

**RECONOCIMIENTO DE LAS MINAS DE ESMERALDAS DE MUZO,
DEPARTAMENTO DE BOYACA**
(con 3 tres planchas)

POR
HERNAN RESTREPO A.
GEOLOGO

INFORME No. 1309

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1961

CONTENIDO:

Lista de ilustraciones	65
Resumen	67
Introducción	69
Situación y vías de comunicación	71
Historia de la minería en la región	72
Investigaciones geológicas anteriores	73
Trabajo y objetivo	73
Geología general	73 75
Geología económica	75 77
Esmeraldas de Muzo y Coscuez	77 80
Consideraciones para prospectar berilo en el área de Muzo y Coscuez	81
Recomendaciones	82
Bibliografía	82

LISTA DE ILUSTRACIONES

- Plancha N° 1. Localización de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez. Escala 1:200.000.
- Plancha N° 2. Plano geológico del área de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez (Departamento de Boyacá). Escala 1:25.000.
- Plancha N° 3. Secciones geológicas generalizadas en las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez. Escala aproximada 1:50.000.

RESUMEN

Las minas de esmeraldas de Muzo se encuentran a 105 kilómetros al norte y 8 kilómetros al oeste del meridiano de Bogotá (Colombia), dentro de los linderos establecidos por el Decreto 400 de 1899, en el Territorio Vásquez, parte occidental del Departamento de Boyacá.

El objetivo de este informe es propugnar por la investigación en el sentido de desarrollar y elaborar una suficiente prospección que sirva para lograr el conocimiento del yacimiento esmeraldífero.

Las estructuras geológicas más prominentes son el pilar (horst) de Muzo y Coscuez, los anticlinales de Itoco y de Pazurcha, que se tornan en el sinclinal de Terri, y la Falla del río Minero, que se considera como una Fosa.

Los posibles orígenes de las esmeraldas son: 1) soluciones pegmatíticas; 2) soluciones provenientes de ultrametamorfismo (anatexis); 3) soluciones neomatolíticas-metasomáticas.

El índice de refracción varía de 1,564 a 1,598; esta variación podría utilizarse para determinar la paragénesis de la mineralización.

Las minas de Muzo están constituidas por una serie de arcillas negras piríticas plegadas en diferentes amplitudes de "dragfolds", que muestran un sinnúmero de fisuras rellenas principalmente de calcita cristalina a blanca. Dichas fisuras son el resultado de las fuerzas de compresión y torsión que tomaron lugar durante la formación del pilar (horst) de Muzo y Coscuez, el cual está limitado lateralmente por fallas normales de dirección aproximada sur-norte en contacto con el Albiano medio y superior. La presencia de calcita en las fisuras mencionadas parece ser de reemplazamiento secundario; el berilo (esmeraldas y morrallas) es un mineral primario que se encuentra incluido dentro de la calcita y en drusas. El espesor de las fisuras de calcita varía desde menos de 1 milímetro hasta cerca de 40 centímetros. Sin embargo, las esmeraldas se encuentran en fisuras de 2 a 10 centímetros de ancho, a veces rellenas con calcita. El volumen de las fisuras dentro de la masa de arcillas negras piríticas puede alcanzar hasta un 10%, pero su ocurrencia no es completamente regular. La cantidad de esmeraldas dentro de las fisuras es menor de 1%. El tamaño de las esmeraldas es muy variable y se han encontrado algunas hasta de una libra de peso.

Se llama la atención a la posibilidad de tratar el material estéril de Muzo por flotación, previos ensayos, para recuperar posibles microcristales de berilo.

Se mencionan además los actuales usos del berilio (Be) y del berilo. Se dan ciertas consideraciones para prospectar berilo en el área de Muzo y Coscuez, y se hacen varias recomendaciones.

El informe contiene tres planchas ilustrativas.

INTRODUCCION

La Dirección de las minas de Muzo y Coscuez, dependencia del Banco de la República, solicitó al Servicio Geológico Nacional, División del Ministerio de Minas y Petróleos, la asesoría geológica para acompañar en una corta visita a las minas de Muzo, al mineralogista Eugene B. Hotchkiss, Vicepresidente de la "Vitro Corporation of America" de Nueva York. Dicha compañía está interesada en la obtención de berilos (morrallas) para obtener berilio (Be).

El suscrito visitó las minas en compañía de R. Suárez (Director de las minas de Muzo y Coscuez), E. B. Hotchkiss y J. Zonda (economista del Punto IV).

Situación y vías de comunicación.

Las minas de esmeraldas de Muzo (ver localización de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez, plancha número 1) se encuentran aproximadamente a 105 kilómetros al norte y 8 kilómetros al oeste del meridiano de Bogotá (Colombia). Dichas minas se hallan dentro de la cuenca de la quebrada Itoco, afluente occidental del río Minero, y abarcan una superficie menor de 1 kilómetro cuadrado. Las minas de Coscuez se hallan situadas aproximadamente a unos 10 kilómetros en línea recta al norte de las minas de Muzo, en la margen izquierda de la quebrada Desaguadero, la cual vierte sus aguas en la quebrada de La Caca, afluente occidental del río Minero. Ambos grupos de minas se hallan dentro de los linderos establecidos por el Decreto 400 de 1899, así:

“Por la quebrada Sorquecito arriba, desde la boca en el río Minero, hasta el más alto filo de la serranía Itoco, en la dirección de Quipama; el filo de dicha serranía, hasta ponerse en el punto más inmediato a las vertientes de la quebrada Tambrías; la quebrada Tambrías, hasta su desembocadura en el río Minero, y este río aguas arriba, hasta la boca de la quebrada Sorquecito”.

Este terreno es de propiedad de la Nación y ha sido dado en administración por el Gobierno Nacional al Banco de la República.

La mencionada propiedad nacional se halla en el Territorio Vásquez, parte occidental del Departamento de Boyacá.

