

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 75

ESTUDIOS MINERALOGICOS

POR
RICHARD V. GAINES

PARTE 1. MINERALIZACIÓN DE TELURIO EN LA MINA LA MOCTEZUMA, CERCA
DE MOCTEZUMA, SONORA

PARTE 2. MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN
DE MUESTRAS MINERALES

Traducción del inglés al español hecha por César Rincón-Orta



MEXICO, D. F.

1965

CLASIF.....
ADQUIS. *F-r-46*.....
FECHA.....
PROCED.....

CONTENIDO

	Pág.
Parte 1. Mineralización de telurio en la mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora	1
Parte 2. Métodos de laboratorio para la separación y purificación de muestras minerales	17



MINERALIZACION DE TELURIO EN LA MINA LA MOCTEZUMA, CERCA DE MOCTEZUMA, SONORA.

POR

RICHARD V. GAINES*

Traducción del inglés al español hecha por César Rincón-Orta**

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
Resumen	1
Introducción	2
Localización	2
Topografía y clima	2
Antecedentes históricos	4
Geología general	4
Yacimientos minerales	6
Descripción de las vetas	6
Mineralización	7
Oxidación	14
Clasificación del depósito de La Moctezuma	14
Reconocimientos	15
Obras citadas	15

ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de localización de la mina La Moctezuma	3
--	---

RESUMEN

La mina La Moctezuma, conocida localmente como "La Bambolla", está situada al suroeste de Moctezuma, Sonora. Se trabajó para su mena de oro con ley suficiente para permitir su embarque, desde 1936 hasta 1945, aunque contenía telurio nativo y otros minerales de telurio que no se consideraron de interés comercial en esa época y no se tiene ningún registro de ellos en la fundición de El Paso, Texas. En años recientes la reexploración de estos depósitos ha demostrado que son más ricos en cantidad y variedad de minerales de telurio que cualquier mina de las que se conocen hasta ahora y ha dado una idea preliminar acerca de la geología general del lugar.

* Investigador Especial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
** Profesor y Técnico, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Las vetas que contienen telurio y en las cuales el oro es el único constituyente de interés económico, aparte del primero, ocupan series de fracturas subparalelas que atraviesan rocas sedimentarias del Terciario temprano o posiblemente del Cretácico Tardío. Tales rocas sedimentarias probablemente fueron originalmente tobas depositadas en agua y han sido intensamente alteradas hidrotermalmente con la introducción de sílice, menores cantidades de barita y minerales metálicos. Las rocas sedimentarias han sido inclinadas y falladas en gran extensión y tienen buzamientos que van desde la horizontal hasta la vertical, con recostamiento local.

Los minerales metálicos primarios son el oro, el telurio y la pirita, y los minerales de la ganga constan de cuarzo y barita. La oxidación se ha extendido hasta profundidades de por lo menos 80 m, lo que ha dado por resultado la formación de una serie completa de minerales secundarios de telurio, algunos de los cuales son especies mineralógicas nuevas. Esta serie consiste en teluritos y teluratos de fierro, zinc, manganeso, calcio, uranio y plomo. La mena es muy errática en distribución y se presenta en "clavos" de muy poca continuidad, tanto vertical como horizontal, que contienen porcentajes variables de telurio y oro de buena ley. Los "clavos" están separados por bandas de cuarzo de veta de baja ley, con contenidos desde 500 g hasta 2 kg de telurio por tonelada y de unos pocos gramos de oro.

Tomando como base la asociación mineral y la textura de la mena, el depósito se clasifica como epitermal.

INTRODUCCION

LOCALIZACION

La mina La Moctezuma está localizada aproximadamente 12 km al sur del pueblo de Moctezuma, en la parte centroseptentrional de Sonora (véase Fig. 1). Se encuentra en el flanco oriental de la Sierra Blanca, aproximadamente 4 km al poniente del Río Moctezuma, el cual fluye hacia el sur. La elevación de la mina es de unos 900 m sobre el nivel del mar, y aproximadamente 250 m más alta que la del lecho del Río Moctezuma, inmediatamente al oriente.

Se llega a la mina por un camino rústico de 22 km de longitud, que atraviesa una larga extensión de malpais volcánico sobre el lado oriental del río, al cual cruza después y sube a la mina sinuosamente por las faldas de las colinas. Se ha comenzado la construcción de un camino más directo que unirá el pueblo con la mina, eliminando el malpais y cruzando el río en un vado más cómodo.

El pueblo de Moctezuma está comunicado con la ciudad de Hermosillo, al suroeste, a través de una carretera de terracería en buen estado, de 210 km de longitud, y con Agua Prieta en la frontera con Estados Unidos, hacia el norte, pasando por Nacozari, por una carretera de terracería de 175 km de longitud.

