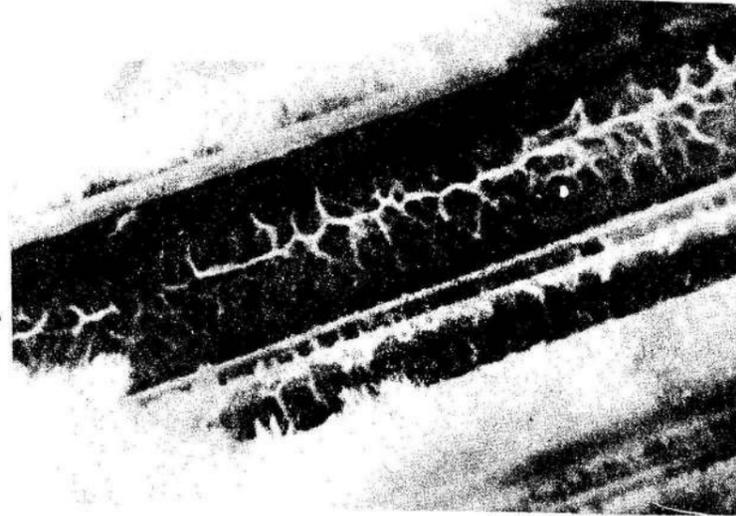


Foto 3.

CONCLUSIONES

1. La Fm. El Cobre en la zona de Palenque se puede dividir en dos miembros: el inferior denominado San Rafael y el superior denominado Madre Vieja.
2. Las rocas del miembro San Rafael están alteradas principalmente a minerales arcillosos del tipo montmorillonita-moscovita de capas mezcladas.
3. Las rocas del miembro Madre Vieja están alteradas principalmente a minerales del grupo de las zeolitas. Las zeolitas establecidas son: clinoptilolita y mordenita.
4. Se supone para los nuevos minerales formados a partir del vidrio volcánico un proceso diagenético-sedimentario.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio cuantitativo del contenido de arcillas y zeolitas para evaluar los contenidos presentes de estos minerales en las rocas.
2. Realizar un estudio de las propiedades de las tobas alteradas para evaluar su posible utilización industrial.
3. Ampliar este estudio hacia la zona de Bernardo, más al este, donde también aparecen litologías semejantes.

REFERENCIAS

1. BRITO, A.: "Geología, mineralogía y génesis de las rocas zeolíticas de la antigua provincia de Oriente" en Informe científico-técnico no. 145. Instituto de Paleontología y Geología, La Habana, 1980.

2. CARRALERO, N.: "Levantamiento geológico de la región de Palenque". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1976.

3. COUTIN, D. P. y otros: "Sobre el descubrimiento en Cuba de rocas zeolíticas de importancia industrial". Publicación especial no. 2, Geología de los yacimientos minerales útiles de Cuba. ACC, 1974.

4. ORTIZ, M.: "Estudio petrográfico y mineralógico de las rocas detríticas de Palenque". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1976.

5. QUINTANA, R.: "Investigaciones de análisis de fases de los componentes no carbonatados de margas y caolines de la región de Cienfuegos, Cuba Central". Disertación Universidad Ernst-Moritz Arndt, Greiswald, R.D.A, 1980.

6. ROJAS, L.: "Estudio de la composición mineralógica de las rocas vulcanógeno-sedimentarias alteradas en Palenque de Yateras, Guantánamo". Trabajo de Diploma, ISMMMoa, 1981.

7. VLASOV, V. V. y S. A. VOLCOVA: "Análisis rcentgenográfico cuantitativo de las rocas zeolíticas". Instituto de Materias Primas, Moscú, 1980.

8. VOSNESENSKI, A. I. y otros: "Zeolitas en los depósitos oligocénicos del norte de Ustiurt y el norte oeste del Priuralie" en *Litología y Minerales Útiles*, no. 5, 1975 (en ruso).

APLICACION DE DIFERENTES METODOS MATEMATICOS AL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LOS HORIZONTES NIQUELIFEROS DEL YACIMIENTO "MARTI" EN NICARO

Dr. Oleg Vladimirovich Lepin, Profesor Invitado del Instituto de Minas de Leningrado

Lva Sánchez Sánchez, Ingeniera Instructora, Departamento de Ciencias Geológicas Aplicadas del ISMMMoa

RESUMEN

El trabajo que se presenta fue realizado en el yacimiento "Martí", en Nicaro, con el objetivo de analizar la utilidad de diversos métodos matemáticos para el estudio de la variabilidad y el cálculo de la red de exploración. Para ello fueron utilizados dos bloques con características geólogo-mineralógicas diferentes, con un total de 188 pozos. El estudio se realizó sobre la base del parámetro geólogo-industrial que manifiesta una máxima variabilidad para estos bloques.

Los métodos matemáticos utilizados fueron:

- Método de Kasakovsky
- Método de Osetsyky
- Método estadístico
- Método de autocorrelación
- Método de los gradientes (propuesto por primera vez)

Estos métodos se aplicaron para la red existente de exploración y de explotación (25-25 m) y para diferentes variantes de una densificación y enrarecimiento experimental.

La comparación de los diferentes métodos por distintas variantes permite concluir que los métodos más eficaces para el cálculo de la densidad de la red son los métodos estadísticos y de autocorrelación, mientras que los restantes sólo pueden utilizarse para el análisis de redes suficientemente densas. Se revela además la eficacia del método de Kasakovsky y la eficacia del método de los gradientes.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the "Martí" deposit, in Nicaro with the objective of analyzing the use of different mathematical methods for the study of the variability and calculation of the exploration net. For this purpose, were selected two blocks with different geolo-mineralogical features, with a total of 188 wells.

The study was based on the geolo-industrial parameter, which presents a maximum variability in this blocks.

The mathematical methods used were:

- Kasakovsky Method
- Osetsyky Method
- Statistical Method
- Self-correlation Method
- Gradients' Method (proposed for the first time)

These methods were applied to the existing exploitation-exploration net (25-25 m) and for different variants of an experimental densification and rarefaction of such net.

The comparison of the different methods through different variants, allows us to conclude that the most efficient methods for the calculation of the density of the net are the statistical and self-correlation methods while the rest can only be used for the analysis of sufficiently dense nets. The efficiency of the Kasakovsky and Gradients methods is also revealed.