

PETROLOGIA Y MINERALOGIA DEL YACIMIENTO RAUL-CONDESTABLE Y REINTERPRETACION DE SU GENESIS

(*) Jorge Injoque E. / José Mendoza D. / Alberto Aranda V. /
Leonor Ramírez Y. / Rosa Andrade T.

RESUMEN

El depósito cuprífero Raúl-Condestable está ubicado en la costa central peruana, en rocas volcánico-sedimentarias aptiano-albianas de la formación Chilca, afectadas por metamorfismo regional de grado muy bajo y cortadas por intrusivos porfiríticos andesítico dioríticos que gradan a dacítico-trondjemíticos, probablemente derivados de los gabros iniciales del Batolito de la Costa Peruana.

Las rocas de la secuencia Chilca muestran en el área del yacimiento zonas alteradas a manera de parches o focos de alteración de forma irregular, compuestas de rocas metamórficas y metasomáticas, principalmente anfibolitas; habiendo además micacitas de biotita, flogopita, clorita, talco y calcita; granatitas; icorneanas y metasomatita de prehnita, albita, epidota, microclina y cuarzo. Dentro de estas zonas los pórfidos intrusivos muestran alteración hipógena consistente principalmente en anfíboles, cloritas y prehnita, rellenando vesículas, fracturas y en aureolas.

La metalización se encuentra exclusivamente dentro de zonas alteradas y es similar en los pórfidos intrusivos y en las rocas volcánico-sedimentarias alteradas, ocurriendo en los primeros como diseminaciones, stockworks y vetas, y en los segundos además como mantos.

La metalización consiste principalmente de magnetita, pirita, calcopirita y pirrotita. Se ha detectado además por primera vez especies de cobalto tales como linneíta, gersdorfito y cobaltita.

El complejo yacimiento cuprífero Raúl-Condestable, considerado volcánico-exhalativo por otros autores, de acuerdo al reestudio efectuado ha sido clasificado como "METASOMÁTICO" generado por la actividad tardío-magmática e hidrotermal de los pórfidos intrusivos andesítico-dacíticos en ambiente subvolcánico durante las etapas iniciales de la evolución del geosinclinal andino.

El yacimiento Raúl-Condestable por sus asociaciones metálicas y de silicatos, así como por su probable relación a los gabros iniciales del Batolito estaría relacionado a los depósitos Río Seco, Monterrosas y a prospectos tales como Pasamayo, Chivatillos, etc.

INTRODUCCION

El estudio de los yacimientos minerales de la Costa Central Peruana, es uno de los trabajos dentro del programa de investigación que viene realizando la Dirección de Laboratorios e Investigaciones Petromineralógicas de INGEMMET. El informe que presentamos al V Congreso Peruano de Geología constituye el primer resultado.

El estudio minucioso de las gangas y sus relaciones con las menas nos ha permitido obtener una información importante y muy útil, quedando demostrado una vez más que la ganga de los depósitos minerales se torna en una fuente inagotable de información para la interpretación genética de los depósitos minerales.

La utilización conceptual de los términos de **paragénesis** entendida como asociación mineralógica originada en determinados ambientes o facies y de **asociación petrológica** comprendida como la relación o afinidad que tienen ciertos minerales con rocas específicas, lo que deriva en la coincidencia a nivel regional de provincias o zonas metalogenéticas con las provincias o zonas petrográficas, nos ha servido de sustento para llegar a las conclusiones que presentamos a continuación.

El depósito Raúl-Condestable está ubicado en la Costa Central Peruana, en rocas volcánicas sedimentarias de la Formación Chilca, de edad Aptiano-Albiano. Esta secuencia tiene un rumbo entre 26° y 40° NW y buza hacia el SW entre 30° y 60°. Está afectada por unas cuantas fallas oblicuas cercanas a la vertical con saltos netos de unas decenas de metros. La sola excepción a esto es la falla mayor que corta al área en una dirección NW-SE con buzamiento entre 30° y 60° NE (Fig. No. 1), se desconoce el sentido del movimiento de esta falla. La parte estructural es todavía materia de estudios.

