



110



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN 82

94802

**ESTUDIOS DE GEOCRONOMETRIA
Y MINERALOGIA**

I. EDAD DE TRES ROCAS INTRUSIVAS EN LA PARTE
CENTRO-SEPTENTRIONAL DE MÉXICO

POR

*JERJES PANTOJA ALOR y CESAR RINCON ORTA, COAUTORES:
JOSE G. SOLORIO y CARL FRIES, Jr.*

II. NUEVOS DATOS SOBRE MACKAYITA

POR

RICHARD V. GAINES

III. ILVAITA DE EL GUARICHO, MICHOACÁN

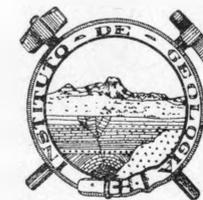
POR

LIBERTO DE PABLO

IV. CÁLCULO CRISTALOGRAFICO

POR

FRANCISCO J. FABREGAT y RICARDO ESQUIVEL ESPARZA



MEXICO, D. F.

1967



1045

CONTENIDO

I. Edad de tres rocas intrusivas de la parte centro-septentrional de México 7
*Por Jerjes Pantoja Alor y César Rincón Orta
coautores: José G. Solorio y Carl Fries, Jr.*

II. Nuevos datos sobre mackayita 25
Por Richard V. Gaines.

III. Ilvaita de El Guaricho, Michoacán ... 37
Por Liberto de Pablo.

IV. Cálculo cristalográfico 55
*Por Francisco J. Fabregat
y Ricardo Esquivel Esparza.*

UNIV. NAL. AUTÓN. MÉXICO, INST. GEOLOGÍA, BOL. 82, pte. 1,
p. 7-24, 3 lám., 1 fig., 2 tablas.

**ESTUDIOS DE GEOCRONOMETRIA
Y MINERALOGIA**

P A R T E I

EDAD DE TRES ROCAS INTRUSIVAS DE LA PARTE CENTRO-
SEPTENTRIONAL DE MEXICO

POR

JERJES PANTOJA-ALOR y CESAR RINCON-ORTA

COAUTORES

JOSE G. SOLORIO y CARL FRIES, Jr.

CONTENIDO

I. EDAD DE TRES ROCAS INTRUSIVAS DE LA PARTE CENTRO-SEPTENTRIONAL DE MEXICO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCION	11
BOSQUEJO GEOLOGICO	12
Tronco de Cerro Redondo	12
Rancho El Pico	14
Tronco de Pichaguilla	14
DESCRIPCION PETROGRAFICA Y QUIMICA	14
DETERMINACION DE EDAD	20
DISCUSION DE LAS EDADES	20
CONCLUSIONES	22
RECONOCIMIENTOS	23
BIBLIOGRAFIA	23

ILUSTRACIONES

FIGURA 1.—Localización de los sitios de donde proceden los tres ejemplares de rocas estudiadas	13
LÁMINA 1.—Mapa geológico de los alrededores de San Pedro del Gallo, Durango	15
LÁMINA 2.—Mapa geológico de los alrededores del Rancho El Pico, Zacatecas	17
LÁMINA 3.—Mapa geológico de los alrededores de lomas de Pichaguilla, Durango	19

TABLAS

TABLA No. 1.—Análisis químicos cuantitativos de las tres muestras estudiadas	16
TABLA No. 2.—Porcentaje de los constituyentes de la norma molecular a partir del método de Niggli	18

RESUMEN

Las edades de las tres rocas intrusivas que se discuten, se obtuvieron por el método de plomo-alfa o de Larsen, utilizando para las determinaciones isotópicas el zircón contenido en las rocas. De la muestra LG—3 procedente del tronco de pórfido riódacítico de Cerro Redondo, se obtuvo una edad de 40 ± 10 m. a., correspondiente al Eoceno tardío. La muestra LG—14 procedente del tronco monzonítico del Rancho El Pico dió una edad de 80 ± 10 m. a., equivalente al Santoniano. La determinación de la muestra LG—20 procedente del pórfido riódacítico de Pichaguilla fue de 70 ± 10 m. a., cuyo emplazamiento debió ocurrir durante el Maestrichtiano. Las edades pueden corresponder al tiempo de emplazamiento de los cuerpos citados, sin embargo, se recomiendan para confirmarlas otras determinaciones isotópicas por métodos distintos.

La fecha de 40 m. a., del tronco de Cerro Redondo marca un evento intrusivo ya confirmado con la determinación de otras edades, para el cual se propone el nombre de Evento Intrusivo Zacatecano. Las edades de 80 m. a., y 70 m. a., de los troncos de Rancho El Pico y Pichaguilla indican una época de actividad magmática conocida como Evento Intrusivo Santaluciano, correspondiente a la fase anatéctica del ciclo geotectónico mexicano.

INTRODUCCION

Para resolver una serie de problemas geotectónicos de la parte central y septentrional de México, es necesario conocer la edad del emplazamiento de numerosos cuerpos plutónicos e hipabisales que intrusan la cubierta sedimentaria mesozoica y cuyas relaciones con las rocas terciarias suprayacentes son casi desconocidas. Las evidencias de campo indican cuando menos dos períodos de actividad magmática de carácter intrusivo, correspondientes aparentemente al comienzo y al final de la Orogenia Laramiana.

Conociendo la importancia del problema, Fries (q.e.p.d.) sugirió un programa de recolección de muestras procedentes de lugares en donde ya se tuviera algún conocimiento de la geología regional. Lamentablemente, su muerte dejó inconcluso el trabajo en su primera etapa de recolección, aunque ahora, lo presentan los que éste escriben cuando menos en parte, discutiendo las edades aparentes de tres cuerpos intrusivos, localizados en la parte centro-septentrional de México.

La muestra LG—3 procedente del pórfido riódacítico de Cerro Redondo fue colectada por Pantoja Alor. La muestra LG—14 monzonita procedente del Rancho El Pico fue colectada por Fries y Diego Córdoba durante una excursión a la región de Apizolaya, realizada en la primavera de 1962. Durante el mismo viaje y en el trayecto de San Juan de Guadalupe, Zacatecas, a San Bartolo, Durango, Fries colectó la muestra LG—20 del pórfido riódacítico de Picha-

guilla. La localización aproximada de los cuerpos intrusivos donde se colectaron las rocas, se puede ver en el Mapa Índice de la Figura 1.

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1959), la región donde se emplazaron los intrusivos objeto de este estudio, está ubicada en el extremo meridional de la provincia fisiográfica de Cuencas y Sierras (Basin and Range province), en su límite con el extremo occidental de las Sierras Transversales, considerada como subprovincia de la Sierra Madre Oriental. La altura promedio de las cadenas montañosas varía entre los 2000 y 2100 m y la de los valles entre los 1500 y 1700 m. Las sierras están formadas por rocas sedimentarias mesozoicas, fuertemente plegadas y afectadas por el tectonismo laramiano.

Las edades de las tres rocas intrusivas que se discuten se obtuvieron por el método de plomo-alfa o Larsen (Larsen *et al.*, 1952) para lo cual se utilizó el concentrado de zircón seleccionado y obtenido de las muestras correspondientes. La trituración de la roca, concentración y separación de los constituyentes minerales, los análisis químicos y el conteo de partículas alfa, se realizaron en los Laboratorios de Geocronometría del Instituto de Geología. La determinación del contenido de plomo se hizo en la Sección de Geología de Isótopos del Servicio Geológico Norteamericano.

A pesar de las inexactitudes del método plomo-alfa y por que únicamente se hizo una determinación isotópica de cada una de las muestras de los intrusivos, se piensa que, dentro de los límites razonables de error, las edades calculadas corresponden al tiempo de emplazamiento de los citados cuerpos intrusivos, a los que por sus relaciones estratigráficas, y discordancias con las rocas que los rodean, lo mismo que por su forma y por sus dimensiones, se les clasifica como troncos (stocks).

BOSQUEJO GEOLOGICO

Tronco de Cerro Redondo. Las rocas más antiguas de la región que son intrusadas por el tronco de Cerro Redondo, corresponden a la Formación Nazas (Pantoja-Alor, 1963) de edad jurásica temprana-jurásica media. Esta unidad está constituida de derrames y tobas interestratificadas con lutita, limolita, arenisca y conglomerado de rocas volcánicas. Sobre esta unidad descansan estratos marinos de las formaciones La Gloria y La Casita, del Jurásico Tardío, las cuales también fueron intrusadas por el cuerpo de pórfido riódacítico. Es posible, aunque no se observa, que los sedimentos marinos del Cretácico Inferior también fueron intrusados y posteriormente removidos por la erosión, aunque su espesor haya sido bastante delgado dentro del área. Casi toda la mitad oriental del tronco de Cerro Redondo fue emplazada en los clásticos de la Formación Indidura-Caracol de edad turoniana-coniaciana. Puesto que otras rocas más jóvenes no afloran en la periferia, esta última unidad marca el límite cronoestratigráfico superior del intrusivo, (véase Lámina 1). El afloramiento del pórfido riódacítico tiene una forma irregular de unos 1250 m de largo por unos 750 m en su parte más ancha.

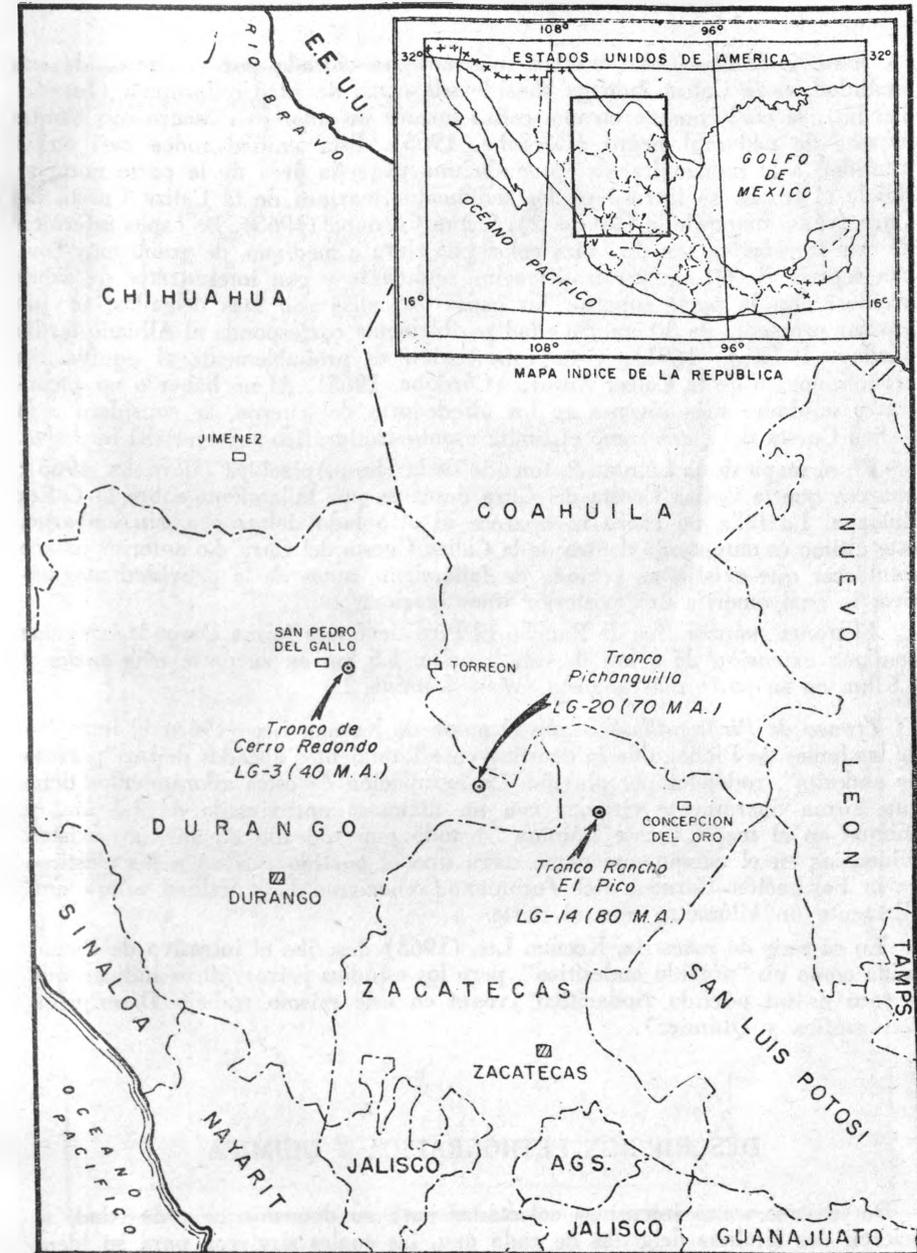


Fig. 1. Mapa índice de la parte centro-septentrional de México que muestra la procedencia y edad, en millones de años de las tres muestras analizadas.

Rancho El Pico.—La unidad más antigua cortada por el tronco de esta localidad, es la Caliza Zuloaga considerada como de edad oxfordiana (Jurásico Tardío), la cual consiste en una caliza masiva de color gris oscuro con bandas escasas de pedernal negro (Córdoba, 1965). Esta unidad rodea casi en su totalidad a la monzonita, exceptuando una pequeña área de la parte norte en donde el tronco se intrusó en los sedimentos marinos de la Caliza Cuesta del Cura (véase mapa de la Lámina 2). Según Córdoba (1965), las capas inferiores de esta formación, son de caliza color gris claro a mediano, de grano muy fino, con espesor de 60 cm y estratificación ondulante y con interstratos de caliza arcillosa. En la parte superior las capas de caliza son más delgadas, con un espesor promedio de 30 cm. Su edad posiblemente corresponda al Albiano tardío (Imlay, 1938, p. 1691), y en esta región es probablemente el equivalente cronolitológico de la Caliza Aurora (Córdoba, 1965). Al no haber o no encontrarse unidades más jóvenes en los alrededores del cuerpo, se considera a la Caliza Cuesta del Cura como el límite cronoestratigráfico superior del intrusivo.

En el mapa de la Lámina 2, tomado de la Hoja Apizolaya (Córdoba, 1965), aparece que la Caliza Cuesta del Cura descansa por fallamiento sobre la Caliza Zuloaga. La falla no cruza ni aparece al otro lado del tronco, sin embargo, este último es emplazado dentro de la Caliza Cuesta del Cura. Lo anterior parece establecer que existió un período de fallamiento antes de la actividad magmática, lo cual amerita una posterior investigación.

El tronco monzonítico de Rancho El Pico tiene una forma alargada irregular con una extensión de 3 km de este a oeste, 1.5 km en su parte más ancha y 0.5 km en su parte más angosta (véase Lámina 2).

Tronco de Pichaguilla.—Según el mapa de Keenan Lee (1963) el intrusivo de las lomas de Pichaguilla lo constituyen afloramientos aislados de un "pórfido de andesita", rodeados por aluvión. La agrupación de estos afloramientos tiene una forma ligeramente circular con un diámetro aproximado de 1.5 km, y aunque en el mapa (véase Lámina 3) todo está rodeado de aluvión, existen evidencias en el campo que demuestran que el pórfido intrusó a los clásticos de la Formación Caracol, del Turoniano-Coniaciano. Esta unidad aflora ampliamente un kilómetro más al norte.

En su tesis de maestría, Keenan Lee (1963) describe el intrusivo de Pichaguilla como un "pórfido andesítico", pero los estudios petrográficos indican que la roca es un pórfido riódacítico (véase en este mismo trabajo Descripción Petrográfica y Química).