La vía más fácil para llegar a las minas de Muzo es la de la carretera (actualmente macadamizada) que parte de Chiquinquirá, población que está unida a Tunja, capital del Departamento, por una carretera de 64 kilómetros, y a Bogotá por línea férrea y carretera de aproximadamente 130 kilómetros. La siguiente tabla muestra las diferentes elevaciones y distancias por carretera, de los lugares entre Chiquinquirá y las minas de Muzo.

	Elev. metros	Distancia a Chiquinquirá. Kilómetros
Chiquinquirá	2.570	—
Bifurcación carretera a Pauna	2.500	18
Bifurcación carretera a Maripí	2.160	27
Buenavista	2.050	32
Bifurcación carretera a Coper	620	59
Puente sobre el río Guaso	450	68
Muzo	750	84
Puente sobre el río Minero	460	92
Minas de Muzo	600?	98?

El trayecto de carretera del puente sobre el río Minero hasta las minas de Muzo se halla actualmente en construcción. El recorrido en automotor de Chiquinquirá al puente sobre el río Minero puede hacerse en unas 3 horas, y de Bogotá a Chiquinquirá también aproximadamente en 3 horas.

Historia de la minería en la región.

Otero Muñoz (1948) da una historia muy detallada de las minas de esmeraldas de la región de Muzo, desde su descubridor español (1550?), el Capitán Juan de Penagos, hasta 1900. Dichas minas han sido dadas varias veces por el Gobierno Nacional en contrato a particulares para su explotación. Otras épocas han estado cerradas, y en la actualidad las administra el Banco de la República por intermedio de la Dirección de las Minas de Muzo y Coscuez.

En el área de propiedad nacional se encuentran, entre otras minas esmeraldíferas, la de Muzo o Itoco (llamada antiguamente Mina Real), la de Coscuez, La Chapa y Peña Blanca, siendo las minas de Muzo las de mayor explotación. En la actualidad se preparan para la explotación en esta mina los bancos Tequendama, Aguardiente y Gallinazo (ver plancha número 2).

Durante 1942-44 se explotaron en la región algunas vetas de cristales de cuarzo, cuyos espesores oscilaban entre unos pocos centímetros y varios metros. Este mineral fue exportado a los Estados Unidos, habiendo producido la región aproximadamente un 80% de la exportación colombiana (1503 libras por valor de US\$ 7.840). SINGEWALD (1950) da algunas descripciones y localizaciones de dichas minas. Las vetas de cuarzo, así como todas aquellas ocurrencias de feldspatos, micas, berilos (esmeraldas, morrallas), etc., en la región, son de gran importancia para el estudio de la formación esmeraldífera y de los posibles depósitos de berilo. A continuación se dan las localidades de las minas de esmeraldas y de los sitios donde se explotó cuarzo. Las minas se presentan divididas en dos grupos que parecen seguir líneas muy definidas; el segundo grupo parece coincidir en parte con la falla del río Minero (ver Geología General y Plano Geológico del área de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez, plancha número 2).

Primer grupo	Lat. N	Long. W
Mina de Coscuez	5° 39'	74° 11'
" Muzo	5° 33'	74° 11'
" Ramal	5° 32'	74° 12'
" Amarilla	5° 29'	74° 14'
Segundo grupo		
Mina de Peña Blanca	5° 44'	74° 05'
" Alumbral	5° 32'	74° 07'
" Cuincha	5° 30'	74° 08'
" Isabí	5° 28'	74° 08'

Investigaciones geológicas anteriores.

Los depósitos esmeraldíferos de Muzo y Coscuez fueron estudiados durante los años de 1914 y 1915 por SCHEIBE (1933); quien estudió en detalle la mina de Muzo o Itoco. El ingeniero de minas RAINIER (1933) localizó en el plano elaborado por SCHEIBE un área hoy agotada. Recientemente BÜRGL (1956) estudió la estratigrafía entre las minas de Muzo y la población del mismo nombre. Los estudios efectuados por la Dirección de las minas de Muzo y Coscuez no estuvieron a nuestra disposición.

Trabajo y objetivo.

El presente informe es el resultado de: 1) unas pocas observaciones hechas en el campo; 2) interpretaciones de los estudios efectuados anteriormente en Muzo y sus alrededores; 3) recopilaciones bibliográficas de algunos depósitos similares a los de Muzo, mundialmente conocidos, y 4) las observaciones estereoscópicas llevadas a cabo sobre las fotografías aéreas verticales, del trabajo 18-B (La Palma), del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

Este informe tiene por objeto aportar datos que sirvan de base para una investigación más detallada con miras a desarrollar una prospección técnica con la cual se logre un conocimiento más detallado del yacimiento esmeraldífero.

Expresamos nuestros agradecimientos al Director de las minas de Muzo y Coscuez, al Superintendente de las minas, ingeniero Enrique Escobar, al ingeniero Guillermo Vega, al geólogo Mario Gil y demás personal de las minas, por habernos proporcionado las facilidades necesarias y acompañado en la visita efectuada. Se reconoce debidamente al personal del Servicio Geológico Nacional que en una u otra forma colaboró en la elaboración del presente informe.

GEOLOGIA GENERAL

Estratigrafía.

BÜRGL (1955) estudió la estratigrafía entre la población de Muzo, el río Minero y las minas de esmeraldas de Muzo, concluyendo que las capas esmeraldíferas pertenecen a una serie de arcillas negras piríticas de unos 600 metros de espesor, que corresponden al Albiano Inferior (parte de la formación Villeta de la Cordillera Oriental, que se extiende en el Cretáceo desde el Barremiano hasta el Cenomaniano) y que pertenecen a una serie marina de facies neríticas sobre la cual se depositaron posteriormente, hasta finalizar el Albiano, unos 2.500 metros de sedimentos consistentes de pizarras y esquistos (algunas veces arenosos y micáceos, de color negro a gris).