TOPOGRAFIA Y CLIMA

El valle del Río Moctezuma, en el cual está situada la mina, yace entre la Sierra Blanca hacia el poniente, y la Sierra de Oposura, al oriente, cuyas alturas máximas son del orden de 2,000 a 2,400 m sobre el nivel del mar. El fondo del valle es una planicie casi plana, cubierta con

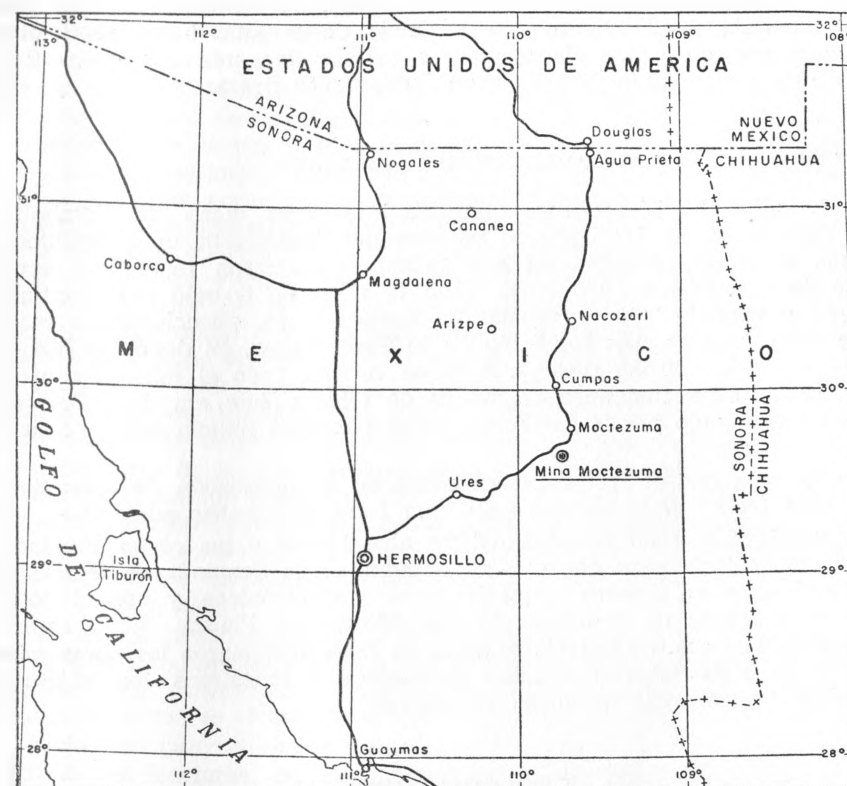


FIGURA 1. Mapa de localización de la mina La Moctezuma.

derrames recientes de lava que constituyen un malpais árido y casi intransitable.

El Río Moctezuma es la única corriente perenne en el distrito. Las planicies que se extienden a ambos lados del río se emplean como tierras de riego. Los flancos de las cordilleras están cortados profundamente por arroyos que llevan agua solamente durante los ocasionales aguaceros en el área y poco después de ellos. El resultado es un terreno accidentado sobre el cual es difícil construir y mantener caminos. El promedio anual de lluvias se ha calculado cercano a los 400 mm, y debido a las altas temperaturas durante el día, particularmente en los meses de abril a octubre, la evaporación es rápida y el clima semiárido. Durante el invierno la temperatura varía desde un mínimo de 0° en la noche, hasta un máximo de 25° durante el día, mientras que en el

verano este intervalo queda entre 30° y 42°, aproximadamente. Durante la temporada de lluvias que se extiende desde julio hasta septiembre, el agua cae en forma de aguaceros torrenciales, mientras que en los meses de diciembre a febrero caen lluvias más ligeras.

ANTECEDENTES HISTORICOS

La mina La Moctezuma, conocida localmente como "La Bambolla", fue descubierta en 1935 por un vaquero que investigaba un afloramiento, cuyas muestras, después de analizadas, demostraron tener alto contenido de oro. Desde 1936 hasta 1945 la mina se trabajó casi continuamente y produjo 2,900 toneladas de mena de oro, seleccionada a mano, que fue enviada a una fundición en El Paso, Texas, en donde se hizo un pago neto de 180,585 dólares. A pesar de que todo el mineral contenía cantidades excepcionalmente grandes de telurio, éste era de poco valor y no fue pagado por la fundición, ni se conservó ningún dato acerca de su contenido.

Se cree que el factor determinante en la suspensión de operaciones en 1945 fue el problema del agua, por falta de bombas adecuadas.

De 1946 a 1960 la mina estuvo abandonada y las obras inundadas. En 1961, coincidiendo con el alza mundial en la demanda de telurio por su aplicación en diseños termoeléctricos y electrónicos, y con el consecuente aumento en el precio, la Cía. Minera La Platina, S. A. se hizo cargo de la mina. Se extrajo el agua, se reacondicionaron las obras mineras y se emprendieron estudios geológicos y muestreos con objeto de ubicar las reservas de mena de telurio.