DESCRIPCION PETROGRAFICA Y QUIMICA

De las tres rocas intrusivas colectadas para su determinación de edad, se hicieron dos láminas delgadas de cada una, las cuales sirvieron para su identificación al microscopio. Una porción representativa de cada muestra fue analizada químicamente por Alberto Obregón Pérez, del Instituto de Geología. Los resultados de estos análisis aparecen en la Tabla 1.

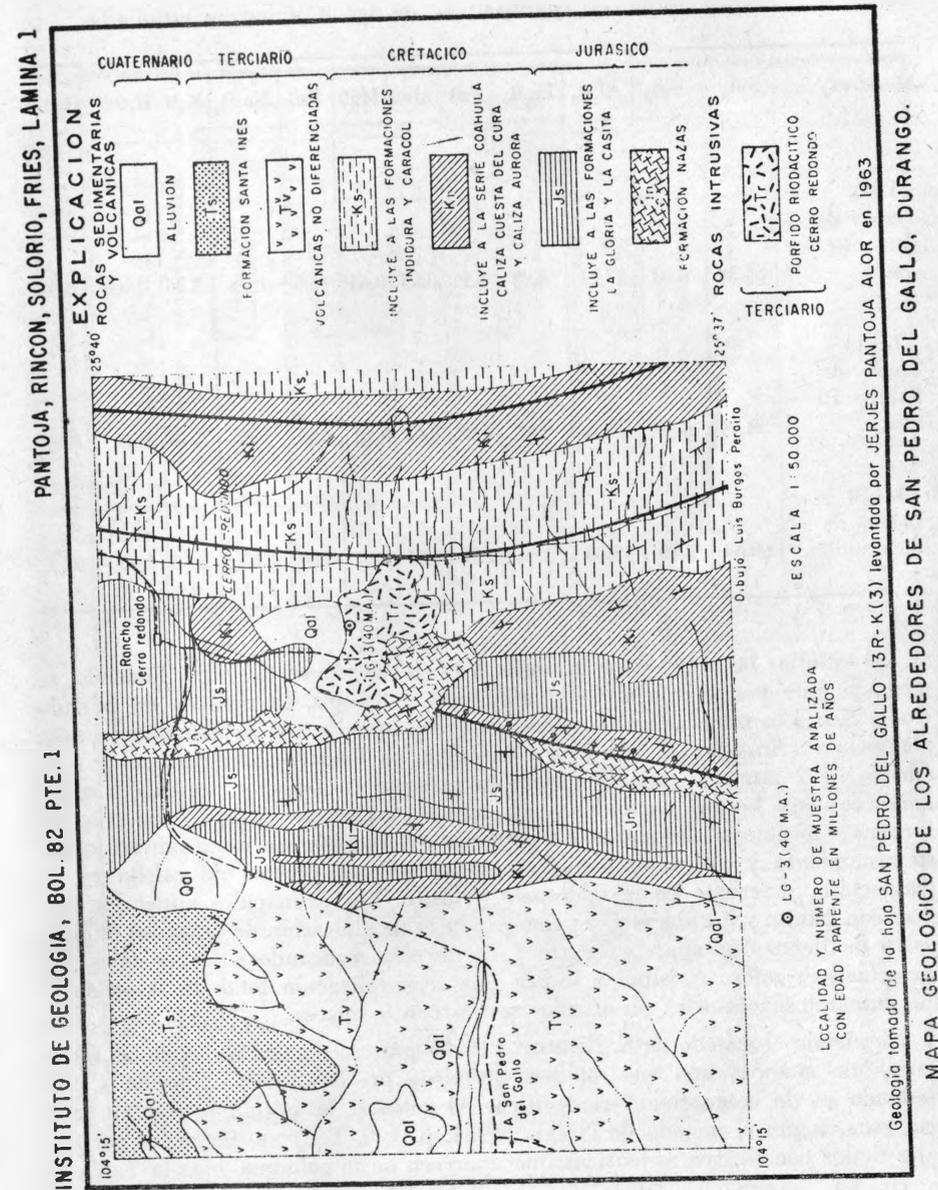


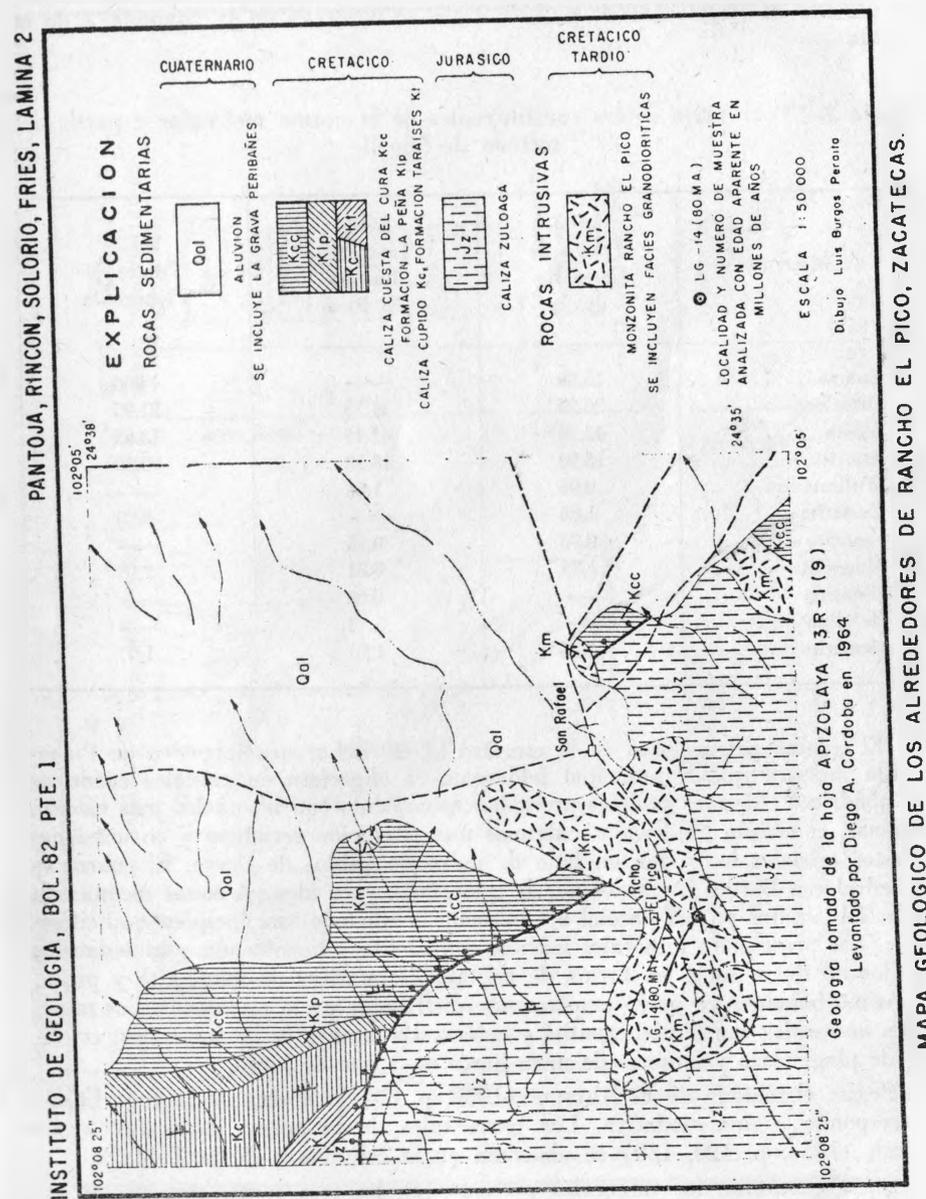
Tabla 1.—Análisis químicos cuantitativos de las 3 muestras estudiadas.

Muestras	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O—
LG-3 Tronco de Cerro Re- dondo	64.39	0.63	17.11	3.22	1.11	0.05	0.65	3.65	4.63	3.36	0.90	0.20
LG-14 Tronco de Rancho El Pico	58.18	0.53	21.31	2.56	0.82	0.07	0.13	4.73	5.29	5.40	1.09	0.19
LG-20 Tronco de Pichaguilla	60.53	0.80	18.06	3.96	1.78	0.07	1.39	4.09	3.65	3.63	2.00	0.19

Al estudiar las láminas de la muestra LG-3 del tronco de Cerro Redondo, se concluye que por el conjunto de minerales y textura, la roca es un pórfido riódacítico. Los minerales observados, en orden aproximado de abundancia, son: plagioclasa (An₁₀-An₂₀), ortoclasa y sanidino, en fenocristales anédricos y subédricos de 2 mm a 5 mm. El cuarzo se presenta en fenocristales subédricos a anédricos con bordes corroídos y en algunas partes se agrupan los cristales formando mosaicos irregulares. La plagioclasa y la ortoclasa muestran un intenso zonamiento y alteración deutérica consistente en centros de calcita en la plagioclasa, y sericita en el feldespato potásico. Los principales minerales máficos son biotita y hornblenda, y como producto de alteración de estos dos últimos polvo de hierro que aparece dentro y en aureolas rodeando a los cristales. La mesostasis es microcristalina e indica una recristalización total de la original. Los minerales accesorios observados son zircón y apatita.

Siguiendo el método de E. Rittman (1959) para la nomenclatura de las rocas ígneas de acuerdo con sus análisis químicos precisos, el pórfido de Cerro Redondo es de composición riódacítica. Al calcular la norma molecular para esta roca, según el método de Niggli (1954, p. 120, 130) se tienen los porcentajes de los constituyentes teóricos que aparecen en la columna 1 de la Tabla 2.

Córdoba (1965) describe la composición petrográfica de la roca del tronco de Rancho El Pico, posiblemente a la que corresponde la muestra LG-14, como una monzonita cuarcifera.



Según el método de Rittman (1959) esta roca es una latita clara, equivalente extrusivo de la monzonita. Los porcentajes de la norma molecular según el método de Niggli (1954, p. 120, 130) se observan en la columna 2 de la Tabla 2.

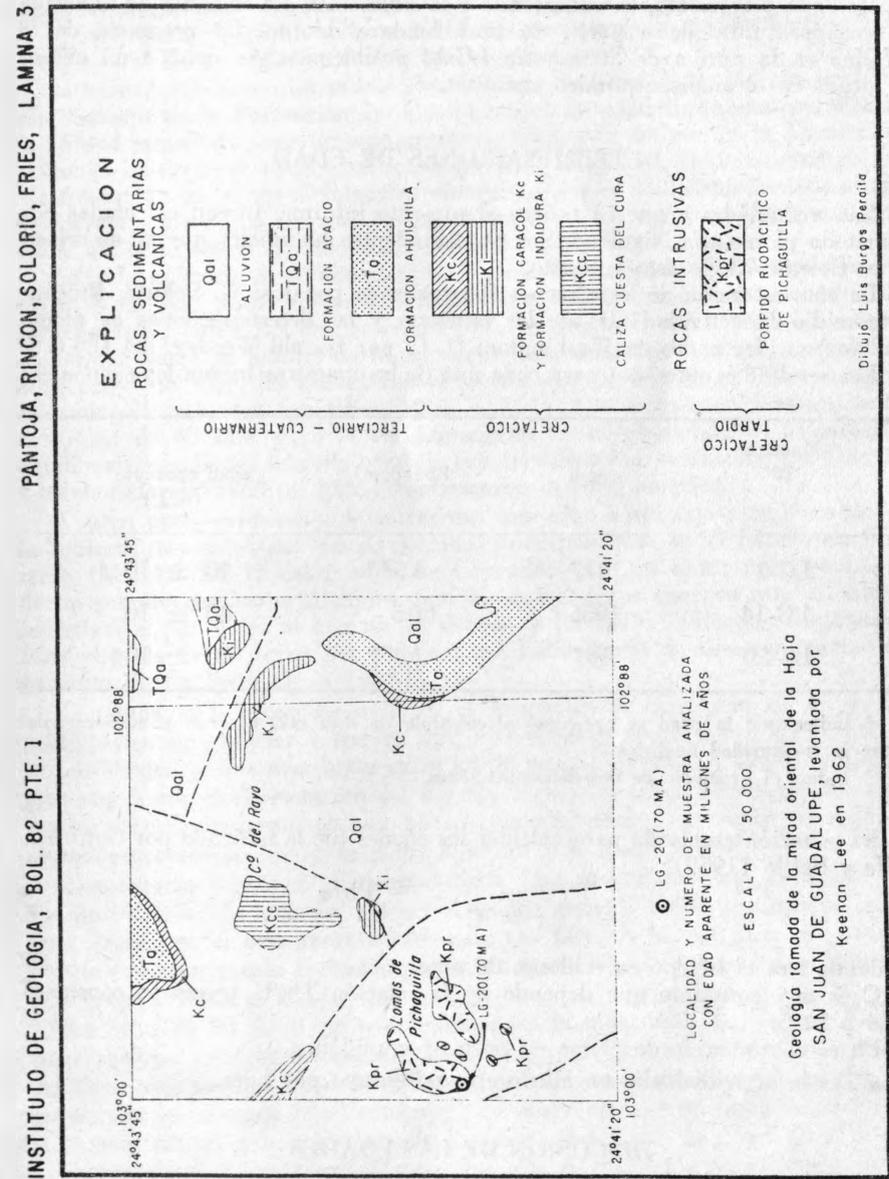
Tabla 2.—Porcentaje de los constituyentes de la norma molecular a partir del método de Niggli.

Minerales	LG-3 Tronco de Cerro Redondo	LG-14 Tronco de Rancho El Pico	LG-20 Tronco de Pichaguilla
Cuarzo	15.29	—	14.06
Ortoclasa	20.25	31.75	21.95
Albita	42.20	41.49	33.65
Anortita	15.90	18.18	20.80
Wollastonita	0.96	1.66	—
Enstatita	1.80	—	3.88
Ilmenita	0.90	0.78	—
Magnetita	1.35	0.81	2.73
Diopsida	—	0.68	—
Nefelina	—	3.42	—
Hematita	1.35	1.23	1.03

El estudio petrográfico de la muestra LG-20 del tronco intrusivo de Pichaguilla muestra que el principal feldespato es oligoclasa en cristales euédricos a subédricos. Algunas tabletas presentan zonamiento con un núcleo más cálcico, además, es común observar en algunas una alteración sericítica y en ocasiones a estos cristales los rodea un halo de polvo de óxidos de hierro. El cuarzo es subedral con bordes corroídos por la mesostasis, y en algunas zonas reemplazan a los feldespatos ya sea parcial o totalmente, indicando una incipiente silicificación. Los principales minerales máficos son biotita y hornblenda y abundan los óxidos de hierro tanto en forma de cristales isométricos de magnetita y pirita, así como hematita en polvo ampliamente distribuida en la mesostasis. Los minerales accesorios son zircón, apatita y esfeno. La textura es porfídica con cristales de plagioclasa y láminas de mica hasta de 3 mm de largo.

Según el método de E. Rittman (1959, p. 83) la norma de la roca LG-20 corresponde a una riodacita. Los porcentajes de la norma molecular según Niggli (1954, p. 120, 130) se observan en la columna 3 de la Tabla 2.

Si se comparan los minerales presentes en las tres rocas, con los de sus respectivas normas obtenidas por el método de Niggli, se notará que en la clasificación modal no aparecen algunos minerales que se incluyen en la norma



INSTITUTO DE GEOLOGIA, BOL. 82 PTE. 1

PANTOJA, RINCON, SOLORIO, FRIES, LAMINA 3

MAPA GEOLOGICO DE LOS ALREDEDORES DE LOMAS DE PICHAGUILLA, DURANGO.