Desde el río Minero al Oeste, hasta la población de Muzo, aparecen en sucesión normal los estratos del Hauteriviano al Albiano Medio Superior.

En la plancha número 2 se diferencian solamente el Albiano medio y el Albiano superior.

Tectónica.

Los bancos esmeraldíferos explotados hasta ahora en las minas de Muzo y Coscuez (ver localización de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez, plancha número 2, y Plano Geológico del área de las minas de esmeraldas de Muzo y Coscuez, plancha número 3) parecen estar situados en un pilar (horst), limitado longitudinalmente por un sistema de fallas normales, las cuales se extienden desde el sur de las minas de Muzo hacia el norte, pasando por las minas de Coscuez y cortando el anticlinal de Itoco (BÜRGL, 1955) o Coscuez, el cual parece que en la profundidad sea un anticlinal invertido cuyo plano axial buce al Este. Dicho (horst) pilar, de 0.5 a más de 1 kilómetro de ancho en la superficie, está constituido en su interior por un conjunto de esquistos arcillosos (obviamente más antiguos que los circundantes), plegados en forma de "dragfolds", los que están atravesados por una multitud de fisuras rellenas. Algunas zonas de estas rocas fueron alteradas por las soluciones acuosas (originarias de las esmeraldas y de otros minerales primarios) y son posiblemente las llamadas por SCHEIBE (1933) "capas buenas" o esmeraldíferas.

Hacia el este de las minas de Muzo y antes de llegar al río Minero, se presenta un sinclinal invertido, en el Albiano superior, cuyo plano axial buza al Este y parece dirigirse desde la desembocadura de la quebrada Itoco en dirección sur-norte hasta un poco antes de la desembocadura de la quebrada Camero al río Minero. Desde allí cambia la dirección de su eje virando al Nornoroeste, volviéndose un sinclinal normal aproximadamente en la latitud de las minas de Coscuez. Este sinclinal se lo llama "de Terri", por tener su eje casi en la misma dirección de la quebrada así llamada, afluente izquierdo de la quebrada de La Caca.

Entre la desembocadura del río Guaso, afluente oriental del río Minero, y el sinclinal de Terri, se presenta en el Albiano superior el anticlinal de Pazurcha, de dirección sursureste-nornoroeste cuya parte sur-oriental se halla invertida. Este anticlinal se lo llama así por atravesar su eje el alto de Pazurcha, perteneciente al filo que sirve como divorcio de aguas entre el río Minero y la quebrada de La Caca.

La falla del río Minero descrita por BÜRGL (1955), presente entre el puente nuevo sobre el río Minero y la desembocadura de la quebrada Itoco, se la califica como una Fosa, cuyo bloque occidental ha bajado. Al Oriente de esta falla se encuentra el Hauteriviano (parte superior de la formación Cáqueza), y al Occidente el Albiano medio superior, lo que implica un desplazamiento vertical de unos 5.000 metros.

"A lo largo de la orilla oriental del río Minero, la sucesión hauteriviana-aptiana buza hacia el Este, formando primero un sinclinal (de Muzo), a 2 km. al sureste de la desembocadura del río Itoco. Los flancos de este sinclinal son bastante pendientes, con buzamientos de 45 a 70 grados en la carretera. El eje del sinclinal está ocupado por capas del Aptiano

superior. Subiendo hacia el Este, las mismas capas culminan en un anticlinal que se extiende en dirección noreste-suroeste y pasa un poco al este de la población de Muzo". (BÜRGL, 1956).

Esta estructura la llamó BÜRGL anticlinal de Muzo.

GEOLOGIA ECONOMICA

Berilio (Be) y Berilo.

Generalidades. El berilio ha sido encontrado en más de 56 minerales. Aproximadamente la mitad de ellos poseen más de 1% de berilio. Sin embargo, de todos estos minerales solamente el berilo (sílico-aluminato de berilio, $\text{Be}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$) se ha encontrado en suficientes cantidades y en concentraciones suficientemente ricas (2% o menos) para ser usado comercialmente.

El berilio es un metal raro, de color gris metálico, peso atómico de 9 y gravedad específica de 1,84. Es mucho más liviano que el aluminio y ligeramente más pesado que el magnesio, el calcio y el fósforo. El berilio no es radioactivo, pero es el único metal ligero estable con un alto punto de fusión y es un excelente transmisor del sonido.

Usos del berilio. Su mayor uso está en el campo de la energía nuclear por su cualidad de moderar o disminuir la cantidad de neutrones producidos en la fisión. Entre otras aplicaciones, en la energía nuclear se incluye su uso como reflector de electrones (en las fuentes de neutrones de radio, o polonio con berilio) y como material de construcción. El berilio tiene la más baja sección de absorción de neutrones térmicos entre todos los metales (cerca de una veinteaava parte de la del zirconio). El costo del metal berilio ha limitado su uso como material de construcción. El mayor uso comercial del metal puro es en discos o ventanas de rayos-X debido a su alta permeabilidad al paso de ellos.

La aleación cobre-berilio posee extraordinarias propiedades elásticas, resistencia a la fatiga, estabilidad bajo compresión y alta conductibilidad térmica y eléctrica, lo que favorece su uso en los equipos eléctricos y en las piezas sujetas a múltiples condiciones de trabajo. Las aleaciones de alta resistencia contienen alrededor de 2% de berilio y 0.35% de cobalto o níquel, adquiriendo el cobre así equilibrado, su más amplio uso. En las aleaciones requeridas por su gran conductibilidad eléctrica y máxima resistencia o dureza, se prefiere usualmente un contenido menor de 0.75% de berilio. La manufactura de herramientas de seguridad (que no producen chispas) es uno de los más recientes usos de las aleaciones de cobre-berilio. Estas herramientas se utilizan donde una chispa pueda causar explosiones desastrosas y en la industria química a causa de su resistencia a la corrosión. Los resultados de los experimentos de la resistencia a la corrosión de las aleaciones cobre-berilio indican que es un material que se debe tener en cuenta para ser utilizado en aplicaciones marinas.