GEOLOGIA GENERAL

Todas las rocas en los alrededores de la mina La Moctezuma son de origen ígneo, con excepción de un conglomerado superficial poco consolidado, de probable edad pleistocénica. Desde el Río Moctezuma a la cresta de la Sierra Blanca existe una sucesión fallada, plegada e invertida formada de tobas andesíticas, ignimbritas y aglomerados. Esta sucesión puede dividirse en dos grupos, separados por una discordancia angular; el grupo más antiguo se denomina Ignimbrita Moctezuma, y el otro más joven se denomina Toba Andesítica Candelaria. No se les dio nombre a otras unidades de origen semejante, porque debido a lo complejo de su fallamiento y plegamiento en distancias grandes, no pudieron correlacionarse definitivamente con ninguna de las formaciones anteriormente mencionadas.

La edad de estas rocas no ha sido determinada, pero se cree que es del Terciario temprano. Considerando el alto grado de deformación estructural y el hecho de que se han identificado rocas volcánicas del Cre-

tácico Tardío en una área localizada 100 km más al sur, es también posible que puedan correlacionarse con esta sucesión más antigua.

La petrología de estas rocas ha sido estudiada por W. N. McAnulty (informe privado) quien determinó que las tobas consisten esencialmente en vidrio volcánico desvitrificado, con fenocristales de plagioclasa cercana a la andesina, de biotita y de hornblenda basáltica, además de minerales accesorios en cantidades menores, consistentes principalmente en ilmenita. Todas estas rocas han sido alteradas extensamente por procesos hidrotermales. La alteración penetra toda la masa rocosa y no está restringida a las áreas cercanas a fallas o vetas. Esta alteración ha ocultado muchas relaciones estructurales y hace difícil una clasificación exacta. Ha producido caolinización de los feldespatos y cloritización y serpentinización de las micas y de los minerales ferromagnesianos. También son comunes la calcita secundaria y el cuarzo. Una característica distintiva de la Ignimbrita Moctezuma es la presencia de abundantes esferulitas de unos 5 mm de diámetro, que, según estudios en lámina delgada, consisten en bandas radiales de sanidino rodeadas de cuarzo microcristalino.

Gran parte de la toba presenta poca o ninguna estructura. En algunos de los miembros superiores del grupo más joven, sin embargo, hay una estratificación pronunciada, desde gruesa a delgada, que indica que la toba fue depositada por el agua. Una sección intermedia, que ha sido identificada como ignimbrita traquiandesítica, tiene abundantes vesículas lineales y amígdalas.

En estado fresco estas rocas tienen colores que varían desde crema a gris, y al intemperizarse toman una coloración rosada grisácea a verde grisáceo. Una característica muy notable de las superficies expuestas cerca de la mina, es el halo rojo brillante que se extiende a ambos lados por distancias que van desde unos pocos centímetros hasta 1 m o más a partir de las fracturas, que hace tiempo debieron haber contenido pirita.

Dentro de la limitada zona que ha sido estudiada, no fue posible medir el espesor de la sucesión de tobas, debido a que la base no está expuesta en ninguna parte y el único miembro rocoso sobreyacente, que es un conglomerado poco cementado de probable edad pleistocénica, descansa discordantemente sobre una superficie erosionada en el grupo más antiguo.

En el valle del Río Moctezuma hay un derrame de lava basáltica de origen reciente. Tiene una cima casi plana y cubre una área de por lo menos 10 x 30 km. La presencia de estructuras fluidales bien conservadas en la superficie de la lava sugieren que la edad de esta unidad es menor de 25,000 años.

Toda el área de tobas contiene muchos testigos prominentes de erosión de composición silicosa. Estos testigos son principalmente protuberancias y estructuras en forma de vetas, cuyas dimensiones llegan a varias decenas de metros de diámetro en los montículos o tapones, y a más de 1 km de longitud en las vetas. Constan de cuarzo de grano fino

y casi todos se mezclan gradualmente con la toba que los rodea. La mayoría de los testigos están carentes de mineralización, pero algunos tienen barita asociada y otros están impregnados con piritita de grano fino. Tienen su origen en zonas silicificadas de falla y en tubos de brecha, y están relacionadas indudablemente con el período de mineralización que trajo los metales preciosos y el telurio.

El grupo de tobas más antiguo y el más joven han sido plegados, fallados e inclinados extensamente, aunque con mayor intensidad en el grupo más antiguo. Algunas de estas fallas han producido escarpas y grandes desplazamientos de las capas, mientras que otras se evidencian principalmente a través de la silicificación que se ha producido a lo largo de su extensión. El buzamiento de las formaciones, en general, es menor que 40°, pero en la mina La Moctezuma la unidad tobácea estratificada tiene buzamientos que son casi verticales y en algunos lugares las capas están invertidas.

YACIMIENTOS MINERALES

DESCRIPCION DE LAS VETAS

La mina La Moctezuma está abierta en una serie de vetas subparalelas que se han desarrollado y trabajado por oro, rodeadas de pequeños prospectos o catas de menor importancia. Hay por lo menos 5 vetas en las que se ha encontrado oro y telurio, aunque aproximadamente el 80 por ciento de la producción proviene de una de ellas, conocida con el nombre de La Bambolla, y el 20 por ciento restante sale de otra, conocida con el nombre de Descubrimiento.