Dibujo Luis Burgos Peraita

y viceversa. Posiblemente el caolín se ha formado a expensas de la ortoclasa, anortita, cordierita y sillimanita, mientras que la calcita se ha formado a expensas de la plagioclasa, la wollastonita y la sillimanita. La enstatita de la norma se considera formada a partir de hornblenda y biotita. La presencia de la nefelina en la norma de la muestra LG-14 posiblemente se deba a un exceso de álcalis en el análisis químico cuantitativo.

DETERMINACIONES DE EDAD

Las tres edades a que se refiere el presente informe, fueron calculadas por el método plomo-alfa, siguiendo los procedimientos habituales que se describen en el Boletín 73 de este Instituto.

La concentración de los zircones fue realizada por José G. Solorio, Rincón-Orta midió la actividad alfa de las muestras y las determinaciones de plomo total fueron efectuadas en Washington, D. C. por Harold Westley, del U.S.G.S.

Los resultados obtenidos para cada una de las muestras fueron los siguientes:

Muestra N°	mg-h	Pb (ppm)	edad aparente* (m.a.)
LG-3	277	4.5**	40 ± 10
LG-14	1956	60.5	80 ± 10
LG-20	167	4.5**	70 ± 10

* Indica que la edad se aproximó al múltiplo de diez más cercano y muestra solamente la inseguridad analítica.

** Indica el promedio de dos determinaciones.

La ecuación empleada para calcular las edades fue la utilizada por Gottfried, Jaffe y Seftle (1959):

$$t = C \frac{Pb}{\alpha}$$

en donde t es el tiempo en millones de años.

C es una constante que depende de la relación Th/U y que se consideró igual a 2485.

Pb es el contenido de plomo en partes por millón.

α es la actividad alfa en alfas entre miligramo por hora.

DISCUSION DE LAS EDADES

La fecha isotópica de 40 m.a. obtenida de la muestra LG-3 de Cerro Redondo, corresponde según la escala geocronológica de Kulp (1961) al Eoceno

Tardío, lo cual concuerda con las relaciones estratigráficas observadas en el campo. Lo anterior permite pensar que la edad de los zircones es la mínima de su cristalización en el cuerpo ígneo. Si se considera la desviación normal de ± 10 m.a. para el error analítico, no debe descartarse la posibilidad de que pertenezca al Eoceno Medio, o al Oligoceno Temprano.

La unidad más joven intrusada por el tronco de Cerro Redondo son los clásicos marinos de la Formación Indidura-Caracol de edad turoniana-coniaciana. La unidad inmediata superior que descansa sobre esta última, es la Formación Ahuichila de supuesta edad eocénica-oligocénica temprana. Desafortunadamente esta formación no cubre al intrusivo aunque aflora en los alrededores, pero su morfología sugiere que se extendió por toda el área y constituyó una cubierta donde ahora aflora el pórfido riocácico.

La fecha aparente de 40 m.a. del tronco de Cerro Redondo confirma un evento intrusivo en esta parte del país, señalado con edades similares obtenidas del tronco granodiorítico de Concepción del Oro, Zacatecas, Busek (1962) colectó dos muestras durante su estudio de la mineralización metasomática de la región de Concepción del Oro, las cuales fueron entregadas al Dr. S. R. Hart para su determinación de edad (en Fries, 1965, p. 104). Los datos analíticos indicaron una edad de 40 m.a. para el emplazamiento de la granodiorita. Finalmente, estudios más recientes sobre la edad de la mineralización, realizados por Ohmoto y colaboradores (1966, p. 1205) confirmaron la edad anterior.

Existen otras evidencias de intrusivos con edades similares, emplazados en la cubierta mesozoica del sur de México, principalmente en el Estado de Guerrero (Muestra LG-15 del granito de Coxcatlán, con 50 m.a.; muestra LG-23 de un granito cercano a Alcholoa, con 40 m.a.). Estos cuerpos estaban siendo investigados por Fries al ocurrir su deceso, y los datos indicados actualmente forman parte del material por publicar del Laboratorio de Geocronometría del Instituto de Geología de la UNAM.

Con toda la información anterior es innegable la existencia de un evento geotectónico de carácter intrusivo que abarcó gran parte del norte, centro y sur de México, y que tuvo lugar entre los 50 m.a. y los 30 m.a. antes del tiempo presente, o sea, probablemente del Eoceno Medio, al Oligoceno Temprano. Sus límites cronológicos exactos aun no se conocen, pero, con mayor abundancia de datos geocronométricos, se podrán definir con más claridad.

Los autores proponen distinguir dicha fase magmática con el nombre de Evento intrusivo Zacatecano, por ser el tronco granodiorítico de Concepción del Oro, Zacatecas, el más representativo de esa fase. A la vez debe de considerarse como un evento intrusivo postlaramiano del ciclo geotectónico Mexicano (De Cserna, 1960, p. 601).

La cifra de 80 ± 10 m.a. obtenida para la monzonita de Rancho El Pico corresponde, según la misma Escala de Kulp (1961) a una edad santoniana del Cretácico Tardío. La desviación normal del error analítico de ± 10 m.a. no cambia lo asentado anteriormente. Las observaciones de campo indican que el tronco intrusivo a los clásicos de la Caliza del Cura de edad albiana-cenomaniana; desafortunadamente dentro del área intrusionada no afloran unidades más jóvenes que permitieran precisar con exactitud el límite cronológico superior del emplazamiento.

Con respecto a la edad de los intrusivos monzoníticos de la región de Apizolaya, tales como los troncos de Teyra, San Julián, Rancho El Pico y otros, Córdoba (1965) opina que fueron intrusados hacia fines de la Orogenia Laramiana y que este período continuó hasta el Oligoceno Tardío, pero en su "Explicación" de la Hoja Apizolaya 13R-1(9) les asigna una edad terciaria. Los presentes autores no descartan la posibilidad de cuerpos intrusivos de edad terciaria en la región de Apizolaya, pero, ante las evidencias de este trabajo piensan que el emplazamiento de los troncos antes dichos tuvo lugar en el Cretácico Tardío.

De acuerdo con la edad obtenida de 70 ± 10 m.a. para el pórfido riocácico de Pichaguilla, el período de su emplazamiento debió ocurrir durante el Maestrichtiano, pero debe reconocerse que el error analítico de ± 10 m.a. puede colocar su edad en las postrimerías del Cretácico Tardío o en el Terciario Temprano. Las evidencias de campo indican que las rocas más antiguas intrusadas por el pórfido, pertenecen a la Formación Caracol que se supone de edad coniaciana-santoniana. La unidad inmediata superior o sea la Formación Ahuichila, no está expuesta en los alrededores del intrusivo y los afloramientos más cercanos de estos clásticos continentales se encuentran a unos 3 km del punto en donde se colectó la muestra, lo que dificulta la investigación de las relaciones cronoestratigráficas que diera luz para fijar el límite superior de la intrusión. Leo (1964) basándose en estudios estratigráficos asigna al tronco una edad terciaria, lo cual está en desacuerdo con las determinaciones isotópicas.

Las edades de 70 m.a. y 80 m.a. de los troncos de Rancho El Pico y Pichaguilla, marcan una época de actividad magmática intrusiva muy extensa en México, señalada por numerosos cuerpos batolíticos y troncos intrusivos emplazados en el borde occidental del país, y que abarcó un intervalo con límites aparentes de 115 m.a. a 75 m.a. antes del tiempo presente (Fries, 1962, p. 106). Se supone que esta actividad intrusiva comenzó en la parte occidental del borde continental y emigró con el tiempo hacia el oriente; por lo tanto, las edades de las regiones más céntricas tendrán que ser más jóvenes y pertenecer al Cretácico Tardío. Lo anterior queda demostrado con las dos últimas edades que aquí se discuten. Para esta fase geotectónica Curtis *et al.*, (1958, p. 10) propone el nombre de Orogenia Santa Lucía, que Fries (1962, p. 106) tradujo como Evento Intrusivo Santaluciano, nombre que los autores sugieren se siga usando para edades similares de cuerpos intrusivos de la parte oriental y septentrional de México. De Cserna (1960, p. 602) supone que esta actividad magmática tiene íntima relación con la fase anatexítica del ciclo geotectónico mexicano.

CONCLUSIONES

Resumiendo, las tres edades isotópicas discutidas sugieren al menos dos eventos geotectónicos indicados por cuerpos plutónicos e hipabisales intrusados en la cubierta sedimentaria mesozoica.

La fecha de 40 m.a. del tronco de Cerro Redondo marca un evento intrusivo ya confirmado con otras determinaciones de edad y para él, se propone el nombre de Evento Intrusivo Zacatecano que tuvo lugar entre los 50 m.a. y los

30 m.a. antes del presente. A su vez, representa un evento intrusivo postlaramiano (Fries, 1962, p. 107) del ciclo geotectónico mexicano (De Cserna, 1960, p. 602).

Las edades isotópicas de 80 m.a. y 70 m.a. de los troncos de Rancho El Pico y Pichaguilla respectivamente, confirmaron una fase magmática de carácter intrusivo, correlacionable con el Evento Intrusivo Santaluciano (Curtis *et al.*, 1958, p. 10) del borde occidental del Continente Americano, y el cual en México, tiene una íntima relación con la fase anatexítica del ciclo geotectónico mexicano.

RECONOCIMIENTOS

El presente informe fue redactado por Pantoja-Alor, quien además hizo el estudio petrográfico y el cálculo normativo por el método de Rittman de las tres muestras de las rocas intrusivas. César Rincón-Orta midió la actividad alfa de los zircones, hizo el cálculo de las edades y preparó las normas por el método de Niggli. La determinación del plomo de los zircones fue realizada por Harold Westley en la Sección de Isótopos del Servicio Geológico Norteamericano, bajo la supervisión del Dr. T. W. Stern. A estos dos científicos los autores les están sumamente agradecidos. José Solorio se encargó de los procesos de concentración y separación al microscopio de los cristales de zircón utilizados en las determinaciones y los análisis químicos cuantitativos fueron hechos por Obregón Pérez. Las ilustraciones fueron preparadas por Luis Burgos Peraita.

Los autores agradecen la ayuda brindada por el Profesor Eduardo Schmitter quien corrigió el manuscrito. Finalmente la elaboración de este informe se debe en gran parte al estímulo brindado por el Ing. Guillermo P. Salas, Director de este Instituto de Geología.

BIBLIOGRAFIA

- BUSECK, P. R., 1962, Contact metasomatic ores at Concepción del Oro, México (resumen): Geol. Soc. America, Spec. Paper 68, p. 144.
- CÓRDOBA, DIEGO A., 1965, Hoja Apizolaya 13R-1(9) con Resumen de la Geología de la Hoja Apizolaya, Estados de Zacatecas y Durango: Univ. Nal. Autón. México, Carta Geológica de México, Serie 1:100,000.
- CURTIS, G. H., EVERNDEN, J. F. y LIPSON, J., 1958, Age determination of some granitic rocks in California by the potassium-argon method: California Div. Mines, Spec. Rept. 54, 16 p.
- DE CSERNA, ZOLTAN, 1960, Orogenesis in time and space in Mexico: Geol. Rundschau, v. 50, p. 595-605.
- FRIES, CARL, JR., 1962, Lista de fechas geoquímicas reportadas para minerales y rocas mexicanas, con un comentario sobre su significado geológico y geotectónico: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 64, pte. 6, p. 85-109.

- C. Rincón-Orta, 1965, Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 73, pte. 2, p. 57-133.
- GOTTFRIED, D., H. W. HAFTE Y F. E. SENFTLE, 1959, Evaluation of the lead-alpha (Larsen) method for determining ages of igneous rocks. U. S. Geol. Survey, Bull. 1097-A, p. 14.
- KULP, J. L. y F. D. ECKELMANN, 1961, Potassium-argon isotopic ages on micas from the Southern Appalachians: New York Acad. Sci. Ann. v. 91, art. 2, p. 408-419.
- LARSEN, E. S., JR. N. D. KEEVIL y H. C. HARRISON, 1952, Method for determining the age of igneous rocks using the accessory minerals: Geol. Soc. America Bull., v. 63, p. 1045-1052.
- LEE, KEENAN, 1963, Geology of San Juan de Guadalupe Quadrangle (east half), Durango and Coahuila, Mexico: Louisiana State Univ., Baton Rouge, tesis de Maestría, inédita.
- NIGGLI, PAUL, 1954, Rocks and minerals deposits: San Francisco, W. H. Freeman & Co., 559, p.
- OHMOTO, H., S. R. HART y H. D. HOLLAND, 1966, Studies in the Providencia Area, Mexico, II, K-AR and RB-SR ages of intrusive rocks and hydrothermal minerals: Econ. Geology v. 61 p. 1205-1213.
- PANTOJA-ALOR, J., 1963, Hoja San Pedro del Gallo 13R-k(3) con Resumen de la Geología de la Hoja San Pedro del Gallo, Estado de Durango: Univ. Nal. Autón. México, Carta Geológica de México, Serie 1:100,000.
- RAISZ, ERWIN, 1959, Map of landforms of Mexico: Laboratorios Erwin Raisz, Cambridge, Mass.
- RITTMANN, A., 1959, Nomenclature of volcanic rocks proposed for the use in the Catalogue of Volcanoes, and Key-tables for the determination of volcanic rocks: Bull. Volcanol., v. 12, p. 75-102.

ESTUDIOS DE GEOCRONOMETRIA Y MINERALOGIA

PARTE II

NUEVOS DATOS SOBRE MACKAYITA

POR

RICHARD V. GAINES *

(Traducción del Inglés por Rebeca M. de Schmitter)

* Investigador de Tiempo Parcial

CONTENIDO

II. NUEVOS DATOS SOBRE MACKAYITA

	Pág.
GEOLOGIA LOCAL	29
MINERALIZACION	29
Mackayita	30
Emmansita	30
Goethita	30
Cerargirita	30
Jarosita	30
Telurio-jarosita	30
Nuevo mineral de uranio	31
Telurita de uranio hexavalente	31
DESCRIPCION DE LA MACKAYITA	31
Apariencia	31
CRISTALOGRAFIA	31
ESTRUCTURA DE LA CELDA	32
PROPIEDADES FISICAS	32
PROPIEDADES OPTICAS	32
PROPIEDADES QUIMICAS	32
AGRADECIMIENTOS	35
REFERENCIAS	35

TABLAS

TABLA No. 1.—Datos cristalográficos de la mackayita	32
TABLA No. 2.—Análisis de la mackayita	33
TABLA No. 3.—Datos de la difracción por rayos X de la mackayita	34

PREAMBULO

La mackayita, un telurito hidratado de hierro, fue primeramente descrito por Frondel y Pough en 1944, en un mineral procedente de una zona oxidada de vetas conteniendo telurio, en Goldfield, Nevada. Posteriormente ningún otro yacimiento de este mineral fue encontrado, hasta que en 1960, fue descubierta la mackayita en la mina La Candelaria y en la mina San Miguel, las cuales están situadas aproximadamente a 1 km una de la otra y a 10 km al oeste de la población de Moctezuma, Son., cerca de la cumbre de la pequeña cordillera que se extiende de norte a sur, conocida como Sierra Blanca, y a unos cuantos cientos de metros de la carretera que conecta la población de Moctezuma con Hermosillo, Son.