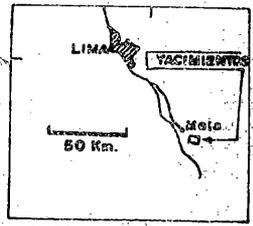
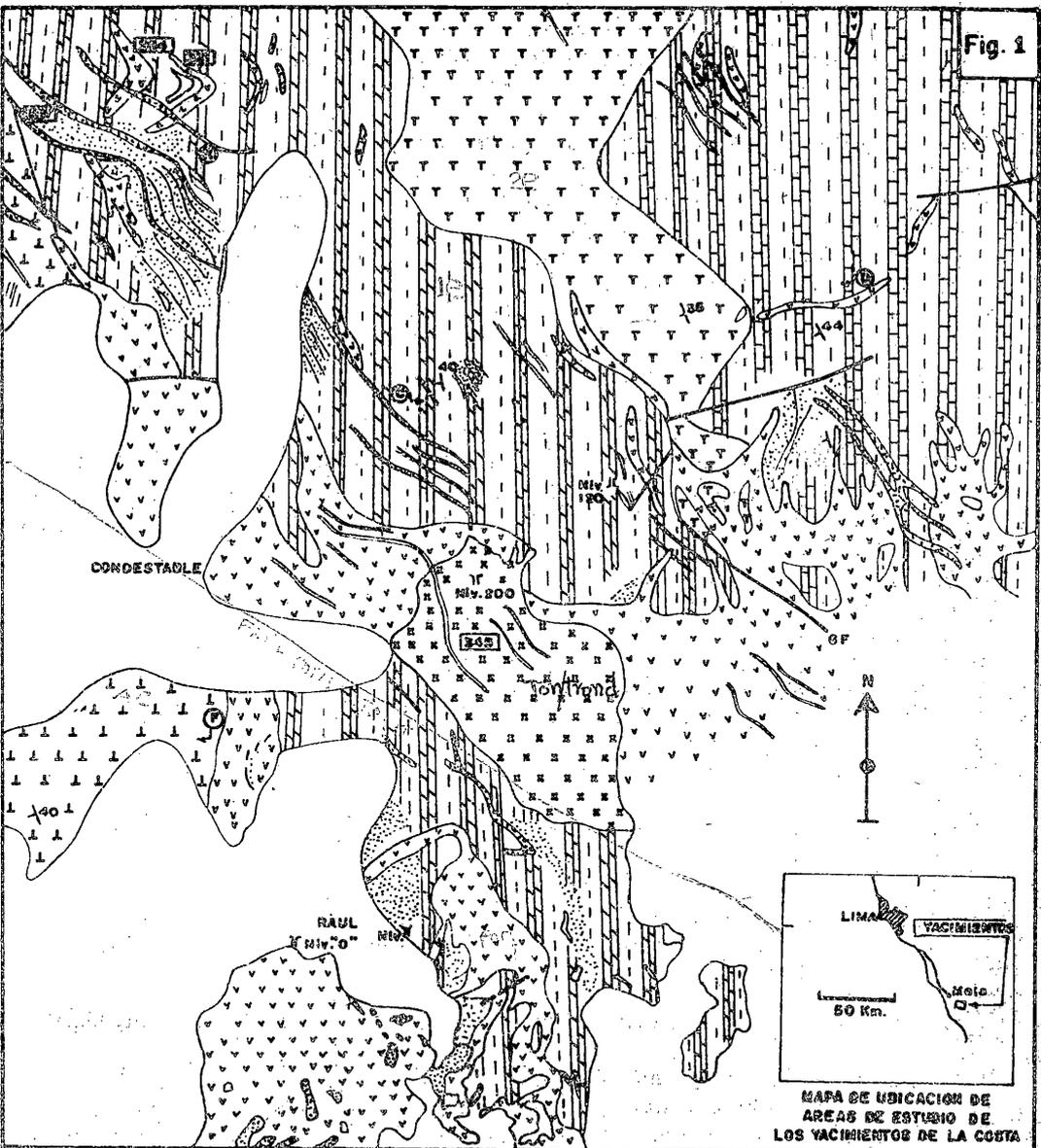
ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS

Localmente las rocas de la Formación Chilca están en contacto con areniscas del Grupo Morro Solar (Valanginiano) (Salazar H. 1975). Estas rocas han sido divididas en 4 unidades (Injoque J. et al 1976, 1982), del I al IV en orden estratigráfico creciente. Las unidades I y III están compuestas de calizas y lutitas con menor cantidad de areniscas y rocas volcánicas y las unidades II y IV son principalmente depósitos volcanoclásticos y piroclásticos con algo de flujos de lava y rocas sedimentarias. La proporción del material volcánico es significativamente más grande en las vecindades de las dos minas.

En Condestable la mineralización metálica económica ocurre dentro de la Unidad I y en Raúl dentro de la Unidad III. Esto corresponde a las unidades I a V de Ripley et al (1977, 1979). Existe también otra mineralización metálica no económica al norte de las minas, en ambas unidades.