En las aleaciones de aluminio y magnesio, el berilio las provee de fluidez y retarda la oxidación. El ferroberilio se usa en el campo de aceros inoxidable. Las aleaciones de níquel-berilio se utilizan en la fabricación

de brocas para los taladros de diamante, instrumentos para cirugía, cuerdas para relojes y otros aparatos, y en piedras fundidas de alta precisión.

El óxido de berilio, las fritas cerámicas de berilio y el berilo en polvo, se usan en la fabricación de aislantes eléctricos de alto grado, cerámicas refractarias a altas temperaturas, y como cubierta protectora de ciertos aceros. El uso del óxido de berilio se ha extendido rápidamente a causa de su alta resistencia eléctrica, su conductibilidad térmica excepcional, su alto punto de fusión y su resistencia a los choques térmicos.

El cloruro de berilio se utiliza para diagnósticos de la tuberculosis. El fluoruro de sodio y berilio se utiliza en vidrios que poseen una alta permeabilidad a los rayos ultravioletas. El estrato de berilio se emplea en la fabricación de ciertas tintas de imprenta. El nitruro de berilio se usa como punto inicial para la producción del isótopo de carbono (C_{14}).

Precios y estadísticas del berilo en Estados Unidos. (Minerals Year Book, 1953). Los embarques de más de 500 libras de berilo que contengan no menos de 8% de BeO, se compran sobre la base de una inspección ocular al precio de US\$ 400.00 por tonelada corta, libre de humedad. El berilo debe estar en la forma de cristales limpios, libres de todo material estéril. Los lotes mayores de 500 libras se analizan a solicitud y por cuenta del vendedor. Los precios de los lotes aceptados por muestreos y análisis químicos se fijan por unidad de una tonelada corta de BeO, que es la centésima parte de la tonelada, o 20 libras, así:

% contenido de BeO	Precio por unidad (1953)
8 - 8.9	US\$ 40.00
9 - 9.9	" 45.00
10 y más	" 50.00

Este precio puede convertirse al precio por tonelada de mineral, multiplicando el valor por unidad de BeO por el porcentaje del contenido de BeO. Por ejemplo, el precio de una tonelada corta de mineral de berilo con 8% de BeO será 40 por 8 igual 320 US\$, pues la tonelada de mineral tiene 160 libras u 8 unidades de BeO.

El 30 de octubre de 1958 las unidades de BeO con 10-12% BeO en el mineral se pagaron entre US\$ 28 y 35. La tonelada de mineral en estas condiciones vale US\$ 280 a 420.

ESTADISTICA DEL BERILO EN LOS ESTADOS UNIDOS
DE 1948 A 1953 EN TONELADAS

Año	Produc. Nal.	Importaciones	Consumo Nal.	Exportaciones	
				Berilos	Aleaciones (BeO)
1948	154	1.598	1.726	2,3	63,5
1949	475	3.811	1.029	0,3	94,0
1950	559	4.860	3.007	0,1	110,5
1951	484	4.316	3.338	0,3	94,8
1952	515	5.878	3.476	1,9	196,6
1953	751	8.245	2.661	0,0	103,7

PAISES PRODUCTORES DE BERILO (1953).

	%		%
Brasil	38,8	Portugal	2,6
Unión Sur Africana ..	24,2	Madagascar	1,4
Rodesia del Sur	14,5	Marruecos Francés . . .	1,0
Argentina	8,8	Africa Oriental Inglesa	0,4
Mozambique	4,4	Japón	0,1
India	3,6	Otros países	0,2

Esmeraldas de Muzo y Coscuez.

Generalidades. La esmeralda es una variedad transparente, euhedral de berilo (sílico-aluminato de berilio), con el conocido color "verde esmeralda", color que según GOLDSCHMIDT (1954) se debe a pequeñas cantidades de óxidos de cromo o de vanadio, o de una mezcla de ambos óxidos.

La experiencia demuestra que las variedades transparentes de muchos silicatos y óxidos de minerales (v. gr. feldespatos alcalinos, berilo, corindón, cuarzo, etc.), se han formado a comparativamente bajas temperaturas. Los silicatos u óxidos cuando se forman a temperaturas magmáticas son solamente translúcidos. La razón por la cual los minerales formados a altas temperaturas son menos transparentes que sus equivalentes formados a bajas temperaturas, es debido al hecho de que a altas temperaturas el enrejado intermolecular (lattices), propio de las vibraciones termales de amplia escala, puede acomodar muchos componentes extraños en solución sólida, los que durante el enfriamiento y la formación de los cristales llegan a ser insolubles, formando inclusiones microscópicas y sub-microscópicas de dichos componentes y menoscabando así la transparencia de los cristales.

A. E. FERSMAN (Jean Morer, información verbal) ha demostrado que las esmeraldas de los Urales (Rusia) consiguieron su cromo de las rocas graboides básicas, en las cuales las pegmatitas graníticas (formación esmeraldífera) se hallan intruídas. En Muzo las venas esmeraldíferas atraviesan capas de esquistos sedimentarios fuertemente plegados, de los cuales no se tienen análisis químicos detallados; pero se supone que ellos (los esquistos) han contribuído con las porciones de cromo y de vanadio para el color verde de las esmeraldas.

Origen de las esmeraldas de Muzo y Coscuez. Las venas esmeraldíferas de Muzo y Coscuez parecen haber sido formadas en fisuras, por las cuales ascendieron y cristalizaron soluciones en fusión cuyos vapores de agua abundan en componentes no volátiles (entre ellos berilo). Dichas soluciones pudieron provenir de un magma, pero no es necesariamente el único origen probable. Formulamos las siguientes posibilidades:

- 1) Soluciones pegmatíticas, de origen magmático.
- 2) Soluciones provenientes de ultra-metamorfismo o Anatexis (fusión diferencial de las rocas pre-existentes).
- 3) Soluciones neumatolíticas-metasomáticas.