GEOLOGIA LOCAL

En las inmediaciones de ambas minas, las rocas locales consisten de tobas cementadas y pórfido andesítico o latítico, probablemente de edad terciaria. La alteración de la roca no es tan notable como en la mina de telurio y oro "La Moctezuma", aproximadamente a 10 km. al sureste. Las rocas volcánicas encajonantes tienen una fuerte y extensa red de vetas y protuberancias de cuarzo que contienen menor cantidad de pirita y algunas veces se notan huellas de mineralización de telurio. Muchas de esas vetas pueden ser localizadas hasta por 1 kilómetro o más, las que a causa de su naturaleza de gran resistencia, forman abundantes y prominentes remanentes de erosión.

En la mina La Candelaria hay un conjunto de 5 o más vetas casi paralelas de 1 a 2 mm. de ancho, las cuales, por lo menos dos de ellas, contienen cantidades significativas de telurio en algunos clavos erráticos. La veta de San Miguel es una simple estructura de 2 a 3 mm de ancho, la cual puede seguirse por 800 m por lo menos. La mineralización significativa de telurio está limitada, por lo que se conoce hasta la fecha, a una porción de esta veta de cerca de 60 m de largo.

MINERALIZACION

En el caso de ambas minas, el material de la veta consiste en un intercrecimiento duro, tenaz y grueso, de cuarzo microcristalino y barita, conteniendo relativamente menos cantidades de sulfuros y telururos. Ambas vetas contienen valores de oro y plata, pero el oro predomina en la mina La Candelaria, en términos de valor del contenido, mientras que en la San Miguel predomina la plata.

Es bastante curioso y notable el hecho de que entre estas dos minas y aproximadamente a 200 m al este de la mina La Candelaria, existe un depósito de mineral muy distinto a los otros, el cual contiene uranio. Este depósito fue explorado por la Comisión Nacional de Energía Nuclear en 1961-1962. La mineralización no está asociada con cuarzo, sino que simplemente rellena angostas fracturas y zonas de fractura en las rocas volcánicas. El único mineral de valor encontrado fue la torbernita, la cual ocasionalmente se encontró en forma de incrustaciones cristalinas espectaculares. La probabilidad de que estos dos distintos tipos de mineralización estén relacionados, se justifica por el hecho de que en las dos minas de telurio adyacentes se encuentran huellas de uranio.

Entre los minerales metálicos primarios identificados en las minas La Candelaria y San Miguel, están la pirita, tetrahedrita, telurio y rickardita. Otros minerales de telurio están probablemente presentes, pero como los tamaños de grano de los sulfuros y de los minerales de telurio son generalmente menores de 1 mm, y esos minerales están bien diseminados en el material de la veta, su identificación es algo laboriosa.

Como la naturaleza dura y compacta del material de la veta lo hace resistente al intemperismo, los minerales no oxidados pueden encontrarse en superficies de fracturas frescas, dentro de unos pocos centímetros del afloramiento. La oxidación ha tenido lugar a lo largo de las fracturas y las juntas, y es allí donde se encuentran la mackayita y otros minerales oxidados.

La mineralogía de la zona oxidada en estas dos minas es mucho más simple, pero no menos interesante que la de la mina La Moctezuma.

Los siguientes minerales han sido identificados:

Mackayita. Se presenta en forma de pequeños cristales diseminados sobre juntas y superficies fracturadas. Los cristales hasta de 0.2 mm de tamaño son bastante abundantes; raras veces alcanzan el tamaño de 1 mm o ligeramente mayores.

Emmonsita.—Se encontró solamente en una pequeña área en la mina de San Miguel, como pequeñas costras de forma botroidal.

Goethita.—Se encuentra presente abundantemente en forma de pequeñas capitas y costras, en superficies de juntas.

Cerargirita.—Se presenta como costras reniformes de color gris, asociadas con mackayita en algunos ejemplares.

Jarosita.—La jarosita es especialmente común en la mina La Candelaria, en donde cubre fracturas con costras de cristales tabulares, con tamaños de 1 mm o menores. Se encuentra presente también en otras zonas cercanas que contienen poco o nada de telurio.

Telurio-jarosita.—Este mineral o variedad, que actualmente está siendo investigado por el Prof. G. P. Brophy del Departamento de Mineralogía del Amherst College, en cooperación con el autor, ha sido encontrado en ambas minas, la de San Miguel y La Candelaria, pero en forma muy dispersa. Difiere de la jarosita ordinaria en su comportamiento cristalográfico, siendo tan per-

fectamente pseudo-cúbico, que originalmente se pensó que era un mineral isométrico. El telurio sustituye a algunos o a todos los átomos de azufre en los sulfatos y probablemente hay otras diferencias químicas. También hay apreciables diferencias en la intensidad de algunas de las líneas en las películas de polvo de rayos X. El signo óptico es positivo en lugar de negativo y los índices de refracción son más altos.

Nuevo mineral de uranio.—Este mineral, que también está siendo investigado por el autor, se presenta en forma muy dispersa junto con la mackayita, como diminutos octaedros lustrosos de color amarillo limón. Es isométrico y contiene uranio tetravalente y telurio como los únicos componentes identificables mediante el análisis de fluorescencia de rayos X.

Telurita de uranio hexavalente.—Este nuevo mineral, distinto del anterior, ha sido encontrado solamente en un ejemplar, asociado con la mackayita. En la mina La Moctezuma es en donde ha sido encontrado con mayor abundancia. Actualmente está en proceso su descripción.

DESCRIPCION DE LA MACKAYITA

Apariencia.—En ambas minas, la de La Candelaria y San Miguel, la mackayita se presenta en drusas de pequeños cristales cubriendo superficies de fracturas y juntas. Estas drusas son comúnmente diseminaciones de cristales separados, aunque a veces se unen hasta cubrir totalmente la superficie, o también los cristales pueden agruparse para formar agregados y rosetas. El tamaño de los cristales varía desde microscópico hasta un máximo, en un determinado ejemplar, de 1.5 mm; pero el promedio es de cerca de 0.2 mm. Los cristales invariablemente están adheridos firmemente a la matriz de cuarzo y pueden estar parcialmente empotrados en goethita pulverulenta y otros minerales limoníticos. El resultado es que la separación de cristales completos limpios de la matriz es bastante difícil, ya que al tratar de extraerlos tienden a fracturarse en pequeños pedazos.

CRISTALOGRAFIA

El hábito de los cristales tiende a ser tabular; piramidales según (112), o tendiendo a ser equidimensionales cuando (010) se encuentra combinada con (112). El cristal ilustrado en el Dana's System of Mineralogy, 7a. edición, volumen II, página 642, es bastante típico. La forma prismática ilustrada en el artículo original de Frondel y Pough (p. 219, Fig. 3), no ha sido observada en las muestras provenientes de estas minas. Los cristales están comúnmente gemelados; la ley de gemelación no ha sido determinada, pero son comúnmente del tipo de interpretación.

TABLA No. 1

Datos cristalográficos de la mackayita

Simetría tetragonal

$$a_0 = 11.704 \text{ \AA}$$

$$c_0 = 14.895 \text{ \AA}$$

$$a_0 : c_0 = 1:1.280$$

$$\text{Volumen: } 2052.7 \text{ \AA}^3$$

El contenido de la celda unitaria tiene como fórmula: $8(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TeO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$.

Densidad:

Calculada 4.686

Observada 4.86 (Fron del y Pough, 1944).

ESTRUCTURA DE LA CELDA

El grupo espacial, determinado con las fotografías de Weissenberg y Precession, es $I/4acd$, lo cual concuerda con el dato original. $a_0 = 11.704 \text{ \AA}$ y $c_0 = 14.985 \text{ \AA}$, también concuerdan con la celda estructural determinada por Fron del y Pough. Los contenidos de la celda son: $8(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TeO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ ó $2\text{Fe}_{16}(\text{TeO}_3)_{24}40\text{H}_2\text{O}$.

PROPIEDADES FISICAS

La mackayita no tiene crucero y se rompe con fractura concoidal. Su dureza es aproximadamente de 4 y la gravedad específica calculada es de 4.686. Esto está en razonable acuerdo con la gravedad específica de 4.86 reportada por Fron del y Pough, basada en un pequeño ejemplar y determinada en microbalanza.

PROPIEDADES OPTICAS

La mackayita es ópticamente positiva, con índices de refracción mayores que 2.11, el índice más alto del líquido conseguido por el autor. Esto está de acuerdo con los índices publicados por Fron del y Pough ($\omega = 2.19$, $\epsilon = 2.21$).

PROPIEDADES QUIMICAS

Dos muestras de mackayita fueron analizadas por procedimiento químico en húmedo. A causa de la naturaleza quebradiza de este mineral y por el hecho de que la purificación final tuvo que ser efectuada a mano bajo el microscopio, no fue práctico pulverizar grandes cantidades de roca conteniendo mackayita para concentraciones subsecuentes. El resultado de tal procedimiento habría sido el reducir la mackayita a tal estado de finura, que la selección manual de las partes finas para remover la goethita y otros contaminantes hu-

biera sido muy poco práctico. En vez de esto, se aprovechó la ventaja del hecho de que casi toda la mackayita estaba en forma dispersa sobre la superficie del material disponible, siendo estas superficies de fractura y planos de juntas. Se encontró que restregando esas superficies con un cepillo duro, con agua y jabón, una pequeña proporción (quizás un 5%) de la mackayita se separaba en cristales completos o casi completos, junto con cuarzo, barita, goethita y otros desechos minerales.

El material removido fue concentrado, usando tetrabromuro de acetileno, solución de clerici y el separador isodinámico Frantz.

Las dos muestras analizadas pesaron, respectivamente, 186 y 359 mg. Fue posible obtener de la segunda y mayor muestra un grado más alto de pureza que en la primera, debido a que el tamaño de grano era mayor y a la experiencia acumulada durante la purificación de la primera muestra.

Los análisis mostraron que la fórmula de la mackayita es $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TeO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, o $\text{Fe}_2(\text{TeO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Los resultados de los análisis de las dos muestras se anotan en la tabla siguiente:

TABLA No. 2

Análisis de mackayita

	1	2	3	4	5
Fe_2O_3	21.92%	19.14%	22.04%	20.15%	21.67%
TeO_2	65.72	57.16	65.82	60.74	65.32
CaO.....				0.32	
Al_2O_3		} 12.69		1.00	
Insoluble.....				4.68	
H_2O	12.36	10.54	12.14	12.09	13.00
Total.....	100.00%	99.53%	100.00%	98.98%	100.00%

1) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TeO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

2) Mackayita Análisis No. 2

3) No. 2) Recalculado después de eliminar el insoluble y Al_2O_3 .

4) Mackayita Análisis No. 2.

5) No. 4) Recalculado eliminando insoluble, Al_2O_3 y CaO.

No hubo pérdida significativa de agua de cristalización hasta los 475°C . A los 550° , aproximadamente el 27% del agua se evaporó; a los 600° , un 30% adicional, y a los 640° o más, toda el agua se evaporó y no hubo pérdida adicional.

En la Tabla No. 3 se hace una lista de los espaciamentos d , así como de los índices correspondientes, de una película de líneas de difracción de polvos

TABLA No. 3

Datos de la difracción por rayos X de la Mackayita

Línea No.	hkl	d (obs.)	d (calc.)	I
1	112	5.56	5.554	4
2	121	4.95	4.941	7
3	022	4.63	4.612	1
4	220	4.14	4.138	0.5
5	004	3.755	3.746	5
6	132	3.327	3.318	10
7	231	3.170	3.172	9
8	040	2.926	2.923	0.5
9	141	2.794	2.789	5
10	233	2.731	2.722	4
11	240	2.623	2.617	3
12	242	2.478	2.471	4
13	116	2.391	2.391	1
14	044	2.308	2.306	2
15	235	2.208	2.202	4
16	343	2.126	2.120	2
17	440	2.069	2.069	3
18	154	1.958	1.957	0.5
19	352	1.941	1.939	0.5
20	161	1.915	1.908	3
21	008	1.878	1.873	2
22	336	1.857	1.851	3
23	260	1.818	1.814	2
24	451	1.801	1.796	2
25	163	1.736	1.728	3
26	064	1.715	1.717	1
27	453	1.694	1.690	3
28	516	1.651	1.647	1
29	363	1.622	1.616	5
30	172	1.605		0.5
31	552	1.590		2
32		1.570		1
33		1.533		2
34		1.496		2
35		1.454		2
36		1.438		1
37		1.424		1
38		1.396		0.5
39		1.385		2
40		1.370		2
41		1.358		1
42		1.313		2
43		1.174		3

$$a = 11.704 \text{ \AA}$$

$$c = 14.985 \text{ \AA}$$

de mackayita. Puede verse que muchas de las líneas dadas en la descripción original de la mackayita no aparecieron, y ya que a estas líneas no se les podía poner índice en ningún caso, sobre la base de la celda determinada, incuestionablemente representan impurezas mezcladas en la muestra original.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la ayuda de la Sra. Rebeca M. de Schmitter por escribir en máquina y traducir al español el manuscrito; al Ing. Alberto Obregón por efectuar los análisis químicos de las muestras y, finalmente al Sr. Ing. Guillermo P. Salas, Director del Instituto de Geología, por su apoyo para que esta investigación se llevara a cabo.

REFERENCIAS

- Fron del, C. and Pough, F. H. (1944), Two Tellurites of Iron: Mackayite and Blakeite, with New Data on Emmonsite and "Durdenite". *Am. Mineral* 29, 211-225.
- Gaines, R. V. (1965), Mineralización de telurio en la Mina Moctezuma, cerca de Moctezuma, Son.. *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geol. Bol.* 75 pt. 1.

**ESTUDIOS DE GEOCRONOMETRIA
Y MINERALOGIA**

P A R T E I I I

ILVAITA DE EL GUARICHO, MICHOACAN

por

LIBERTO DE PABLO *

* Investigador Titular

CONTENIDO

III. ILVAITA DE EL GUARICHO, MICHOACAN

	Pág.
RESUMEN	41
INTRODUCCION	41
PRESENTACION DE RESULTADOS	41
Revisión de la literatura	41
DATOS DE CAMPO	43
DATOS MINERALOGICOS	43
DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFIA	43

ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1.—Croquis de localización de la zona de El Guaricho, Estado de Michoacán	42
FIGURA 2.—Ejemplar típico de ilvaita de El Guaricho, Michoacán	45
FIGURA 3.—Granito mostrando cristales de ortoclasa, cuarzo, titanita y clorita	45
FIGURA 4.—Diabasa. Cristales de labradorita, augita, magnetita, clorita	46
FIGURA 5.—Diabasa, mostrando cristales de labradorita, augurita y magnetita	46
FIGURA 6.—Diabasa, con labradorita, augita y magnetita	47
FIGURA 7.—Diabasa. Labradorita, augita y magnetita	47
FIGURA 8.—Diabasa mostrando exsolución o cristalización a tiempos diferentes	48
FIGURA 9.—Ilvaita, con augita y calcita y clorita posteriores	48
FIGURA 10.—Ilvitas mostrando cristalización contemporánea con augita	49
FIGURA 11.—Ilvita y augita en cristalización contemporánea	49
FIGURA 12.—Análisis térmico diferencial de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán	44
FIGURA 13.—Fotografía Weisseberg del nivel 0 de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán	50

TABLAS

TABLA No. 1.—Análisis químico de ilvaita de El Guaricho, Michoacán.	44
TABLA No. 2.—Características cristalográficas de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán	51
TABLA No. 3.—Indices de Miller, distancias interflanares e intensidades relativas de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán	52

RESUMEN

Ilvaita, procedente de la zona de El Guaricho, Michoacán, se estudió mineralógicamente. El mineral se presenta como cristales prismáticos negro azabache, magnéticos, ortorrómbicos, de grupo espacial Pbnm, $a=8.850\text{Å}$, $b=12.990$, $c=5.905$, $Z=3$, gravedad específica 3.99, de fórmula $\text{Ca } 1.0234 \text{ Fe}^{2+} 1.5421 \text{ Fe}^{3+} 1.0960 \text{ Mg } 0.0994 \text{ Mn } 0.1911 (\text{SiO}_4)_2 (\text{OH})$, comenzando la oxidación del Fe^{2+} a 590°C seguida, a 770°C , de una rápida destrucción exotérmica de la latita a magnetita, hematita, cristobalita y rankinita. La ilvaita está en boleos cerca del contacto entre caliza sedimentaria y diabasa intrusiva, estimándose que pudo cristalizar de líquidos magnéticos residuales, ricos en Fe, Ca, Mn, Cu, etc., al mismo tiempo o ligeramente posterior a la augita de la diabasa. Su formación pudo también ser posible por metasomatismo de contacto.

