

- 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.

UNIV. NAL. AUTÓN. MÉXICO, INST. GEOLOGÍA, BOL. 82, pte. 2,
p. 25-35, 3 tablas

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 fierro, 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 $c_0 = 14.895 \text{ \AA}$, 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 "Durdénite". *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.