Hasta ahora se ha aceptado como un hecho la presencia en el subsuelo de un magma de rocas graníticas o ultrabásicas; la presencia del óxido de berilio en las rocas es muy variable y la clase de roca no es un factor determinante en la formación de berilo (esmeraldas y morrallas). A continuación se da una tabla de las diferentes cantidades en parte por millón de BeO en las distintas clases de rocas (GOLDSCHMIDT, 1954).

Roca	p. p., de BeO
Dunitas	sin determinar
Gabros y Basaltos	5
Gabro-aplita	10
Granodioritas	5 - 10
Granitos	5 - 30
Obsidiana	10 - 100
Sienitas de nefelina	5 - 600

En caso de llegar a comprobarse el origen magmático de los depósitos esmeraldíferos de Muzo y Coscuez, el carácter neumatolítico de las venas esmeraldíferas haría posible suponer como magma originario de las soluciones pegmatíticas algún probable apófisis de las últimas intrusiones en la Cordillera Central. Este concepto, una vez confirmado, ampliaría enormemente el área con posibles depósitos de berilos en la región.

Paragénesis. En la formación de los depósitos minerales de soluciones neumatolíticas los minerales se forman según una secuencia ordenada, y esta disposición se denomina paragénesis.

La causa de estas secuencias minerales en los rellenos de fisuras y otras cavidades se considera debida generalmente a la disminución de la solubilidad de los minerales en solución, a consecuencia de un descenso de temperatura y de presión, es decir, que los minerales más solubles permanecen más tiempo en solución y los menos solubles son los primeros en precipitarse.

Se formula la siguiente posibilidad de la paragénesis en las fisuras rellenas de las minas de Muzo:

a) Minerales primarios esenciales:

cuarzo
feldespato

accesorios:

berilo (esmeraldas y morrallas)
parisita (?)
apatita
fluorita
mica

b) Minerales de reemplazamiento secundario:

calcita
dolomita
barita
pirita

c) Minerales de alteración por oxidación y aguas meteóricas:

limonita (hidróxidos de hierro)
 azufre
 caparrosa (sulfato de hierro)

El estudio de la paragénesis de un depósito aclara la naturaleza, continuidad en el tiempo de formación y carácter cambiante de las soluciones mineralizadoras. También indica los posibles cambios en el carácter del mineral con la profundidad. Así puede esperarse hallar minerales primarios (berilo) de una secuencia en mayor cantidad en las zonas más profundas.

Los estudios hechos en los Estados Unidos por ADAMS (1953) y PAGE (1953) indican que los índices de refracción de los berilos encontrados en varios depósitos varían en la misma forma que los berilos encontrados en pegmatitas graníticas. Los berilos de simples pegmatitas o de las zonas exteriores de los complejos (fisuras rellenas) generalmente tienen un índice de refracción entre 1,57 y 1,58. Los índices más altos de 1,58 son característicos de los berilos de las zonas interiores o de las últimas fracturas de las pegmatitas. Dichos berilos presentan un descenso en el contenido de BeO, debido a la sustitución por ciertos álcalis, especialmente Cs₂O, Li₂O y Na₂O. Las variaciones en el índice de refracción de las esmeraldas de Muzo han sido comprobadas y mencionadas por BARRIGA (1948), quien da los siguientes resultados:

	1,5783	1,5726
medidas hechas por Bernauer	1,5683	1,5626
medidas hechas por Kraus y Baker	1,58	

La variación del índice de refracción del berilo puede fluctuar entre 1,564 y 1,598.

Análisis químicos de las esmeraldas de Muzo. Los resultados de los análisis químicos efectuados sobre las esmeraldas varían un poco sobre todo en el contenido de BeO, pero dicha variación parece deberse a los diferentes métodos usados, algunos de los cuales incluyen entre las cantidades asignadas al Al₂O₃ considerables porciones de BeO.

BERNAUER (1933) da los siguientes resultados de los análisis efectuados por Götze y Wölbling:

SiO ₂	Götze: 64,1	Wölbling: 61,4
Al ₂ O ₃	24,2	24,3
BeO	8,7	9,7
H ₂ O	2,9	
Mn	trazas	
Cr		
TiO ₂		0,8
FeO		1,2
Va		

BARRIGA (1948) menciona el siguiente análisis efectuado por el Banco de la República :

Sílice (SiO ₂)	65,250 %
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	17,617
Oxido de Berilio (BeO)	13,891
Oxido de Cromo (Cr ₂ O ₃)	0,264
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1,002
Otros óxidos: de potasio (K ₂ O) ; de sodio (Na ₂ O ₃) ; de calcio (CaO) ; de magnesio (MgO)	0,426
Agua	1,550

Métodos mineros en Muzo. Las minas de Muzo están constituidas por una serie de arcillas negras piríticas plegadas en diferentes amplitudes de "dragfolds" que muestran un sinnúmero de fisuras rellenas principalmente de calcita cristalina a blanca. Dichas fisuras son el resultado de las fuerzas de compresión y tensión que tomaron lugar durante la formación del (horst) pilar de Muzo y Coscuez, el cual está limitado lateralmente por fallas normales de dirección aproximada sur-norte en contacto con el Albiano Medio y Superior. La presencia de la calcita en las fisuras mencionadas parece ser de reemplazamiento secundario. El berilo (esmeraldas y morrallas) es un mineral primario que se encuentra incluido dentro de la calcita y otras veces en drusas. El espesor de las fisuras de calcita varía desde menos de 1 milímetro hasta cerca de 40 centímetros. Sin embargo, las esmeraldas se encuentran en fisuras de 2 a 10 centímetros de ancho, a veces rellenas con calcita. El volumen de las fisuras dentro de la masa de arcillas negras piríticas puede alcanzar hasta un 10%, pero su ocurrencia no es completamente regular. La cantidad de esmeraldas dentro de las fisuras es menor de 1% (en peso). El tamaño de las esmeraldas es muy variable; se han encontrado algunas de 1 libra de peso.