INTRODUCCION

En el Estado de Michoacán, México, en ocasión de una exploración por cobre, se encontró un mineral cuya identificación presentó algunos problemas. De su estudio, se concluyó, era ilvaita, un silicato ferroso férrico de calcio, escasamente estudiado, sobre cuya mineralogía y paragénesis hay discrepancias notables en la literatura y que, hasta ahora, no había sido reportado en México. A continuación se presentan las conclusiones más importantes de esta investigación, con los propósitos de describir el mineral encontrado en Michoacán y de aportar algunos datos al conocimiento de la ilvaita.

PRESENTACION DE RESULTADOS

Revisión de la literatura

Los primeros estudios sobre la ilvaita o lievrita, como también se le ha llamado, fueron reportados por Gossner y Reichel (1932), Schiener (1933), Kokkoros (1936) y Strunz (1937), que indican es ortorrómbica, de grupo espacial Pbnm, conclusión a la que posteriormente también llegó Takeuchi (1948).

Hasta época reciente y posiblemente debido a su poca abundancia, la ilvaita había sido confundida con los boratos complejos de la serie ludwigita-vonsenita. Federico (1957) identificó en las lavas de los volcanes Vesubio y Laziale, Italia, el mineral breislakita, un borato que relacionó a la serie ludwigita-pigeita, que estimó era una variedad capilar de la ilvaita. Posteriormente (1958), breislakita fue desacreditada como tal y calificada como una variedad alta en hierro de los boratos de la serie ludwigita-vonsenita, siendo así considerada por Fleisher (1966). Leonard, Hildebrand y Vlasidis (1962) establecieron recientemente las diferencias entre estos boratos e ilvaitas procedentes de Hanover, New Mexico y Mackay, Idaho, EUA reportando para éstas valores axiales de $a=8.78\text{Å}$, $b=12.99$ y $c=5.83$ y, la fórmula química $\text{Ca}_{0.99}(\text{Fe}_{1.53}^{2+}\text{Mn}_{0.42}\text{Mg}_{0.02}) (\text{Fe}_{1.06}^{3+}\text{Al}_{0.03}) (\text{SiO}_4)_{1.99}(\text{OH})_{0.81}\text{Cl}_{0.02}$. Otros datos cristalográficos han sido presentados por Newmann, Sverdrup y Saebo (1957) y Donnay y Novacki (1954).

Desborough y Amos (1961) identificaron cristales secundarios de ilvaita, en concentraciones inferiores al 2%, en gabros del Precámbrico en S. L. Missouri, EUA, asociada a ilmenita, magnetita y ulvoespinel, sugiriendo un origen metamórfico de contacto en el que el mineral reemplazó a magnetita, y fue a su vez reemplazado por epidota y zoisita. Hotz (1953) la encontró en diabasas,



Fig. 1. Croquis de localización de la zona de El Guaricho, Estado de Michoacán.

en Dillsburg, Pennsylvania y Leonard, Hildebrand y Vlasidis (1962), asociada a calcita, cuarzo, piroxena y minerales de cobre en Mackay, Idaho y, a esfalerita, en Hanover, New Mexico. Brown (1936) le atribuyó un origen supergénico asociada a minerales de zinc y, Khetchikov (1956) la consideró como mineral hipogénico de alta temperatura (90—280°C).

DATOS DE CAMPO

La ilvaita estudiada procede de la zona de El Guaricho, Estado de Michoacán, México, indicada en la Fig. 1. Sobre la carretera Cuatro Caminos-Arteaga, 50 km. antes de esta población y a la altura del rancho de El Espinal, parte una brecha de 7 km en dirección poniente que llega al área en que se colectaron las muestras.

Las rocas identificadas en la región son calizas sedimentarias, granitos y diabasas, estando el mineral como abundantes muestras masivas, boleas, cerca del contacto entre la caliza y la diabasa.

DATOS MINERALOGICOS

Un ejemplar típico de ilvaita se presenta en la Fig. 2. Es un boleó en el que el mineral está como pequeños y bien formados cristales, sin orientación particular, comunes en maclas e intercrecimientos, de color negro azabache, quebradizos, magnéticos, fácilmente solubles en ácido clorhídrico a una solución amarilla intensa. Formas dominantes son los prismas laterales y los pinacoides basales, estando el mineral prácticamente puro, asociado a escasos carbonatos, clorita y limonita.

Las rocas identificadas son calizas sedimentarias, riolitas, andesitas, granitos y diabasas, siendo las más interesantes las dos últimas. El granito, ígneo intrusivo, de textura fanerítica, contiene titanita, máficos alterados, clorita y epidota, sin magnetita o ilvaita (Fig. 3). La diabasa es de color gris oscuro, masiva, porfirítica, holocristalina y, contiene labradorita, augita, magnetita, ilmenita, clorita, ilvaita y posible johansenita. En las Figs. 4, 5 y 6 se presenta el aspecto general de la roca, mientras que las Figs. 7 y 8 muestran exsolución o cristalización a tiempos diferentes de magnetita y augita y la alteración de esta última, posiblemente a anfíbola.

Una sección de ilvaita se presenta en las Figs. 9, 10 y 11, mostrando la cristalización contemporánea de augita e ilvaita y la formación posterior, en cavidades, de clorita y calcita.

En el microscopio petrográfico, con luz polarizada, la ilvaita es pleocroica en verde oscuro, prácticamente opaca, paralelo al índice de refracción mayor

y, en amarillo rojizo, paralelo al índice menor. Con luz reflejada, es pleocroica en verde azulado y en verde grisáceo.

Cristales seleccionados con el microscopio binocular se analizaron química-

Tabla I. Análisis químico de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán.

SiO ₂	29.85%
CaO	14.25
FeO	27.52
Fe ₂ O ₃	21.74
MgO	0.99
MnO	3.37
H ₂ O	2.23

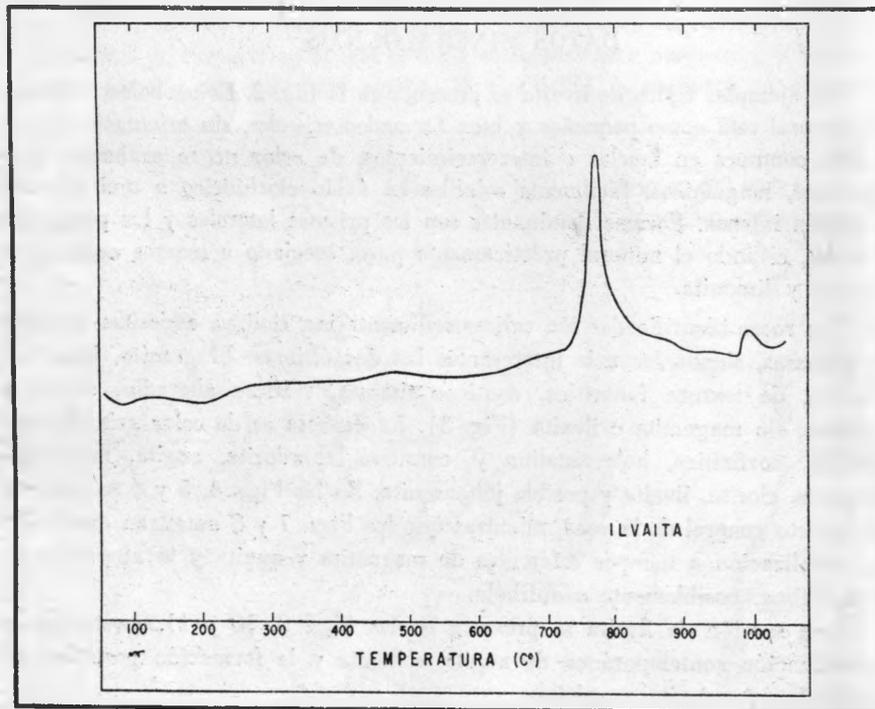


Fig. 12. Análisis térmico diferencial de la ilvaita de El Guaricho, Michoacán.



Fig. 2. Ejemplar típico de ilvaita de El Guaricho, Michoacán.



Fig. 3. Granito, mostrando cristales de ortoclasa, cuarzo, titanita y clorita. Luz polarizada, prismas cruzados, 93.59X.

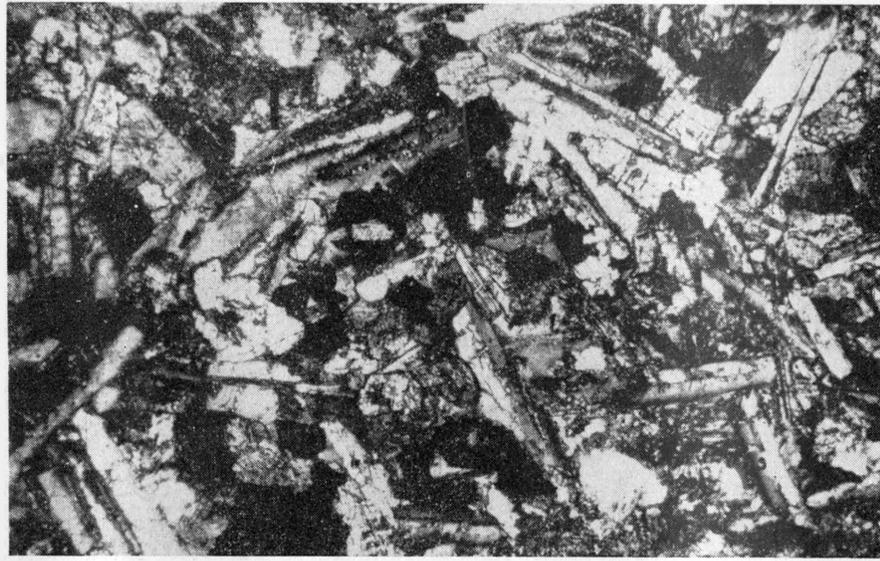


Fig. 4. Diabasa. Cristales de labradorita, augita, magnetita, clorita. Luz polarizada, prismas cruzados. 93.59X.

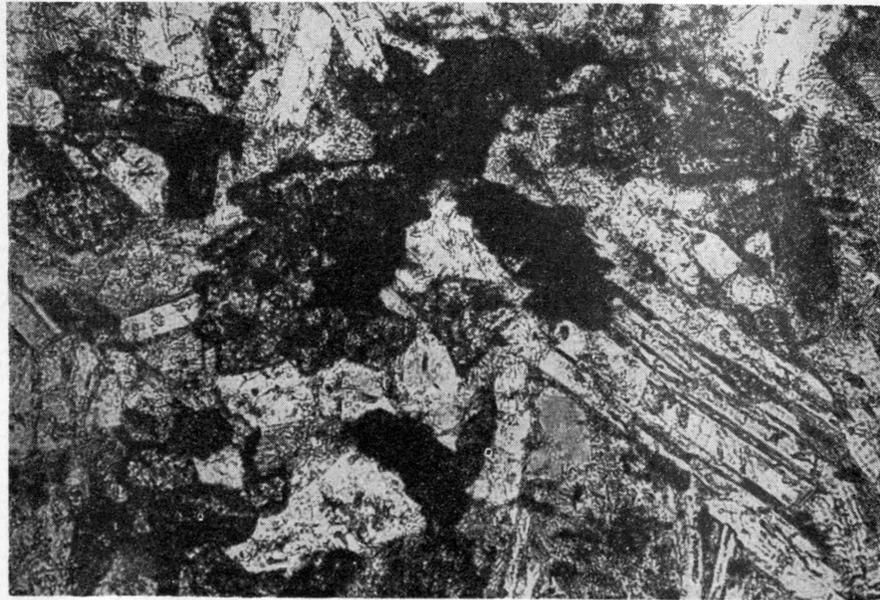


Fig. 5. Diabasa, mostrando cristales de labradorita, augita y magnetita. Luz polarizada, 119.77X.

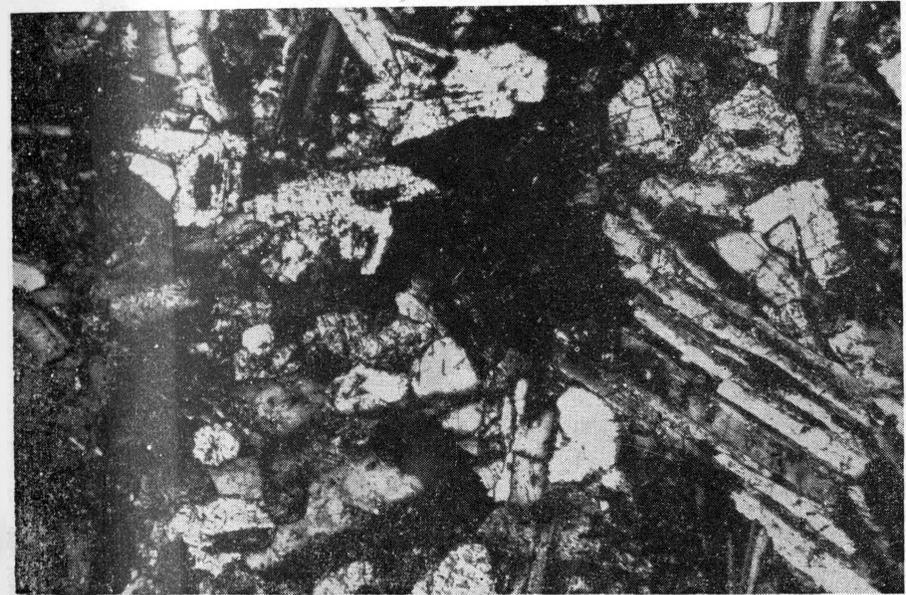


Fig. 6. Diabasa, con labradorita, augita y magnetita, Luz polarizada, prismas cruzados, 119.77X.



Fig. 7. Diabasa. Labradorita, augita y magnetita, mostrando exsolución entre magnetita y augita y alteración de esta última. Luz polarizada, 119.77X.