Se sugiere para el área un ambiente de agua de poca profundidad, por la presencia de calizas bioclásticas y algunos conglomerados. Dentro del área inmediata a las minas han prevalecido localmente condiciones de reducción, como se muestra por la presencia de nódulos, concreciones y fósiles con pirita. Esto está particularmente demostrado en las capas Chicharrón (Unidad V de Ripley, op cit.) donde las calizas ocurren en lentes que alcanzan decenas de me-

Fig. 1



MAPA DE UBICACION DE AREAS DE ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS DE LA COSTA

LEYENDA

- | | | | |
|--|----------------------|--|--|
| | Quaternario | | Estructura Mineralizada |
| | Diabasa Sódica | | Rocas con alteración metaséctica moderada a fuerte |
| | Tonelito Transigente | | Falla |
| | Pérfido | | Gran Falla |
| | Fu. Chino Unidad 4a | | Orientación de capas |
| | Fu. Chino Unidad 3a | | Volcánica de columna estratigráfica |
| | Fu. Chino Unidad 2a | | Arco mineralizado Yacimientos en reserva |
| | Fu. Chino Unidad 1a | | Muestra Petrográfica |
| | Grupo Maro Celar | | Bocanico |

MAPA GEOLOGICO DE SUPERFICIE
MINAS RAULY CONDESTABLE
 GEOLOGIA: J. INJQUE NÚM. 7. EDICIÓN 1975
 ESCALA: 10.000 MÓD. 2. FLORES 1973
 FECHA: ABRIL 1964

tros de extensión. En contraste éstas muestran una forma más tabular que a menudo exceden los 100 m. de longitud, al Norte y al Sur del área de la mina donde la presencia de lutitas rojas y ausencia general de pirita sugieren condiciones de oxidación.

Las rocas volcánicas son de composición andesítica y ocurren como depósitos volcánico-clásticos, depósitos piroclásticos menores, brechas (con fragmentos de 30 cm. de diámetro como máximo) y flujos de lava. Los volcánicos en muchos casos se presentan con una estratificación gradada y cambios laterales a rocas sedimentarias. La presencia de algunas capas sedimentarias entre rocas volcánicas y la estratificación de los piroclásticos sugieren deposición submarina, aunque no hay ninguna evidencia absoluta en el área de las minas de actividad volcánica submarina.

LOS INTRUSIVOS

Los intrusivos del área son sills y dikes, muchos de ellos de formas lenticulares, de unos pocos metros a cientos de longitud y de algunos metros a decenas de metros de ancho, y generalmente con una orientación NW SE. Son abundantes en el área de las minas y escasas al Norte y Sur de ellas.

Al parecer hay dos eventos intrusivos:

- A) El primero tiene la siguiente secuencia de diferenciación:
- 1) Diorita hornblédica (como enclaves en el segundo).
 - 2) Pórfido diorítico-andesítico y pórfido andesítico-dacítico-trondhjemítico.
 - 3) Tonalita-trondhjemita.

Los pórfidos diorítico-andesítico y pórfido andesítico-dacítico-trondhjemítico están asociados a la mineralización metálica.

La tonalita-trondhjemita es post mineral.

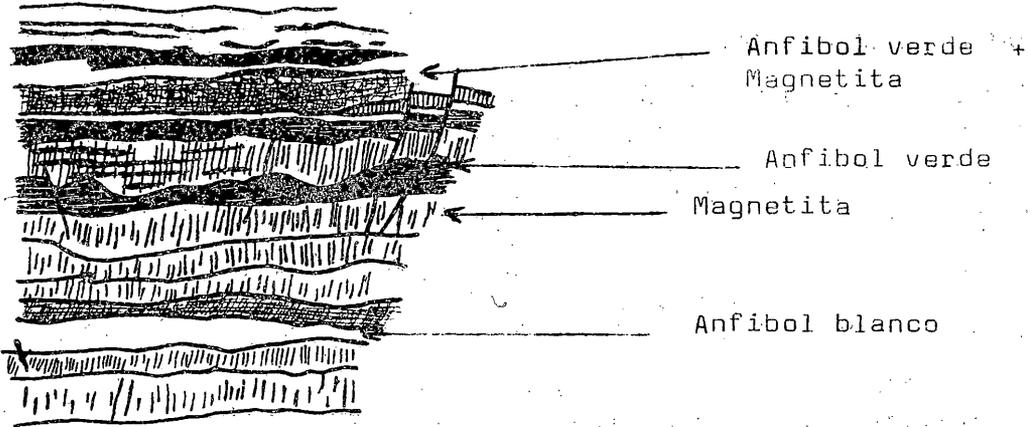
- B) El segundo evento está marcado por la presencia de diabasa que parece ser post mineral y que tampoco muestra virtualmente ningún efecto de metamorfismo de contacto.