Estas vetas están orientadas en la dirección noroeste y tienden a convergir en esa dirección. La veta La Bambolla puede identificarse en un trayecto mayor de 600 m, a pesar de que no aflora en gran parte de esta distancia y se conoce solamente a través de excavaciones. Se dirige aproximadamente al N 50° W y buza casi verticalmente en la mayoría de los lugares, pero varía desde 70° SW en el extremo oriental, hasta 80° NE en el extremo occidental. Su espesor alcanza un máximo de 2.5 m de cuarzo y tiene un promedio aproximado de 1 m.

El rumbo de la veta Descubrimiento es N 70° W y gira hacia N 90° W en el afloramiento oriental. Buza aproximadamente 85° NE y el espesor de su cuarzo tiene un promedio de 1 m. Puede seguirse en un trayecto de 400 m. Su proyección debería interceptar la veta La Bambolla, pero parece extinguirse precisamente al oriente del punto de intersección.

Hay otras 4 vetas cercanas y casi paralelas a la veta Descubrimiento, de las cuales 3 están al norte y 1 está al sur. Son casi continuas, aunque en muchos lugares constan de zonas de fracturas dentro de la toba, con mineralización de segunda importancia y muy poco cuarzo, más bien que

de vetas formales de cuarzo. Todas las vetas se adelgazan y ensanchan y muestran considerable evidencia de fallamiento, con salbandas, relieves planchados y huellas de movimientos tanto preminerales como posminerales.

La roca encajonante está intensamente alterada y caolinizada y esto, junto con las fracturas ocasionadas por el fallamiento posmineral, ha producido respaldos débiles que tienden a derrumbarse en las obras mineras, a menos que se protejan con ademe.

MINERALIZACION

El relleno de veta en La Bambolla y en otras vetas, generalmente es de cuarzo criptocristalino blanco con numerosas oquedades pequeñas e irregulares rellenas con pequeños cristales de cuarzo. La barita se presenta casi universalmente en las zonas mineralizadas y es considerada por los mineros locales como útil indicador de valores altos de oro. En algunos lugares la barita sigue las vetas de cuarzo, presentándose en vetillas de unos cuantos centímetros de espesor, ya sea en el alto o en el bajo, y en otros lugares se encuentra en forma de cristales en las oquedades en el cuarzo. La mineralización primaria, consistente en telurio, piritita y oro, tapiza las paredes de las fracturas y de las oquedades en el cuarzo, y también se presenta en la roca encajonante alterada, reemplazándola y relleno los intersticios. La presencia de acumulaciones de mineral con posible valor comercial es extremadamente irregular y queda restringida a clavos de continuidad vertical más bien que horizontal. Se sabe que hay mineral en el fondo de un pozo a aproximadamente 70 m bajo la superficie, pero no ha sido determinada la profundidad a la cual puede continuar abajo de este punto.

Una característica singular de la mina La Moctezuma, que la distingue de cualquiera otra mina conocida y que merece describirse, es su alto contenido de telurio. Aunque se sabe que el telurio se presenta en muchas minas de metales preciosos en todo el mundo, su contenido es muy bajo, manteniéndose generalmente abajo de la cantidad teóricamente necesaria para combinarse con el oro y la plata presentes. En términos de su abundancia relativa en la corteza terrestre, el telurio es uno de los elementos más raros, teniendo una concentración menor de 0.002 partes por millón, o sea mucho menor que el berilio, el germanio o el oro, por ejemplo. Parece presentarse universalmente en huellas en los depósitos cupríferos, y toda vez que tiende a concentrarse con el cobre en los procesos de beneficio y de fundición, se recupera en la refinación de este metal, a pesar de que su contenido inicial en la mena probablemente no pasó de 0.2 a 0.5 g por tonelada.

En la mina La Moctezuma el contenido de telurio en las menas consideradas como económicamente costeables varía de 1 a 2 kg por tonelada, valor que es quizás 500 veces mayor que el requerido teóricamente para combinarse con el oro presente. Es probable que el contenido de te-

lurio en el mineral que se embarcó desde 1937 a 1945 fue por lo menos de 10 a 20 kg por tonelada. Se sabe que fueron encontradas masas individuales de mineral de alta ley con peso aproximado de 100 kg y con un contenido mayor de 50 por ciento de telurio. Hasta donde el autor sabe, ninguna otra mina en parte alguna ha tenido cantidades semejantes de mineral de telurio de tan alta ley.

La mineralización primaria del telurio es sencilla y consta principalmente de un solo mineral o sea, el telurio nativo. Por otra parte, los minerales secundarios derivados de la oxidación del telurio constituyen una colección de minerales de telurio que no se ha conocido en ninguna otra mina, incluyendo por lo menos 9 minerales que por vez primera fueron observados allí, 8 de los cuales no se sabe que existan en ninguna otra parte del mundo.

La siguiente lista presenta los minerales de telurio procedentes de esta mina que han sido identificados hasta ahora. Los que están marcados con asterisco fueron descubiertos por primera vez en ella.