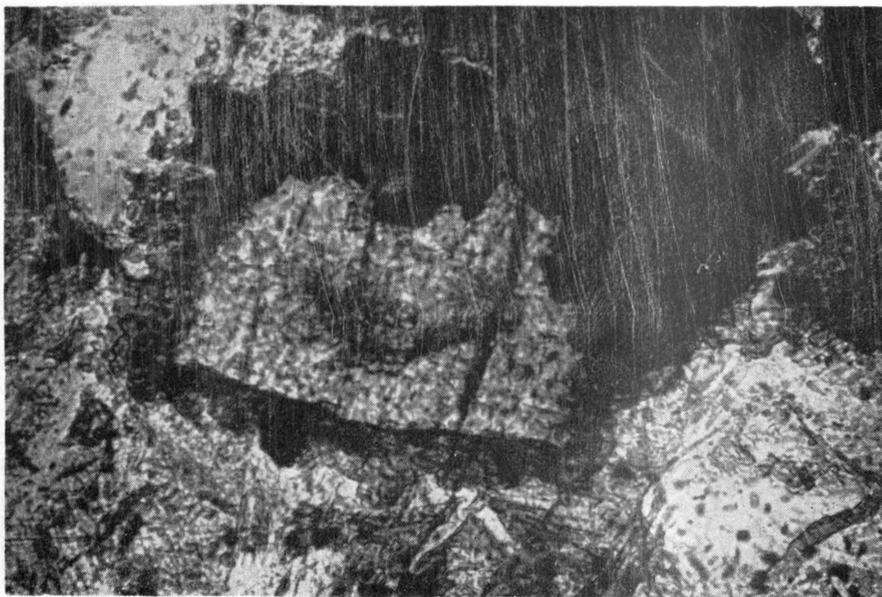


Fig. 8. Diabasa, mostrando ex-solución o cristalización a tiempos diferentes de magnetita y augita y alteración de esta última, posiblemente a anfíbola. Luz polarizada, 380.31X.



Fig. 9. Ilvaita, con augita, y calcita y clorita posteriores. Luz polarizada, 118.84X.

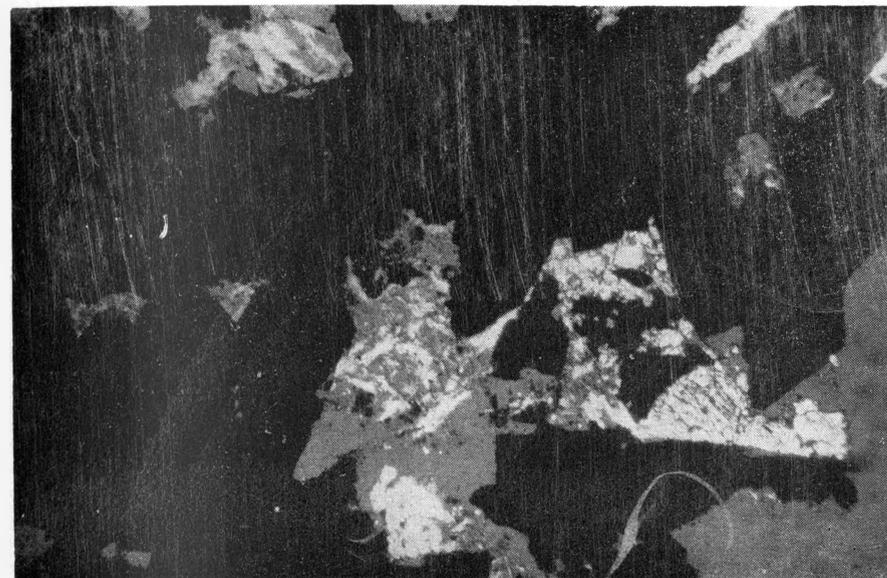


Fig. 10. Ilvita, mostrando cristalización contemporánea con augita y depositación posterior, en cavidades, de clorita y calcita. Luz polarizada, prismas cruzados, 197.76X.

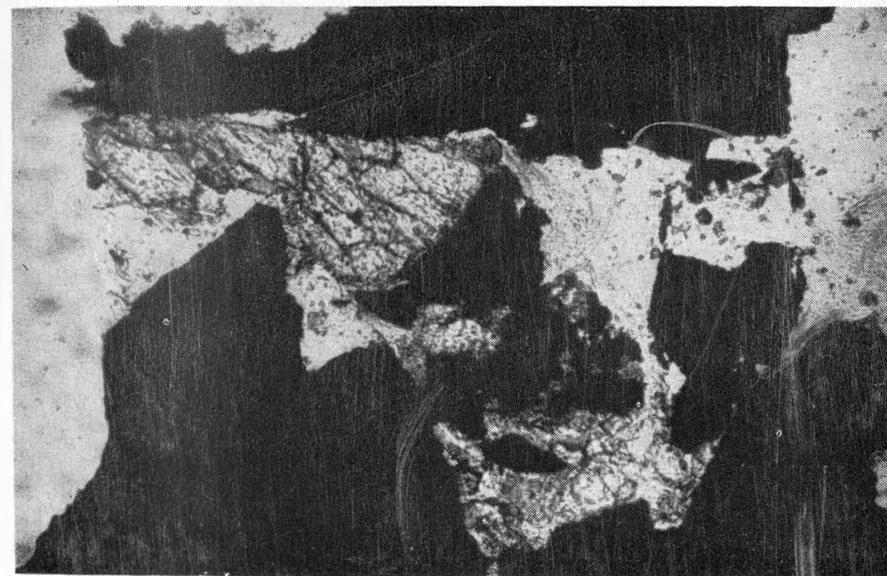


Fig. 11. Ilvaita y augita en cristalización contemporánea y depositación posterior de clorita. Luz polarizada, 237.69X.

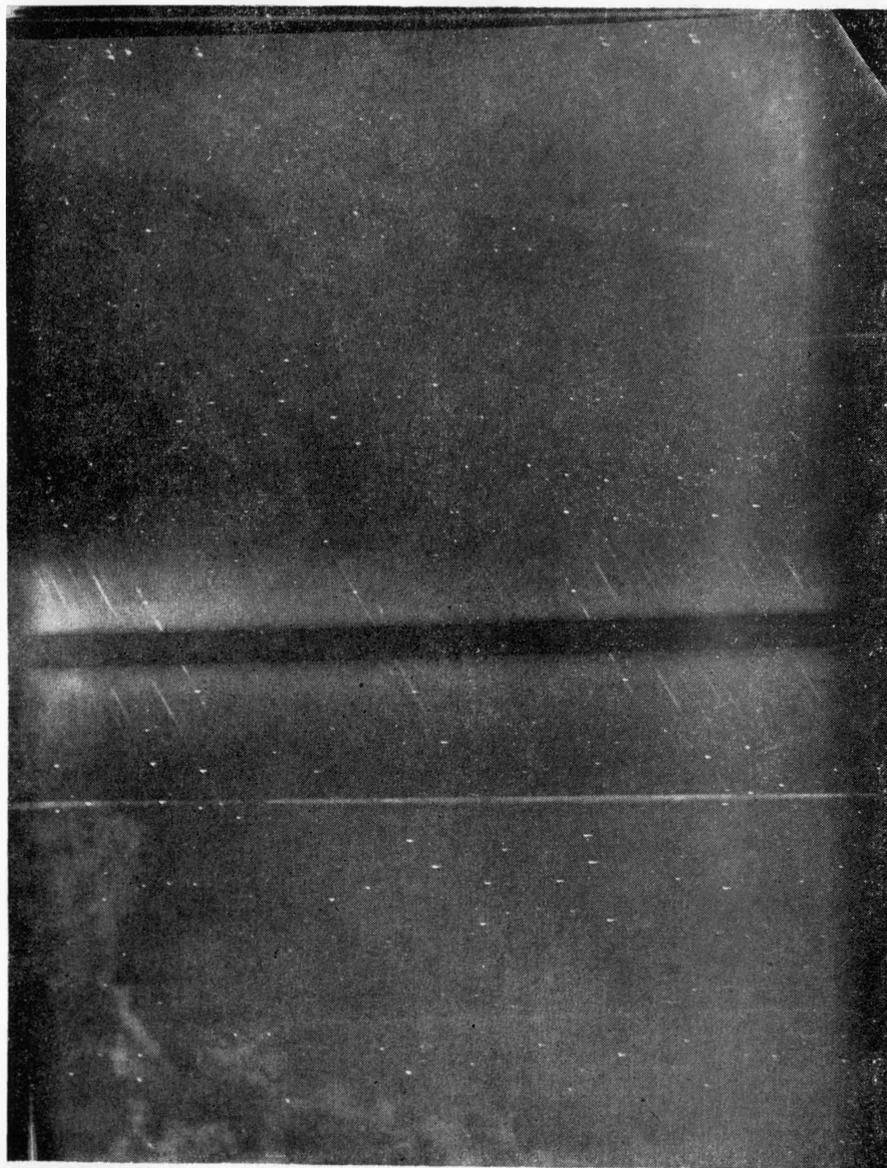


Fig. 13. Fotografía Weissenberg del nivel O de la ilvaite de El Guaricho, Michoacán. Eje de giro c. Radiación directa de cobre, cámara de 57.296 mm.

mente, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla I de los que se calcula la siguiente fórmula para la ilvaite de El Guaricho



Análisis por espectrografía de emisión indicó, además de los elementos anteriores, trazas de Ti, Cu, Zn, Co, Zr, Cr, Ni, Sr, Mo, y Ag.

Por análisis térmico diferencial empleando velocidad de calentamiento de 10°C/min. estándar de alúmina y registro automático continuo, se observan —Fig. 12— débiles efectos endotérmicos a 95° y 200°C posiblemente causados por agua absorbida o impurezas. A 590°C comienza la oxidación del Fe²⁺ que se continua a los 730°C, con una aguda y rápida destrucción exotérmica de la latice de ilvaite, a 770°C, a una magnetita, hematita, cristobalita, y rankinita (?), que sería la cristalización estable a esperar en el sistema SiO₂-Fe₂O₃-CaO, para la composición de 37.99% Fe total, 31.10 SiO₂ y 10.75 CaO, analizada para este calcinado. Una pequeña reacción exotérmica, no identificada se inicia a 980°C con máximo a los 997°C, tal vez causada por la magnetita.

El mineral se estudió por difracción de rayos X usando técnicas de polvo y de cristal solo. En el primer caso, fue con radiación filtrada de cobalto cámara de 114 mm, y, en el segundo, cámara Weissenberg de 57.296 mm, con radiación directa de cobre y cámara Precession con radiación filtrada de cobre. En la Fig. 13 se presenta la fotografía Weissenberg correspondiente al nivel O cuando c es el eje de giro.

Las características cristalográficas calculadas para el mineral se indican en la Tabla II mientras que en la Tabla III se presentan índices de Miller, distancias interplanares e intensidades relativas para las principales reflexiones.

Tabla II. Características cristalográficas de la ilvaite de El Guaricho.

a	8.850 A
b	12.990
c	5.905
= =	90°
Z	4
Grupo espacial	3.99
Gravedad específica	Pbmn

Tabla III. Índices de Miller, distancias interplanares e intensidades relativas de la ilvaita de El Guaricho.

Índices	d(A)		Intensidad
	medido	calculado	
110	7.32	7.19	70
020	6.47	6.49	70
111	4.57	4.56	10
130,121	3.89	3.90,3.89	30
211	3.38	3.36	5
040,131	3.24	3.24,3.25	100
230	3.11	3.07	10
	3.02		5
	2.94		10
310,012	2.86	2.80,2.87	70
231	2.73	2.71	70
320,022	2.67	2.63,2.685	40
050,240	2.62	2.61,2.63	20
301	2.56	2.57	20
202,150	2.44	2.43,2.47	30
330,212,241	2.39	2.39,2.39,2.38	20
132	2.34	2.34	20
060,400,340,042	2.18	2.17,2.16,2.16,2.19	30
410,420	2.13	2.12,2.04	5
430,002	1.96	1.93,1.965	10
152	1.90	1.90	10
261,123	1.85	1.84,1.84	5
170,440	1.82	1.82,1.80	5
402,062	1.75	1.74,1.74	5
270,510,223	1.71	1.70,1.71,1.72	30
450,520,043,143	1.67	1.65,1.66,1.68,1.65	10
080	1.63	1.62	10
180,530	1.60	1.60,1.60	5
280,460,540	1.53	1.52,1.53,1.52	20
362	1.50	1.49	20
281,272,253	1.47	1.47,1.47,1.47	20
600,350	1.46	1.44,1.44	10
610,470	1.42	1.42,1.41	10
560,630	1.37	1.35,1.36	5
570,650	1.28	1.27,1.26	5
580,660,720	1.20	1.18,1.19,1.21	10
680	1.07	1.07	5

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Las características mineralógicas de la ilvaita de El Guaricho Michoacán, han sido presentadas. Del estudio de muestras abundantes, masivas, de boleos, que es diferente al caso hasta ahora descrito en la literatura, de mineral accesorio o diseminado, se concluye que la ilvaita es ortorrómbica, de grupo espacial Pbm_n, a=9.850A, b=12.990, c=5.905, Z=4, gravedad específica 3.99. Es magnética y su análisis químico corresponde a la fórmula $\text{Ca}_{1.0234}\text{Fe}^{2+}_{1.5421}\text{Fe}^{3+}_{1.0960}\text{Mg}_{0.0994}\text{Mn}_{0.1911}(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})$ de peso molecular 402.45. El análisis térmico indica que la oxidación del Fe^{2+} principia a 590°C y, a 770°C, es la rápida destrucción exotérmica de la ilvaita a magnetita, hematita, cristobalita y rankinita, con lo que se difiere de algunos autores que la estiman comparable a la lawsonita.

El mineral se localiza cerca del contacto entre caliza sedimentaria y diabasa intrusiva. El examen de ésta y de los especímenes de ilvaita, sugieren, que si bien el mineral pudo haberse formado por un proceso metasomático de contacto, también pudo cristalizar de soluciones magmáticas finales. En efecto, la ausencia de otros minerales típicos de metamorfismo de contacto, por ejemplo wollastonita, la elevada concentración de Fe^{2+} , Fe^{3+} y Mn^{2+} , y, el mismo examen de la diabasa y de la ilvaita, sugieren que del magma que formó la diabasa, hubo concentración de Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, etc., en líquidos magmáticos residuales de los que posteriormente cristalizó ilvaita. Más aún, en la diabasa se observa cristalización contemporánea de augita e ilvaita o ligeramente posterior de ésta. Calcita y clorita, vistas relleno de cavidades en la ilvaita, pudieron formarse de soluciones finales, posteriores, ricas en sílice, vapor, gas carbónico, etc. Con esto, el autor no atribuye un origen estricto metamórfico de contacto (Desborough y Amos, 1961), supergénico asociado a minerales de zinc (Brown, 1936) o hipogénico, entre 90 y 280°C (Khetchikow, 1956), sino que se admite una génesis magmática residual o posiblemente, metasomática de contacto, a temperaturas que pudieran llegar hasta los 590°C.

BIBLIOGRAFIA

- BROWN, J. S. (1936). Supergene sphalerite, galena, and willemite at Balmat, N. Y., Econ. Geology 31, 331-354.
- DESBOROUGH, G. A. y AMOS, D. H. (1961). Ilvaite: a late magmatic occurrence in gabbro of Missouri. Amer. Miner. 46, 1509-1511.
- Discredited minerals (1958): Breislakite. Amer. Miner. 43 (5, 6), 626.