La topografía en la región de las minas de Muzo es bastante quebrada, lo cual facilita su explotación a tajo abierto que consiste en: a) arranque con herramientas manuales sencillas (pico, pala, barra), b) escogencia de las esmeraldas y las rocas que "pintan" (calcita con inclusiones de berilos) por el mismo personal que efectúa el arranque, c) movimiento del material estéril, parte a mano y la mayoría por medio de agua almacenada en "tambres" y conducida a los frentes de trabajo por acequias, y d) disolución de las rocas que "pintan" con ácido clorhídrico, obteniendo en el residuo esmeraldas, morrallas, cuarzo, feldespatos, etc. La actual Dirección de las minas tiene un plan para mecanizar su explotación.

Ningún proceso útil y comercial ha sido desarrollado hasta ahora para recuperar la esmeralda por métodos mecánicos. La recuperación comercial del berilo (esmeraldas) se efectúa por escogencia a mano. La concentración por gravedad para recuperar esmeraldas no es aplicable.

Se llama la atención a la posibilidad de tratar el material estéril de Muzo, previos ensayos por flotación, para recuperar posibles microcristales de berilo. Se han obtenido resultados favorables en las investigaciones llevadas a cabo en los Estados Unidos (Bureau of Mines Technologists at Rapid City, S. Dak.).

Consideraciones para prospectar berilo en el área de Muzo y Coscuez.

La seguridad del buen éxito en la prospección de berilo en el área de las minas de Muzo y Coscuez no es mayor de lo que puede esperarse en otros tipos de depósitos minerales que presentan condiciones favorables, pero parece interesante concluir que la información geológica actual suministra datos que hacen justificable un estudio geológico más detallado de la región. Dicho estudio deberá ser invaluable a la industria de las esmeraldas y otros berilos, justamente como lo han sido ya las informaciones geológicas pertinentes a otras industrias mineras. Se presentan las siguientes consideraciones que deben tenerse en cuenta en el área de Muzo y Coscuez:

1) El Berilo es un mineral difícil de reconocer en el campo, a menos que se encuentre en cristales euhedrales de un color distintivo. Muchos depósitos contienen berilo en formas no cristalinas e irregulares, o en cristales perfectos de color amarillento, blanco, rosado o azul pálido, que son identificados erróneamente como cuarzo, feldespatos o ambligonita. Microscópicamente, en secciones delgadas, se puede confundir con apatita.

2) La experiencia indica que los depósitos altamente productivos de berilo ocurren en pegmatitas que contienen apreciables cantidades de albita y moscovita. Las fisuras rellenas de los depósitos esmeraldíferos en las minas de Muzo y Coscuez pueden estar conectadas en el subsuelo con pegmatitas, pero no debe descartarse el probable origen por anatexis.

3) La distribución de los minerales en muchas unidades de fisuras rellenas, se ha demostrado que está sistemáticamente relacionada a rasgos estructurales, especialmente a los contactos de la roca circundante. El análisis estructural detallado, bajo condiciones razonablemente favorables de los afloramientos, da comúnmente información útil a los interesados en la prospección, exploración y desarrollo de los depósitos de berilo.

4) La distribución uniforme del berilo dentro de una zona de fisuras rellenas es rara, y comúnmente las áreas que poseen cristales están separadas por grandes áreas estériles que pueden contener cristales pequeños.

5) Las zonas de fisuras que son estériles en la superficie pueden contener partes explotables hacia la profundidad. La guía aconsejada para orientarse en estas partes es: a) la aplicación de un amplio conocimiento de la estructura de las fisuras rellenas y la distribución de los minerales. Dicho conocimiento se adquiere por un cuidadoso estudio y correlación de las estructuras internas, y b) el estudio de la paragénesis de las fisuras de la región. Es posible que el sistema de fisuras esmeraldíferas esté relacionado a ciertas direcciones y buzamientos.

6) Si esto se hace, parece que el número de prospecciones con buen éxito puede extenderse más allá de los límites impuestos por las prácticas del pasado.

RECOMENDACIONES

Estúdiense por medio de ensayos si el material estéril de las minas de Muzo posee micro-cristales de berilo que pudieran ser beneficiados por métodos de flotación, y compruébese la posibilidad de flotar dicho material actualmente (véase Métodos Mineros).

Proyéctese una investigación sistemática del área de las minas de Muzo y Coscuez, en el cual se incluyan planes de estudios geológicos, mineralógicos, petrológicos, mineros, etc.