Telurio
Tetradimita
Telurita
Paratelurita (*)
Emmonsita
Spiroffita (*)
Denningita (*)
Moctezumita (*)
Blakeita
Telurito o telurato hidratado de fierro (*)
Telurito o telurato de uranio (*)
Telurito de zinc y fierro (*)
Telurito de calcio (*)
Telurito coloidal de fierro (*)
4 nuevos compuestos de telurio no identificados, presentes en cantidades muy pequeñas.

La moctezumita, el telurito o telurato hidratado de fierro y el telurito o telurato de uranio son especies mineralógicas nuevas que han sido investigadas en este Instituto de Geología. Sus descripciones se publicarán en breve. El telurito de zinc y fierro, el telurito de calcio y el telurito coloidal de fierro son minerales nuevos a los que hasta ahora no se les ha dado nombre y que se están investigando en el Royal Ontario Museum de Canadá.

A continuación se da una breve descripción de cada uno de los minerales de la mena y de la ganga encontrados en la mina La Moctezuma.

ORO. El oro ha sido identificado en muestras de mano, en pequeños granos de tamaño menor de 0.1 mm, en la zona transicional de oxidación en derredor de las masas de telurio nativo. Esta zona transicional

consiste en un anillo negro, generalmente de 5 a 10 mm de espesor, que rodea al telurio y está formado por una mezcla de telurio con paratelurita y menores cantidades de cuarzo intersticial. No se sabe si el oro es primario o si se ha derivado de la oxidación de un telurio de oro preexistente, hasta ahora no observado. Puede ser significativo el hecho de que el oro no se ha observado dentro del telurio nativo fresco, no oxidado.

TELURIO. El telurio se encuentra en masas algunas veces de varios kilogramos de peso, en material de veta silicificada y alterada, y como gruesas costras tapizando cavidades en las vetas de cuarzo microcristalino. Todos los ejemplares encontrados hasta ahora muestran un halo negro de oxidación, consistente en paratelurita, indicando que los trabajos más profundos de la mina están todavía dentro de la zona de oxidación. El telurio tiene invariablemente un aspecto jaspeado, debido a la presencia de pequeños granos de cuarzo casi equidimensionales, profusamente diseminados en él y que constituyen de 20 a 30 por ciento de la masa. En los lugares en donde la oxidación ha eliminado por lixiviado al telurio, se ve que el cuarzo residual consta de una malla poco consistente y quebradiza de cristales euédricos de cuarzo de unos 0.2 a 0.4 mm de longitud. Esto sugiere que el depósito de este cuarzo precedió inmediatamente al depósito del telurio.

El análisis de un ejemplar típico de telurio nativo dio 56.3 por ciento de TeO_2 , 31 por ciento de Te y 9.9 por ciento de SiO_2 . Esto equivale a 76 por ciento de telurio total en la muestra. También se detectó, por medio de análisis espectrográficos semicuantitativos, de 0.1 a 1.0 por ciento de selenio, de fierro, de plomo y de aluminio. Se reconocieron asimismo trazas de los elementos calcio, cobre, zinc, berilio, magnesio, oro y plata. La presencia de plomo en el intervalo de 0.1 a 1.0 por ciento es interesante. Posiblemente esté presente como altaíta, en pequeños granos diseminados en el telurio. Un mineral de este aspecto puede verse en superficies pulidas del telurio. Es isótropo y del color propio de la altaíta, aunque los granos son demasiado pequeños como para permitir una identificación positiva. La presencia del plomo en el telurio nativo puede ser responsable de la moctezumita, de la anglesita y de un mineral de plomo rojo desconocido, observados en la zona oxidada.

SELENIO. El selenio se encuentra en forma de manchas de color rojo vivo diseminado en el cuarzo criptocristalino. Es poco abundante, habiéndose encontrado principalmente en la mena procedente del tercer nivel de la veta principal.

TETRADIMITA. En las superficies pulidas del telurio nativo se observaron varios granos de tetradimita. La identificación se hizo por medio de pruebas de ataque químico, de análisis microquímico y de fotografía de polvos con rayos X. Este es el único mineral primario de telurio, además del telurio nativo, que se ha identificado positivamente en la mena.

PIRITA. La pirita es el mineral sulfurado más abundante. Está diseminada en la roca encajonante alterada y se presenta en forma de cristales que tapizan las paredes de algunas cavidades en el cuarzo de veta.

Puede también encontrarse diseminada en forma de pequeños cristales en el cuarzo de veta. Espacialmente, al menos, la pirita no parece estar relacionada con el telurio, ya que no se ha observado dentro del telurio nativo ni en contacto con él, ni siquiera cercana a él.

Una característica peculiar de la pirita de La Moctezuma es su hábito cristalino poco común que consiste en una combinación de piritoedro y octaedro, aproximadamente con igual desarrollo, que le da una extraña combinación de caras triangulares, cuyos ejemplos se ilustran en cualquier libro de texto de mineralogía. La razón de este hábito predominante no se conoce.