- FEDERICO, M. (1957). Sulla breislakite. *Periodico di Mineralogia* 26, 191-210.
- FLEISHER, M. (1966). Index of new mineral names, discredited minerals, and changes of mineralogical nomenclature. *Amer. Miner.* 51(8), 1962.
- GOSSNER, B. y REICHEL, Ch. (1932). Über das Kristallgitter einiger Sog. Orthosilikate. *Centralbe. Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1932A, 225-229.
- HOTZ, P. E. (1953). Petrology of granophyre in diabase near Dillsburg, Pennsylvania. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 64, 675-704.
- KHETCHIKOW, L. N. (1956). Ob il'vaite skarnovo-polimetallicheskih mestorozhdenii. *L'vovskoe Geol. Obshchestvo Mineral. Sbornik* 10, 298-304.
- KOKKOROS, P. (1936). Über die Gitterkonstanten und die Raumgruppe des Lieurits. *Die Naturwissenschaften* 24, 619.
- LEONARD, B. F., HILDEBRAND, F. A. y VLASIDIS, A. C. (1962). Members of the ludwigite-vonsenite series and their distinction from ilvaite. *Geol. Soc. Amer. Buddington Volume*. Pp. 523-568.
- SCHIENER, A. (1933) Lievrit von Seriphos. *Zeit. Krist.* 85A, 89-118.
- STRUNZ, H. (1937). Über Kristallographie un Chemische Zusammensetzung von lawsonite und lievrit. *Zeit. Krist.* 96, 504.
- TAKEUCHI, Y. (1948). The Crystal structure of lievrite $\text{HCaFe}^3\text{Fe}_2^2\text{SiO}_2\text{O}_9$. X-rays. 5(12), 8-14.

UNIV. NAL. AUTÓN. MÉXICO, INST. GEOLOGÍA, BOL. 82, pte. 4,
p. 55-69, 2 figs.

ESTUDIOS DE GEOCRONOMETRIA Y MINERALOGIA

PARTE IV

IV. CALCULO CRISTALOGRAFICO

PROGRAMAS PARA COMPUTADORA ELECTRONICA BENDIX, G-20
FORTRAN II

POR

FRANCISCO J. FABREGAT y RICARDO ESQUIVEL ESPARZA

CONTENIDO

IV. CALCULO CRISTALOGRAFICO

	Pág.
DISTANCIAS ANGULARES ENTRE POLOS DE CARAS CRISTALINAS	59
PROGRAMA	62
Tiempo de ejecución	62
Datos	62
Resultados	63
Aplicaciones	63

ILUSTRACIONES

FIGURA 1.—	60
FIGURA 2.—Diagrama de flujo	64

DISTANCIAS ANGULARES ENTRE POLOS DE CARAS CRISTALINAS METODO DE CALCULO POR MATRICES

Uno de los objetivos más importantes del cálculo cristalográfico aplicado al estudio morfológico de las especies minerales, es la determinación de las distancias angulares.

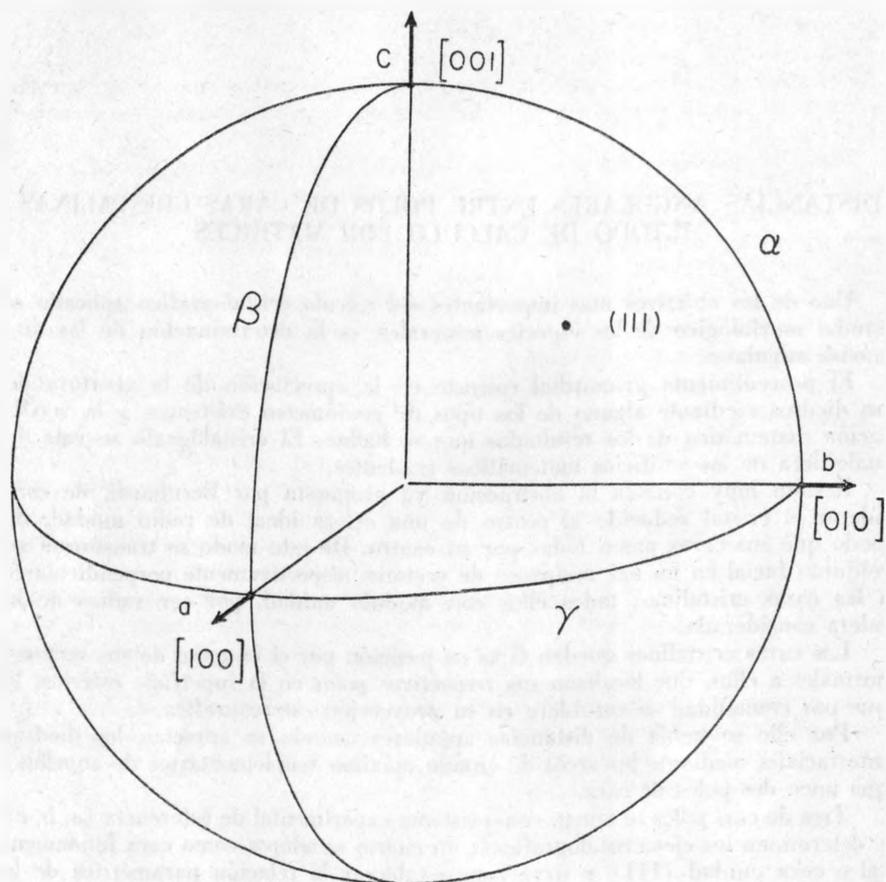
El procedimiento primordial consiste en la apreciación de la abertura de sus diedros mediante alguno de los tipos de goniómetro existentes, y la verificación matemática de los resultados que se hallan. El cristalógrafo se vale de cualquiera de los artificios matemáticos existentes.

Resulta muy cómoda la abstracción ya propuesta por Bernhardt, de considerar el cristal reducido al centro de una esfera ideal de radio unidad, de modo que sus caras pasen todas por su centro. De este modo se transforma su conjunto facial en un haz recíproco de vectores respectivamente perpendiculares a las caras cristalinas, todos ellos con módulo unidad, por ser radios de la esfera considerada.

Las caras cristalinas quedan fijas en posición por el extremo de sus vectores normales a ellas, que localizan sus respectivos *polos* en la superficie esférica, la que por comodidad se considera en su proyección estereográfica.

Por ello se habla de distancias angulares cuando se aprecian los diedros interfaciales mediante los arcos de círculo máximo (suplementarios de aquellos) que unen dos polos de cara.

Tres de esos polos se toman como sistema experimental de referencia (a, b, c) y determinan los ejes cristalográficos; un cuarto se adopta como cara fundamental o cara unidad (111) y sirve para establecer la relación paramétrica de la especie mineralógica que se estudia.



$$a : b : c = \frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b} = : l : n$$

o como suele expresarse,

$$a : l : c \quad (c : a, b = 1)$$

Las inclinaciones mutuas de los ejes se indican por α , β , γ .

Las tendencias del cálculo cristalográfico han variado según el método de localización de los polos.

Hasta hace relativamente pocos años se aplicaban los principios de trigonometría esférica a la resolución de los problemas que planteaba el vincular todos los polos de cara, por medio de triangulación.

Fedorow estableció su método llamado tetragonométrico, pensando simplificar los cálculos al referir los polos faciales a dos de ellos mediante coordenadas bipolares.

Desde la invención del goniómetro teodolítico se determinan las posiciones polares mediante coordenadas esféricas azimutales (φ , ρ).

Recientemente se opera directamente con el haz recíproco de vectores, aplicando el cálculo matricial, con grandes ventajas en la reducción de las operaciones y en la precisión de los resultados.

En síntesis, el cálculo cristalográfico actual consiste en establecer las relaciones de transformación entre tres sistemas axiales de referencia:

- sistema coordenado cartesiano
- sistema experimental o cristalográfico
- sistema recíproco o racional.

No es el objeto de este artículo la descripción particularizada de tales procedimientos (de los que ya se ha tratado en otras publicaciones), sino únicamente la aplicación concreta de las computadoras electrónicas al cálculo de las distancias angulares en los cristales, que con lo dicho anteriormente, queda encuadrado en el marco de las operaciones cristalográficas.

Para ello se parte de la matriz recíproca M^* , con la ventaja de tratar las caras de un cristal mediante su vector recíproco correspondiente: el diedro entre dos caras se medirá por el ángulo plano entre sus dos vectores representativos.

Se demuestra que una de las formas de la citada matriz recíproca M^* , para el caso general triclínico es,

$$M^* = \begin{pmatrix} \frac{1}{a \sin \beta} & 0 & \frac{-\operatorname{ctg} \beta}{c} \\ -v & \frac{1}{w} & \frac{v \operatorname{ctg} \beta - \cos \alpha}{w c} \\ 0 & 0 & \frac{1}{c} \end{pmatrix}$$

con

$$v = \frac{\cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta}{\sin \beta}$$

$$w = \frac{\sqrt{1 + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma)}}{\sin \beta}$$

pudiendo simplificarse al aplicarla a otras simonías; mas en el programa que se expone se la considera generalizada para ser utilizada con menos restricciones, dejando a la computadora el cuidado de concretarla al caso propuesto. Únicamente se le han de proporcionar las constantes requeridas para apropiarla a la especie mineral en estudio.

El producto matricial de M^* por el vector columna formado por los índices (hkl) de una cara del cristal, da otra matriz que representa las componentes del vector en esta cara

$$M^* \cdot \begin{Bmatrix} h \\ k \\ l \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} h' \\ k' \\ l' \end{Bmatrix}$$

sobre el sistema cartesiano de referencia. Lo mismo acontece con respecto a los índices de otra cara cualquiera (pqr) que se supone forma un diedro con la anterior.

Estos dos vectores $[h'/k'/l']$ y $[p'/q'/r']$ no son directamente comparables porque tienen módulo diferente: se han de normalizar, dividiendo sus tres términos de cada uno por el módulo respectivo (raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados).

Con ello resultarán los vectores columna ya normalizados, $[H/K/L]$ y $[P/Q/R]$.

El coseno del ángulo que forman (que corresponde a la distancia angular de los polos faciales del diedro por determinar) es el producto interno de las respectivas componentes de estos vectores normalizados:

$$\cos \varphi = HP + KQ + LR$$

Todas estas operaciones (que se reiteran para todos los diedros del cristal) se hallan representadas esquemáticamente en el adjunto diagrama de flujo.

PROGRAMA

Tiempo de ejecución: 2/100 de hora (Centro Cálculo Electrónico, UNAM)

Datos: a) Para el caso general tratado (triclínico):

—relación paramétrica $a : b : c$ (con $b = 1$)

—constantes angulares α, β, γ , en radianes.

De tener las constantes reticulares, se puede emplear la relación paramétrica estructural, deducida de ellas, teniendo en cuenta de dividir los tres parámetros por b , de modo que se emplean en definitiva

$$\frac{a_0}{b_0} \text{ y } \frac{c_0}{b_0} \text{ como } a \text{ y } b.$$

b) Para los cristales de simetrías superiores se obtienen automáticamente del programa las simplificaciones pertinentes.

Resultados: Se logra la tabla objeto de este informe, con las siguientes referencias:

Nombre del mineral

Matriz M^*

Distancia angular entre los polos (PQR) y (STU) en función de los cos V correspondientes.

Aplicaciones:

—Distancias angulares entre pares de polos (PQR : STU).

—Cálculo de diedros interfaciales (externos) según los pares de planos. El suplemento es el diedro real.

—Cálculo de coordenadas azimutales ($\varphi = (010 : STU)$; $\rho = (001 : STU)$), por ejemplo.

—Trazado de coordenadas gnomónicas.

—Diedros determinantes de Barker, para mineralogía analítica:

Cristales tetragonales, exagonales y trigonales (Bravais):

cr (001:101)

Cristales trigonales (Miller):

cr (111:100)

Cristales ortoclínicos:

cr (001:101); am (100:110); bq (010:011)

Cristales monoclínicos:

am (100:110); bq (010:011); cr (001:101)

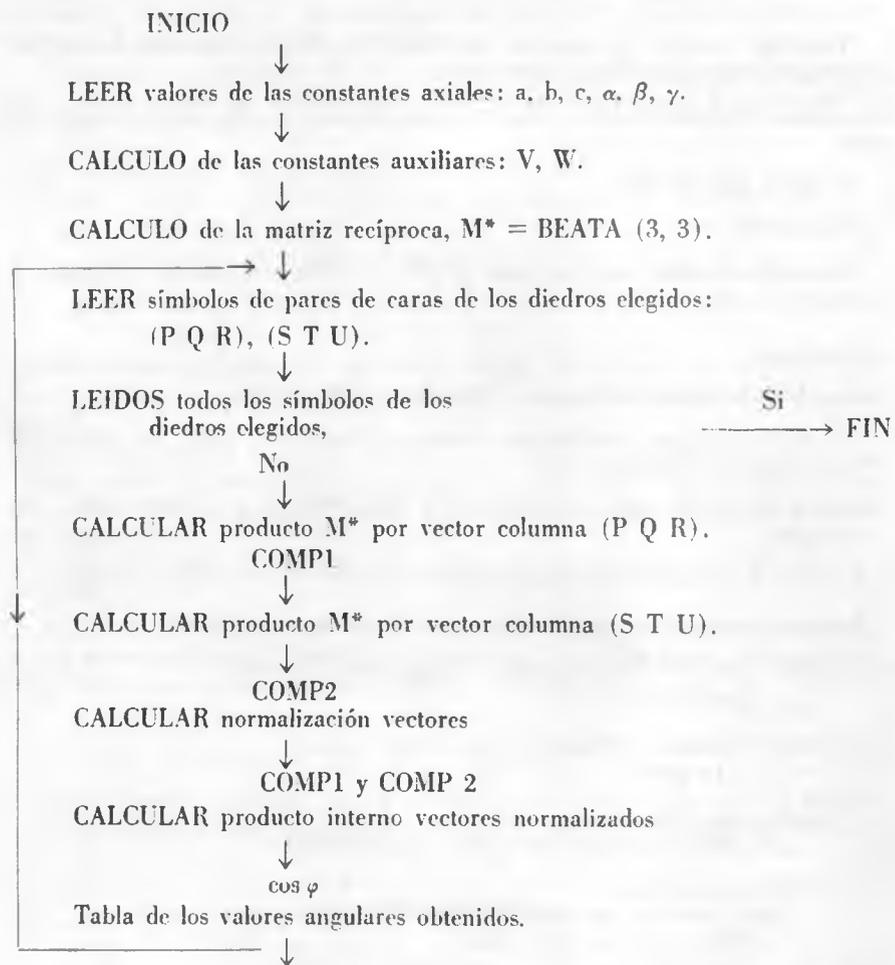
ra (101:100); ca (001:100)

Cristales triclínicos:

$a'm'$ ($\bar{1}00:\bar{1}10$); $m'b'$ ($\bar{1}10:0\bar{1}0$); $b'Q$ ($0\bar{1}0:0\bar{1}1$)

Qc ($0\bar{1}1:001$); cR ($001:\bar{1}01$); Ra' ($\bar{1}01:\bar{1}00$)

DIAGRAMA DE FLUJO. Programa: 2



I 0160011. G CRISTALOGRAFIA. FABREGAT

I DATE 10 FEB 67 RAC

E FORTRAN

1132

PAGE 001

H NAME FABREG

H EQUIPECARDRE, PRINTE;

C CALCULO CRISTALOGRAFICO. DISTANCIAS ANGULARES

DIMENSION BEATA (3 3), VECT1 (3), COMP1 (3), COMP2 (3), VECT2 (3),
IMB (4)

READ1, IMB, A, C, ALFA, BETA, GAMA

10 FORMAT (3 A 4, A3, 5F8. 6)

V = (COS (GAMA) - COS (ALFA) * COS (BETA)) / SIN (BETA)

FIRST = 1. + (2. * COS (ALFA) * COS (BETA) * COS (GAMA)).