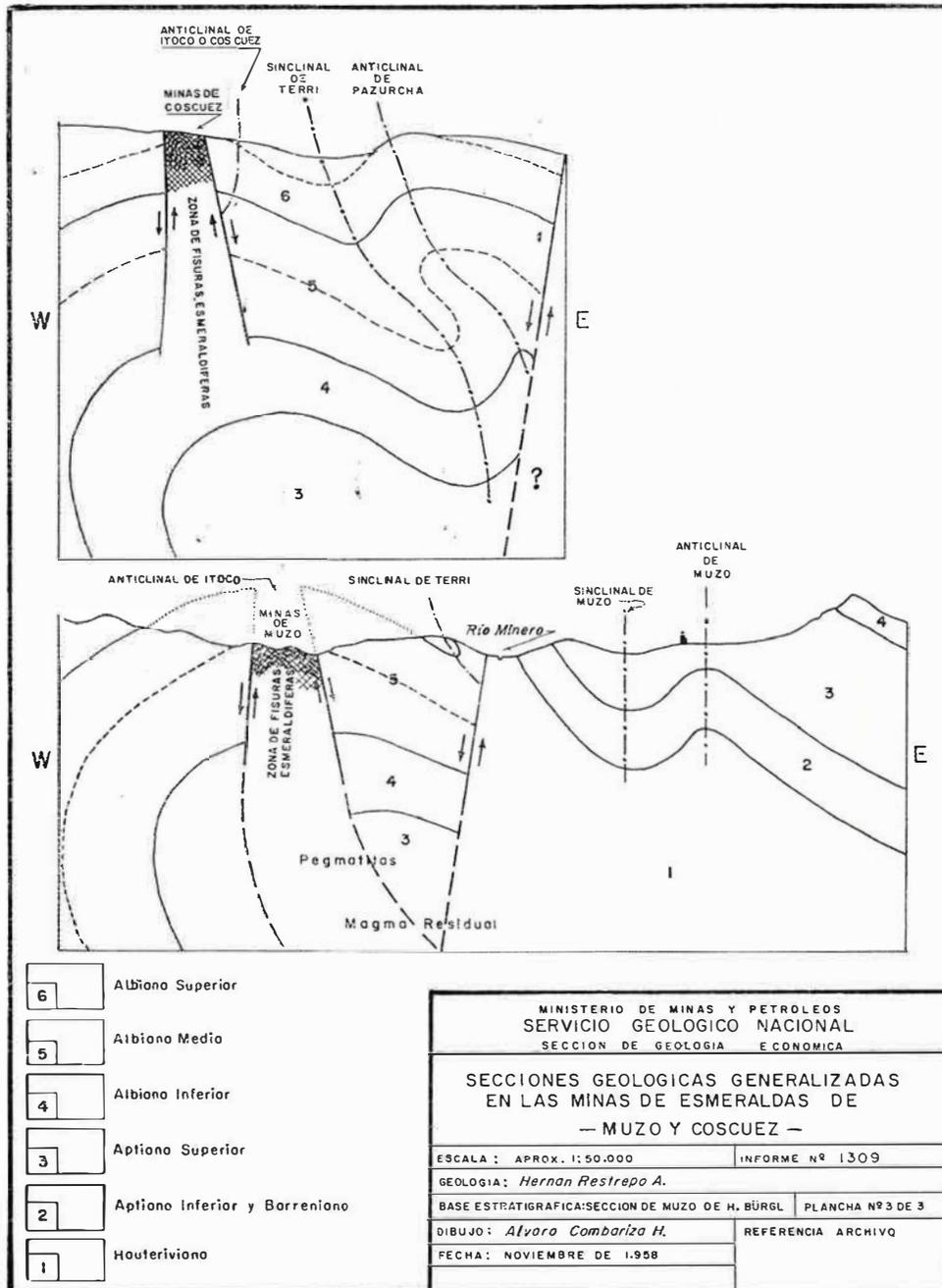
BIBLIOGRAFIA

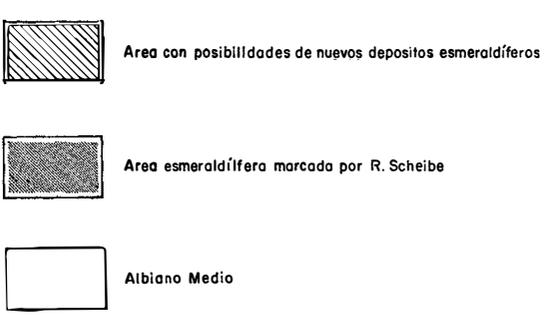
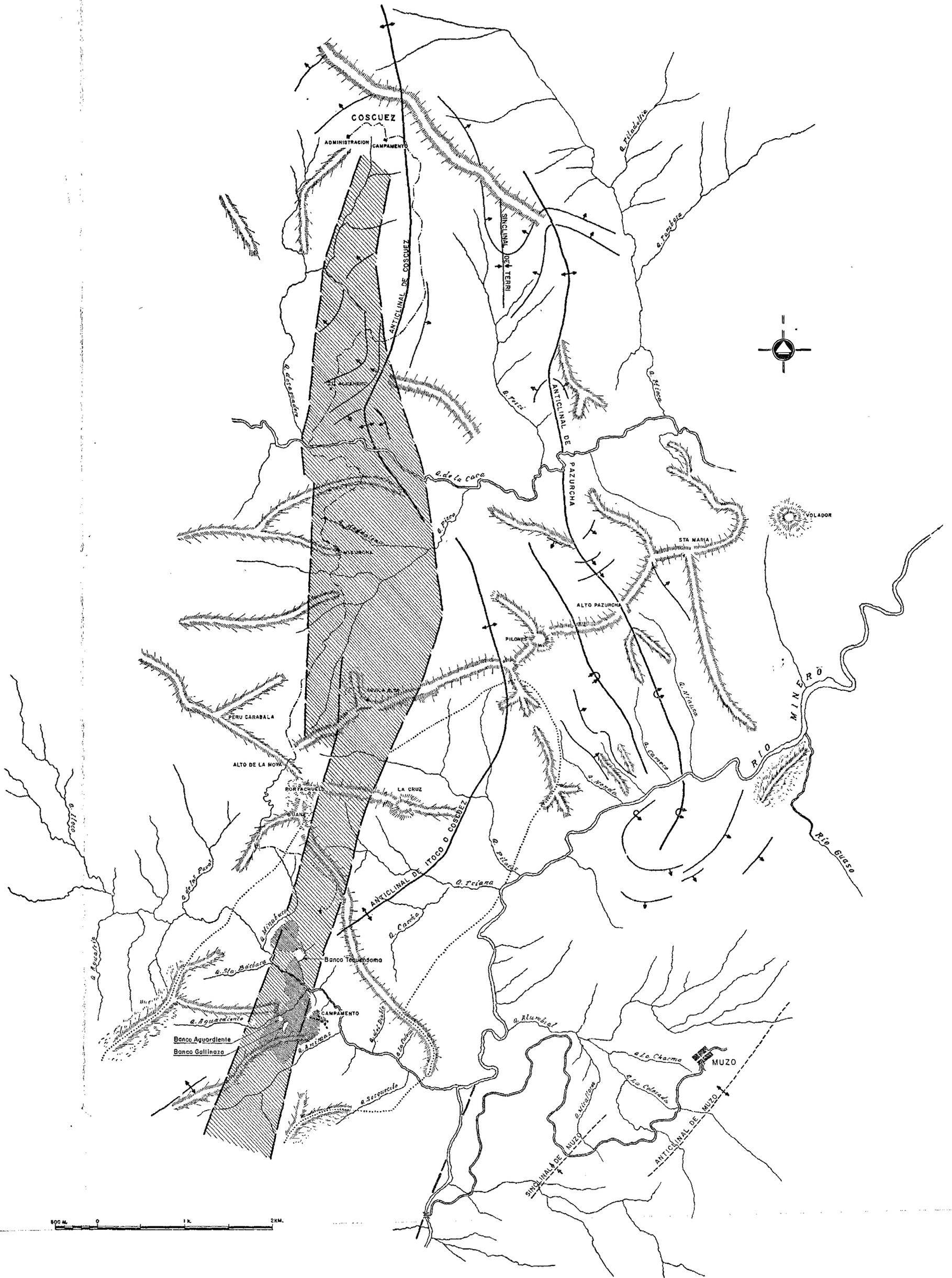
Trabajos de Referencia sobre Muzo.