CINABRIO. Al separar los constituyentes pesados de algunas menas de La Moctezuma, en las que se concentraba moctezumita para su análisis químico, se recuperaron numerosos granos de cinabrio. La cantidad presente de este mineral es muy pequeña y el cinabrio no ha sido observado en muestras de mano.

KLOCKMANNITA. Un mineral gris a negro que acompaña a la calcomenita en algunas muestras de mano se ha identificado tentativamente como klockmannita, un seleniuro de cobre.

ANGLESITA. La anglesita se encontró en 2 muestras de mano englobando emmonsita, en forma de cristales bien formados de más de 3 cm de sección. Estos cristales están huecos invariablemente y constituyen apenas una delgada cáscara.

WULFENITA. La wulfenita se encuentra en un terrero derivado de un tiro poco profundo situado 200 m al oriente del tiro principal de La Moctezuma. Forma pequeños cristales prismáticos piramidales, casi aciculares, con longitud máxima hasta de 5 mm, que tapizan roca manchada de limonita y están acompañados localmente por un poco de emmonsita. El color es generalmente café oscuro, pero se encuentran algunos cristales de color crema pálido.

CALCOMENITA. La calcomenita se encontró como un recubrimiento de color azul brillante en rocas caolinizadas y fuertemente alteradas en el terrero de La Moctezuma. Se encontraron alrededor de 10 ejemplares.

MALAQUITA. La malaquita se encuentra en forma de costras verdes en rocas del terrero de la mina La Oriental, a unos 350 m al oriente del tiro principal de La Moctezuma. La acompañan delgadas cubiertas botrioidales de un telurito de cobre verde no identificado.

AZURITA. La azurita es un mineral bastante abundante en el terrero de La Oriental. Se presenta rellenando fracturas y en pequeños manchones irregulares.

LIMONITA. Los óxidos hidratados de hierro, identificados tentativamente como limonita, abundan en los terreros de La Moctezuma y en las obras mineras adyacentes. Lo más frecuente es encontrarlos rellenando las fracturas en la roca, y formando delgadas capas en las paredes de éstas. También reemplaza pseudomórficamente cristales de pirita y puede encontrarse reemplazando asimismo a muchos de los minerales de telu-

rio, aunque este reemplazamiento no sea completo. Entre los minerales cuyo reemplazamiento se ha observado, se encuentran la emmonsita y la moctezumita.

PIROLUSITA. En los trabajos mineros de La Moctezuma y en los terreros de los alrededores, frecuentemente se ha encontrado óxido de manganeso, identificado tentativamente como pirolusita. Se halla impregnando densamente algunas menas silicosas del cuarto nivel y los mineros dicen que tales menas generalmente tuvieron alta ley de oro. En la mina La Oriental suele presentarse en los terreros y ha sido reconocida como acompañando valores altos de plata.

PARATELURITA. La paratelurita, o sea la polimorfa tetragonal de bióxido de telurio, parece ser el primer producto de la oxidación del telurio. Las masas de telurio nativo se encuentran invariablemente rodeadas por una costra negra formada de paratelurita, coloreada por telurio finamente dividido. Las paredes de las fracturas en el telurio nativo frecuentemente están recubiertas por capas cristalizadas transparentes de paratelurita de color paja pálido. También se ha observado a este mineral reemplazando pseudomórficamente telurita bien cristalizada, dándole una apariencia blanca opaca en una aparente regresión de la secuencia normal de formación. La descripción original de la paratelurita (Switzer y Swanson, 1960), asevera que el material estudiado procedió de las cercanías de Cananea, pero las investigaciones subsiguientes han demostrado inquestionablemente que este material procedió de la mina La Moctezuma.

TELURITA. La telurita es el producto de oxidación del telurio que ocupa el segundo lugar en abundancia en la mina La Moctezuma. Forma grupos radiales o paralelos de cristales aciculares bien formados, rellenando fracturas en la mena y presentándose en cavidades. Los mejores ejemplares de mano tienen cristales de 2.5 cm de longitud de un color anaranjado brillante y son bastante espectaculares. La telurita está asociada con todos los demás minerales de telurio, pero no se encuentra en contacto directo con el telurio nativo.

EMMONSITA. La emmonsita es el más abundante producto de oxidación del telurio en la mina La Moctezuma. Generalmente cubre las paredes de fracturas y de otras aberturas en el tipo de mineral que se encuentra en la roca alterada de los respaldos, pero es menos abundante en las cavidades del cuarzo de veta. El color varía de verde amarillento brillante a verde olivo muy oscuro. Frecuentemente forma mallas de cristales aciculares curvos o pequeñas masas botrioidales, pero casi nunca se hallan cristales rectos de aristas agudas y con caras brillantes. Esto parece ser una característica del mineral procedente de todas las localidades, y es probable que la preponderancia de cristales curvos explica el hecho de que el grupo espacial y las dimensiones de la celda de este mineral nunca hayan sido determinados. Se espera que con algunos cristales pequeños aparentemente no curvos, colectados en la mina La Moctezuma, este problema mineralógico podrá ser resuelto.