SECON = COS (ALFA) * COS (ALFA) + (COS (BETA) * COS (BETA))

THIRD = COS (GAMA) * COS (GAMA)

W = (SQRT (FIRST - (SECON + THIRD))) (SIN BETA)

BEATA (1,1) = 1./ (A * SIN (BETA))

BEATA (1,2) = 0.

BEATA (1,3) = - (COS (BETA) / SIN (BETA)) / C

BEATA (2,1) = - (V / (A * W * SIN (BETA)))

BEATA (2,2) = 1./W

RON = V * (COS (BETA) / SIN (BETA)) - COS (ALFA)

BEATA (2,3) = RUN / (W * C)

BEATA (3,3) = 1./C

BEATA (3,1) = 0.

BEATA (3,2) = 0.

PRINT5, IMB

50 FORMAT (3 A 4, A 3//)

PRINT 56

56 FORMAT (24 H MATRIZ M * /)

PRINT 11, ((BEATA (IJ), J = 1, 3), I = 1,3)

11 FORMAT (3F12.7//)

PRINT 57

57 FORMAT (62H P Q R S T U

ICOSENO/)

5 READ 16, P, Q, R, S, T, U

16 FORMAT (6F4.0)

VECT1 (1) = P

VECT1 (2) = Q

VECT1 (3) = R

VECT2 (1) = S

VECT2 (2) = T

VECT2 (3) = U

DO15 I = 1,3

DO20 J = 1,3

```

20 COMPI (I) = COMPI (I) + BEATA (I,J) * VECT1 (J)
15 CONTINUE
DO25 K = 1,3
DO31 L = 1,3
31 COMP2 (K) = COMP2 (K) + BEATA (K,L) * VECT2 (L)
25 CONTINUE
DO:5 M = 1,3
35 PROD1 = PROD1 + COMPI (M) **2
DO40 N = 1,3
40 PROD2 = PROD2 + COMP2 (N) **2
PROD1 = SQRTF (PROD1)
PROD2 = SQRTF (PROD2)
X1 = COMPI (1)/PROD1
Y1 = COMPI (2)/PROD1
Z1 = COMPI (3)/PROD1
X2 = COMP2 (1)/PROD2
Y2 = COMP2 (2)/PROD2
Z2 = COMP2 (3)/PROD2
COSEN = X1 * X2 + Y1 * Y2 + Z1 * Z2
PRINT45, P, Q, R, S, T, U, COSEN
45 FORMAT (6F8.0,6X,F10.7)
DO 55 JL = 1,3
COMP1 (JL) = 0
55 COMP2 (JL) = 0
PROD1 = 0
PROD2 = 0
GOTO5
END.

```

SYMBOLS FROM NON-COMMON STATEMENTS

A	00060	ALFA	00064	BEATA	00002	BETA	00066	C	00062
COMPI	00032	COMP2	00040	COSEN	00150	FIRST	00074	GAMA	00070
I	00106	IMB	00054	J	00107	JL	00152	K	00124
L	00125	M	00126	N	00131	P	00110	PROD1	00127
PROD2	00132	Q	00112	R	00114	RON	00104	S	00116
SECON	00076	T	00120	THIRD	00100	U	00122	V	00072
VECT1	00024	VECT2	00046	W	00102	X1	00134	X2	00142
Y1	00136	Y2	00144	Z1	00140	Z2	00146		

LIBRARY FUNCTION LIST

FORMAT	00001	CARDRE	00003	PRINTE	00005	SIN	00007	COS	00011
SQRT	00013								

PROGRAM PREFACE:

COMMANOS	CONSTANTS	RESERVE LOC.	COMMON LOC.	COMMON IXR.	REL. ENTRY PT.
00670	00053	00161	00002	00010	00046

WORDS IN PROGRAM	10101	LOCATIONS USED BY PROGRAM (EXCLUSIVE OF COMMON STORAGE)	10077
COMMON INDEX BASE	00007	LOGICAL EQUIPMENT TABLE BASE	0315
FORMAT BASE	NONE	INPUT/OUTPUT LIST AREA BASE	03144
COMMON STORAGE BASE	37775	PROGRAM TRANSFER VECTOR BASE	03153
PROCEDURE COMMAND BASE	00013 FABREG 03162	RESERVE STORAGE BASE	04125
SUBROUTINE COMMAND BASE	00015 SIN 07723	RESERVE STORAGE BASE	NONE
SUBROUTINE COMMAND BASE	00017 COS 10040	RESERVE STORAGE BASE	10076
SUBROUTINE COMMAND BASE	00021 SORT 07634	RESERVE STORAGE BASE	NONE
SUBROUTINE COMMAND BASE	00023 FORMATOP 04306	RESERVE STORAGE BASE	NONE
SUBROUTINE COMMAND BASE	00025 CARDREAD 07013	RESERVE STORAGE BASE	NONE
SUBROUTINE COMMAND BASE	00027 PRINTER 06525	RESERVE STORAGE BASE	NONE
INITIAL PROGRAM ENTRY POINT		03230	

CÁLCULO CRISTALOGRAFICO

69

VANADINITA

MATRIZ M*

1.0000000 0.0000000 -0.0000005
 0.5773501 1.1547005 -0.0000008
 0.0000000 0.0000000 2.4061019

	P	Q	R	S	T	U	COSENO
	1.	0.	0.	1.	0.	1.	0.6346368
	1.	0.	0.	1.	1.	0.	0.8660254
	1.	0.	0.	1.	1.	1.	0.7084586
	1.	0.	0.	2.	0.	1.	0.8541361
	1.	0.	0.	2.	1.	0.	0.9449112
	1.	0.	0.	2.	1.	1.	0.8583597
	0.	0.	1.	0.	1.	1.	0.7728102
	0.	0.	1.	1.	0.	1.	0.7728102
	0.	0.	1.	1.	0.	2.	0.9250558
	0.	0.	1.	1.	0.	3.	0.9645165
	0.	0.	1.	1.	1.	1.	0.5751359
	0.	0.	1.	1.	1.	2.	0.8149264
	0.	0.	1.	2.	0.	1.	0.5200490
	0.	0.	1.	2.	1.	1.	0.4180963
	0.	0.	1.	2.	1.	2.	0.6772594
	0.	0.	1.	2.	2.	1.	0.3316317
	0.	0.	1.	2.	2.	3.	0.7256338
	0.	0.	1.	3.	0.	1.	0.3761035
	0.	0.	1.	3.	0.	2.	0.6302712
	0.	0.	1.	3.	0.	4.	0.8514604
	0.	0.	1.	3.	2.	2.	0.4877576
	0.	0.	1.	3.	2.	3.	0.6423342
	0.	0.	1.	3.	3.	2.	0.4243968
	0.	0.	1.	4.	0.	1.	0.2912331
	0.	0.	1.	4.	0.	3.	0.6743684
	0.	0.	1.	4.	1.	2.	0.4692971
	0.	0.	1.	4.	1.	4.	0.7283328
	0.	0.	1.	4.	-2.	3.	0.7256338
	0.	0.	1.	5.	0.	1.	0.2366270
	0.	0.	1.	5.	0.	2.	0.4379026
	0.	0.	1.	5.	0.	3.	0.5899441
	0.	0.	1.	5.	0.	4.	0.6977973
	0.	0.	1.	5.	2.	2.	0.3633306
	0.	0.	1.	7.	0.	2.	0.3285993
	0.	0.	1.	7.	0.	4.	0.5711681
	0.	0.	1.	7.	0.	5.	0.6562794
	0.	0.	1.	7.	0.	6.	0.7220813
	0.	0.	1.	7.	2.	0.	0.0000006
	1.	0.	1.	0.	1.	1.	0.7986177
	1.	0.	1.	1.	1.	1.	0.8940853
	1.	1.	0.	1.	1.	0.	1.0000000
	1.	1.	0.	2.	1.	0.	0.9819805
	1.	1.	0.	3.	1.	0.	0.9607689
	1.	1.	0.	3.	2.	0.	0.9933993
	1.	1.	0.	4.	1.	0.	0.9449112
	1.	1.	0.	5.	1.	0.	0.9332565
	1.	1.	0.	5.	2.	0.	0.9707253
	1.	1.	0.	5.	3.	0.	0.9897433
	1.	1.	0.	7.	2.	0.	0.9522166

* EXECUTION TIME (IN CENTIHOOURS):

1 *

* TIME TO COMPILE, ASSEMBLE AND OR LOAD IN CENTIHOOURS

2

* TOTAL TIME IN CENTIHOOURS

2

1016001LG CRISTALOGRAFIA. FABREG

1236

BOLETINES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

50.— <i>Las Meteoritas Mexicanas</i> , por JOSÉ C. HARO, 1931.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
51.— <i>Zonas Mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit</i> , por TOMÁS BARRERA, 1931.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
53.— <i>Topografía Sepultada en la Región de Santa Rosalía,</i> <i>B. C.</i> , por IVAN F. WILSON, 1948.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
54.— <i>Paleontología y Estratigrafía del Plioceno de Yepómera,</i> Edo. de Chihuahua (Primera Parte), por JOHN F. LANCE, 1950.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
55.— <i>Los Estudios Paleobotánicos de México</i> , por MANUEL MALDONADO KOERDELL, 1950.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
56.— <i>Las Provincias Geohidrológicas de México</i> , (Segunda Parte), por ALFONSO DE LA O. CARREÑO, 1954.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
57.— <i>Espeleología Mexicana, Cuevas de la Sierra Madre Orient-</i> <i>tal de la Región de Xilitla</i> , por FEDERICO BONET, 1953.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
58.— <i>Geología y Paleontología de la Región de Caborca,</i> por G. ARTHUR COOPER y otros, 1954.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
Pt. III.— <i>Fauna Pérmica de El Antimonio, Oeste de</i> <i>Sonora, México</i> , por G. ARTHUR COOPER y otros, 1965.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
59.— <i>Los Depósitos de Bauxita en Haití y Jamaica y posibi-</i> <i>lidades de que Exista Bauxita en México</i> , por GUILLER-	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
MO P. SALAS, 1959.		
60.— <i>Geología del Estado de Morelos y de Partes Adyacentes</i> <i>de México y Guerrero, Región Central Meridional de</i> <i>México</i> , por CARL FRIES, JR., 1960.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
61.— <i>Fenómenos Geológicos de Algunos Volcanes Mexicanos,</i> por LUIS BLÁSQUEZ L. ARMANDO REYES LAGOS, FEDERICO MOOSER y JOSÉ L. LORENZO, 1961.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
62.— <i>Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur,</i> entre Chilpancingo y Acapulco, Edo. de Guerrero, por ZOLTAN DE CSERNA, 1965.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
63.— <i>Contribución al Estudio de Minerale y Rocas</i> , por EDUARDO SCHMITTER y RUTH ROJAS DE GÓMEZ, 1962.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
64.— <i>Estudios Geocronológicos de Rocas Mexicanas</i> , por CARL FRIES JR. 1962. Agotado (Out of print).	\$ 25.00 M.N.	\$ 2.50 Dlls.
65.— <i>Estudios Mineralógicos y Petrográficos del Casquete y</i> <i>la Sal de Algunos Domo Salinos del Istmo de Tehuan-</i> <i>tepec, México</i> , por SALVADOR ENCISO DE LA VEGA, 1963.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.

- 66.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos* BOLEITA, por FRANCISCO J. FABREGAT, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 67.—*Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México, Partes I-IV.*
- Pt. I.—*Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México*, por AMADO YÁÑEZ CORREA, 1963. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- Pt. II.—*Sistemática y Distribución de los Géneros de Diatomeas de la Laguna de Términos Campeche, México*, por ANGEL SILVA B., 1963. \$ 15.00 M.N. \$ 1.50 Dlls.
- Pt. III.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México*, por AGUSTÍN AYALA, 1963. \$ 75.00 M.N. \$ 7.50 Dlls.
- Pt. IV.—*Sistemática y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por ANTONIO GARCÍA CUBAS, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 68.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la "Playa Washington" al S.E. de Matamoros, Tamps.*, por LUIS RAFAEL SEGURA V., 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 69.—*Geología del Area delimitada por el Tomatal, Huitzoco y Mayanacán*, Estado de Guerrero por José MA. BOLÍVAR, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 70.—*Derrames Cineríticos Las Américas de la Región de El Oro Tlalpujahua, Estados de México y Michoacán*, parte centromeridional de México por CARL FRIES JR., C. S. ROSS y ALBERTO OBREGÓN PÉREZ. En preparación (Being prepared)
- 71.—*Estudios Geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí*, por DIEGO A. CORDOVA, EUGENIO CSERNA y ALEJANDRO BELLO BARRADAS, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 72.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos, la PLUMOSITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1964. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 73.—*Contribuciones del Laboratorio de Geocronometría. Partes I-III.*
- Pt. I.—*Discusión de Principios y Descripción de la Determinación Geoquímica por el Método Plomo Alfa o Larsen*, por CÉSAR RINCÓN ORTA, 1965.
- Pt. II.—*Nuevas aportaciones Geocronológicas y Técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría*, por CARL FRIES, JR., y CÉSAR RINCÓN ORTA. 1965.

- Pt. III.—*Compendio de Edades de Radiocarbono de Muestras Mexicanas de 1962 a 1964*, por JOSEFINA VALENCIA y CARL FRIES, JR., 1965. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 74.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua. Partes I-II.*
- Pt. I.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua*, por LUTHER W. BRIDGES. Geología del Area de Plomosas.
- Pt. II.—*(Notas sobre la Geología de la Región de Placer de Guadalupe y Plomosa, Chih.)*, por ZOLTAN DE CSERNA, 1966. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 75.—*Estudios Minerológicos.*
- 1.—*Mineralización de Telurio en la Mina de la Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora.*
- 2.—*Métodos de Laboratorio para la Separación y Purificación de Muestras Minerales*, 1965. \$ 20.00 M.N. \$ 2.00 Dlls.
- 76.—*Estudios de Mineralogía. Partes I-III.*
- Pt. I.—*Los Minerales de Manganeso de Molango, Hgo.*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN.
- Pt. II.—*Caolinita de Estructura Desordenada de Concepción de Buenos Aires, Edo. de Jalisco, México*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN.
- Pt. III.—*Nota Preliminar sobre la Identificación por Rayos X, de Oxido Tálico TL₂O₃* por JESÚS RUIZ CORONA y GLORIA AYALA ROJAS, 1965. \$ 35.00 M.N. \$ 3.50 Dlls.
- 77.—*Los Minerales Mexicanos 3. DURANGITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 78.—*Los Minerales Mexicanos 4. CUMENGEITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 79.—*Los Minerales Mexicanos 5. LIVINGSTONITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 80.—*"Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán"*, por FEDERICO BONET. \$ 60.00 M.N. \$ 6.00 Dlls.
- 81.—*Ecology Distribution and Texonomy of Recent Ostracoda of Laguna de Términos Campeche, México*, por GUSTAVO A. MORALES. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 82.—*Estudios de Geocronometría y Mineralogía*, por J. PANTOJA A., RICHARD V. GAINES, LIBERTO DE PABLO y F. J. FABREGAT. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.

Para su adquisición diríjase al:
 Instituto de Geología, Oficina de Publicaciones — Ciudad Universitaria,
 México 20. D. F.

Se terminó la impresión del *Boletín*
82, el 30 de octubre de 1967, en
los talleres de la EDITORIAL STYLO,
Durango 290, México, 7. D. F.