- BERNAUER, F., 1933. — Las llamadas maclas múltiples de esmeraldas de Muzo y sus anomalías ópticas, *Comp Est. Geol. Col.*, tomo I, pp. 199-221.
- BÜRGL, H., 1956. — Condiciones geológicas de las minas de esmeraldas de Muzo, Boyacá, *Rev. Acad. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, vol. IX, Nos. 36-37, pp. 380-388.
- DEL RÍO, A., 1945. — Exploración de unos yacimientos de cuarzo en Muzo, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, tomo V, pp. 249-250.
- HUBACH, E., 1950. — *Exploración de nuevos yacimientos esmeraldíferos en Muzo, Boyacá*, Serv. Geol. Nal., Inf. N° 1188, Bogotá.
- OTERO G., BARRIGA, A. M., 1948. — *Esmeraldas de Colombia*, Banco de la República.
- RAINIER, P. W., 1933. — *Informe geológico de las minas de esmeraldas de Muzo*, enviado al Ministerio de Hacienda (tomado del Archivo de la Oficina de Fiscalización de Salinas y Esmeraldas, por el doctor R. A. Domínguez, Bogotá).
- SCHEIBE, R., 1933. — Informe geológico sobre la mina de esmeraldas de Muzo, *Comp. Est. Geol. Ofic. Col.*, tomo I, pp. 169-198.
- SINGEWALD, Q. D., 1950. — Mineral Resources of Colombia, *U. S. Geol. Surv. Bull.* N° 964-B.
- WOKITTEL, R., 1954. — *Yacimientos esmeraldíferos en los Municipios de Ubalá, Gachalá, Almeida, Macanal y Somondoco, Departamento de Boyacá*, Serv. Geol. Nal., Inf. N° 1050.
- WOKITTEL, R., 1957. — *Recursos minerales en el Territorio Vásquez, Departamento de Boyacá*, Serv. Geol. Nal., Inf. N° 1240.

Otras Referencias consultadas.

- EMMONS, W. H., 1940. — *The principles of economic geology*, New York, McGraw-Hill Book Co., Inc.
- BATEMAN, A. M., 1946. — *Economic Mineral Deposits*, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- CAMERON, E. N., JAHNS, R. H., MCNAIR, A. H., PAGE, L. R., 1949. — *Internal Structure of Granitic Pegmatites*, Urbana III, Economic Geology Publishing, Co.
- MASON, B., 1952. — *Principles of Geochemistry*, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- ADAMS, J. W., 1953. — Berillium Deposits of the Mount Antero Region, Chaffe County, Colorado *U. S. Geol. Surv. Bull.* N° 982-D, Mineral Year Book, 1953.
- PAGE, L. R., 1953. — Pegmatite Investigations 1942-1945, Black Hills, S. Dakota, *S. Geol. Surv. Professional Paper* 247, Washington.
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1954. — *Geochemistry*, ed Mur. A., Oxford, Clarendon Press.
- NIGGLI, P., 1954. — *Rocks and Mineral Deposits*, tr. Parker, R. L., San Francisco, W. H. Freeman and Co.
- NININGER, R. D., 1956. — *Minerals for Atomic Energy*, New York, D. Van Nostrand Co., Inc.





- Anticlinal
 - Sinclinal
 - Sinclinal invertido
 - Anticlinal invertido
 - Fallas
 - Normal
 - Invertido
 - Contacto geológico
- } Buzamientos observados
} Estereoscópicamente

- Construcciones
- Carreteras
- Caminos
- Filos de las montañas
- Quebradas

MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL SECCION DE GEOLOGIA ECONOMICA	
PLANO GEOLOGICO DEL AREA DE LAS MINAS DE ESMERALDAS DE MUZO Y COSQUEZ (Departamento de Boyaca)	
ESCALA : 1:25000	INFORME Nº 1309
GEOLOGIA : HERNAN RESTREPO A.	
TOPOGRAFIA : De Aerofotografías	PLANCHA Nº 2 DE 3
DIBUJO : ALVARO COMBARIZA H.	REFERENCIA ARCHIVO
FECHA : Noviembre de 1.958	