BLAKEITA. En algunos lugares de la mina La Moctezuma se han encontrado unos pequeños cristales transparentes de color café rojizo recubriendo al cuarzo, que han sido identificados tentativamente como blakeita. Son isométricos e invariablemente forman una combinación sencilla de cubo y octaedro.

SPIROFFITA. La spiroffita (Mandarino *et al.*, 1962), un telurito de manganeso y zinc, se presenta como un relleno de oquedades de color rojo púrpura y en forma de cristales toscos en las cavidades del cuarzo de veta. Generalmente está asociada con denningita, telurita, y telurito de zinc y fierro.

DENNINGITA. La denningita (Mandarino *et al.*, 1963) es un pirotelurito de manganeso, calcio y zinc. Se encuentra rellenando oquedades y como cristales tabulares en la misma asociación que la spiroffita. Su color más común es verde manzana pálido, pero suele variar desde casi incoloro a café verdoso y café oscuro.

MOCTEZUMITA. La moctezumita es un telurito de plomo y uranio. Se presenta en pequeños cristales con forma de tabletas, de una longitud máxima aproximada de 4 mm. Se encuentra ampliamente esparcida en la mena, tanto en el cuarzo de veta como en la roca encajonante alterada, siempre como cristales cubriendo paredes de fracturas. Se le ve generalmente como rosetas de cristales en posición radial a partir de un centro hueco. Se cree que este hábito se debe al depósito de moctezumita alrededor de cristales preexistentes de uraninita, que simultáneamente se fueron perdiendo por disolución. Hasta la fecha no se ha observado uraninita en la mina, aunque la mena es generalmente radiactiva. El color de la moctezumita fresca e inalterada es anaranjado brillante, o sea menos transparente y algo más oscuro que el de la telurita. Los primeros cristales que se observaron se tomaron equivocadamente como telurita. Los minerales asociados más comunes son: emmonsita, barita, telurito de zinc y fierro, telurito de uranio y un mineral de plomo de color rojo purpúreo, no identificado, que se encuentra ampliamente distribuido en forma de pequeños granos.

TELURITO o TELURATO HIDRATADO DE FIERRO. Asociado con la emmonsita se ha encontrado un nuevo mineral de telurito o telurato hidratado de fierro que forma cristales monoclínicos de aristas agudas. Hasta la fecha sólo se han encontrado 4 ejemplares de este mineral.

TELURITO o TELURATO DE URANIO. Un nuevo mineral de telurito de uranio se encuentra formando rosetas de hojuelas micáceas, cuyo color es paja pálido. Está bastante ampliamente distribuido en la mina y generalmente se halla asociado con emmonsita o moctezumita.

TELURITO DE ZINC Y FIERRO. Este mineral, aún innominado, se está estudiando en el Royal Ontario Museum de Toronto, Canadá. Se encuentra bastante ampliamente distribuido en la mena en forma de cristales hexagonales de aristas agudas, de color café oscuro, cuyo hábito

varía de acicular piramidal a tabular pinacoidal. Es más común en la zona de cuarzo de veta, pero puede encontrarse asociado con cualquiera de los otros minerales de telurio.

TELURITO DE CALCIO. Este mineral se ha notado y se está estudiando en el Royal Ontario Museum, en Canadá, aunque el presente autor no lo ha reconocido en ningún ejemplar de la mina.

TELURITO COLOIDAL DE FIERRO. Este es otro mineral que está siendo estudiado en el Royal Ontario Museum. Se considera que está bastante ampliamente distribuido en la mena, pero debido a su naturaleza coloidal y a su aspecto similar a la limonita, es difícil estar seguro de su identificación megascópica. Típicamente forma costras lustrosas botrioidales traslúcidas de color café oscuro, recubriendo las paredes de las fracturas en el tipo de mineral que se encuentra en la roca encajonante alterada.

YESO. En las fracturas de las menas de la roca encajonante alterada, se encuentran frecuentemente rosetas y escamas de yeso.

BARITA. La barita es uno de los minerales de ganga más ampliamente distribuidos en la mena. Se encuentra en fracturas y oquedades en el cuarzo de veta, como cristales incoloros de aristas agudas que generalmente parecen ser de formación anterior a los minerales de telurio secundarios asociados. También se encuentra formando vetillas de unos 10 cm de espesor que van paralelas a la veta, intercalándose con ella a lo largo de una pared u otra. Con la barita puede estar asociado algo de telurio nativo. Generalmente es incoloro, pero en algunos lugares tiene un vivo color anaranjado.

FLUORITA. La fluorita, generalmente incolora o verde, se ha encontrado en pequeñas cantidades en algunos lugares de la mina, rellenando grietas en el cuarzo de veta y en la roca encajonante alterada.

CAOLIN. El caolín es abundante en la mina; se deriva de la alteración intensa de la roca encajonante. Penetra a través de ésta y del mineral de este tipo y se encuentra llenando algunas de las oquedades y grietas en el cuarzo de veta.

CUARZO. La introducción de sílice fue seguramente una etapa importante en la formación de las vetas minerales, pero precedió a la introducción del telurio. La principal veta de cuarzo está compuesta de cuarzo microcristalino con muchas pequeñas oquedades cuyas paredes están tapizadas con cristallitos de cuarzo. También formó agregados poco compactos de minúsculos cristales de cuarzo, ya mencionados, cuyos intersticios sirvieron de receptáculos para el depósito de una buena parte del telurio nativo.

Después del depósito del cuarzo de veta, gran parte de éste fue fragmentado y los fragmentos de la brecha fueron cementados nueva y parcialmente con caolín, barita y minerales secundarios de telurio.

OXIDACION

En la mina no se han observado muestras de mineral completamente libres de los productos de oxidación del telurio. La paratellurita y la emmonsita se han encontrado en materiales procedentes del cuarto nivel, 84 m debajo de la superficie. En el tercer nivel es común la emmonsita, y en una zona la moctezumita es también bastante común. El nivel freático del agua se localiza a 60 m de profundidad, justamente arriba del tercer nivel, pero es probable que durante algún tiempo anterior el nivel del agua haya sido más profundo, permitiendo que se extendiera la oxidación por debajo de las obras actuales más profundas. Puesto que los minerales de zinc, plomo y uranio son bastante comunes en la mina, sería razonable esperar que la altaíta o la galena, la esfalerita y la uraninita estuvieran presentes en la zona de mineral primario. La posible presencia de altaíta se mencionó en la discusión del telurio nativo. La esfalerita pudo haber pasado desapercibida, ya que en superficies pulidas se confunde fácilmente con la paratellurita, siendo casi indistinguibles entre sí. También se ha determinado espectrográficamente la presencia de arsénico y antimonio en cantidades que se aproximan al 1 por ciento, y también debe esperarse la presencia de minerales de estos metales.

CLASIFICACION DEL DEPOSITO DE LA MOCTEZUMA

La naturaleza microcristalina y porosa del cuarzo, la presencia de tapices de cuarzo y la costrificación del depósito mineral primario, señalan que la clasificación adecuada para este yacimiento es la de epitermal. El hecho de que el único mineral primario de telurio es el telurio nativo puede ser también significativo. La mayoría de los yacimientos de telurio en todo el mundo son mesotermiales o hipotermiales, como por ejemplo los de Kalgoorlie en Australia y los auríferos profundos del Escudo Canadiense. En estos yacimientos no se encuentra el telurio nativo y este elemento se presenta combinado en compuestos con plomo, mercurio, níquel, oro, plata y aun hierro. Evidentemente la temperatura de formación de tales minerales es superior a la formación del yacimiento de La Moctezuma, en donde se encuentra plomo, mercurio, oro, plata y hierro, pero en donde no se han encontrado compuestos primarios de estos elementos con telurio.

El depósito de La Moctezuma es singular en otro aspecto, que es el de que la relación de oro a plata es anormalmente alta, pues cuantitativamente hay como 3 veces más oro que plata. Por el contrario, otras obras de exploración por telurio en el área, aun tan cercanas como la de La Oriental, presentan una alta relación de plata a oro, que es la situación más normal.

RECONOCIMIENTOS

Estoy agradecido a la Compañía Minera La Platina, S. A., por permitirme publicar este informe acerca de la mina La Moctezuma, y al Dr. W. N. McNulty y a W. M. Davis, quienes cartografiaron gran parte de la geología local y tuvieron a su cargo los estudios estratigráficos. El Dr. McNulty sugirió las designaciones de Ignimbrita Moctezuma y de Toba Andesítica Candelaria, y facilitó los resultados de los estudios petrográficos y de algunos análisis de laboratorio utilizados en este informe. Estoy agradecido asimismo al Dr. Carl Fries, Jr., por haber revisado el manuscrito desde el punto de vista editorial, así como a la Sra. Rebeca M. de Schmitter y a la Srta. Josefina Valencia por su ayuda en la redacción definitiva. Finalmente expreso mis reconocimientos al Ing. G. P. Salas por su apoyo en la realización de este trabajo.

OBRAS CITADAS

- MANDARINO, J. A. y S. J. WILLIAMS, 1962, *Tellurium minerals from Moctezuma, Sonora, México* (resumen): Geol. Soc. América, Spec. Paper 68, p. 223.
 MANDARINO, J. A., S. J. WILLIAMS y R. S. MITCHELL, 1962, *Spiroffite, a new tellurite mineral from México* (resumen): Am. Mineralogist, v. 47, p. 196.
 ———, 1963, *Denningite, a new tellurite mineral from Moctezuma, Sonora, México*: Canadian Mineralogist, v. 7, pte. 3, p. 443-452.
 SWITZER, GEORGE y H. E. SWANSON, 1960, *Paratellurite, a new mineral from México*: Am. Mineralogist, v. 45; p. 1272-1274.