EFFECTOS METASOMÁTICOS, ANFIBOLITAS, HORNFELSES Y SKARN DE GRANATE

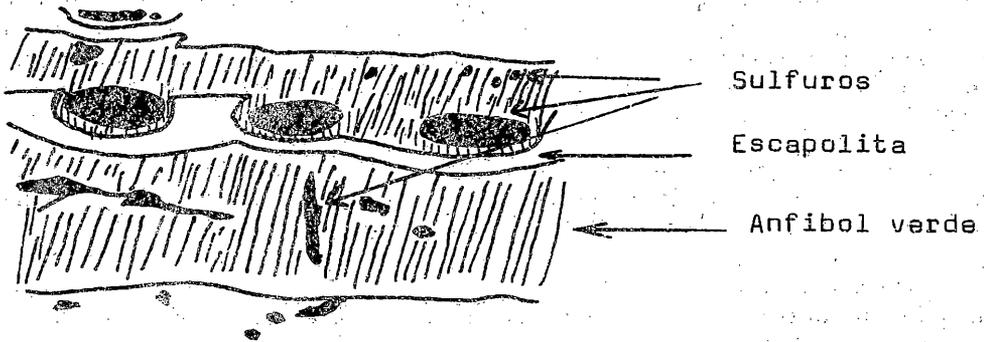
Las rocas metasomáticas y la mineralización asociada están distribuidas en parches irregulares o "focos" a través del área estudiada. Tales parches están a menudo débilmente zonados con núcleos rocosos altamente metasomatizados (principalmente anfibolitas, hornfelses de piroxeno y skarn ricos en granate), rodeados por los de menor grado principalmente mármoles y hornfelses de oligoclasa-andesina de textura porfidoblástica (metavolcánico y metaareniscas) con plagioclasas recristalizadas y cuarzo, esfena, apatita, anfíbol, epidotas, cloritas y calcita, como minerales accesorios diseminados.

Hay también pelitas ricas en biotita con anfíbol, en menor cantidad y rocas talcosas por ejemplo en capas chicharrón, con talco, peninita, clinocloro, phlogopita, biotita, calcita y anfíbol en asociaciones diferentes (micas, capa por capa). En algunos casos la magnetita y sulfuros forman mantos mineralizados (Fig. No. 2).

FIG. No. 3.— Ejemplos de relictos de estructuras sedimentarias reemplazadas completamente por minerales metamórficos.



a) **Capas Chicharrón.**— Muestra intercalada con bandas de anfibolitas de diferentes colores, anfibolita + magnetita y en algunos casos sulfuros claramente posteriores (ver figura 3b) observándose estructuras de deformación por peso en presencia y en ausencia de magnetita, por lo que dicha estructura no es diagnóstica de la génesis del yacimiento. Se ven también fallas sinsedimentarias y "ritmitas". Pero la roca es metamórfica.



b) **Capas Apolo.**— Se observa "nódulos" de sulfuros, pero resulta que la roca es igualmente metamórfica (presencia de escapolita con estructura de reemplazamientos), y además los sulfuros están reemplazando a los silicatos, por tanto no es diagnóstico sedimentario sino metamórfico.

sarrolladas a largo de venas y zonas de brechas que ocurren cerca de los contactos de los intrusivos.

La metalización considerando el marco genético del depósito es posterior al proceso de alteración de la roca, y los minerales metálicos se encuentran diseminados y rellenando espacios vacíos y mostrando estructuras de reemplazamiento.

PARAGENESIS DEL DEPOSITO

La paragénesis de los minerales se muestra en la Fig. No. 4. El granate, piroxeno, escapolita, anfíbol, apatita, esfena, biotita y flogopita son minerales pre-metálicos de alta temperatura; las fases anhidras, granate y piroxeno ocurren primero y generalmente se alteran a los otros silicatos hidratados. De los últimos, los anfíboles forman la mayor alteración metásomática. La albíta, prehnita, microlina, clorita, axinita, epidotas (pistacita, clinzoisita, zoisita, allanita) y cuarzo están asociados, pero son ligeramente más tempranos que los minerales metálicos, por lo que pueden ocurrir intercrecidos en estos últimos. Los minerales depositados después de los minerales metálicos son calcita, rutilo, zeolita (leonardita y thompsonita), yeso y calcedonia; los tres últimos ocurren al final de la fase hidrotermal.

Los minerales metálicos forman al parecer 2 asociaciones distintivas que pueden ser reconocidas en ambas minas en una variedad de rocas que los alberga. Las asociaciones son:

1. Fe-Cu-Ti-Mo-Co-Ni-Zn-Au (mineralización dominante de Fe Cu).
2. Pb-Zn-Ag-Au (mineralización dominante de Pb).

En la actualidad el cobre es económicamente el elemento más importante, el oro y la plata son extraídos como subproductos. El Co y Ni deberán ser considerados en los planes futuros.

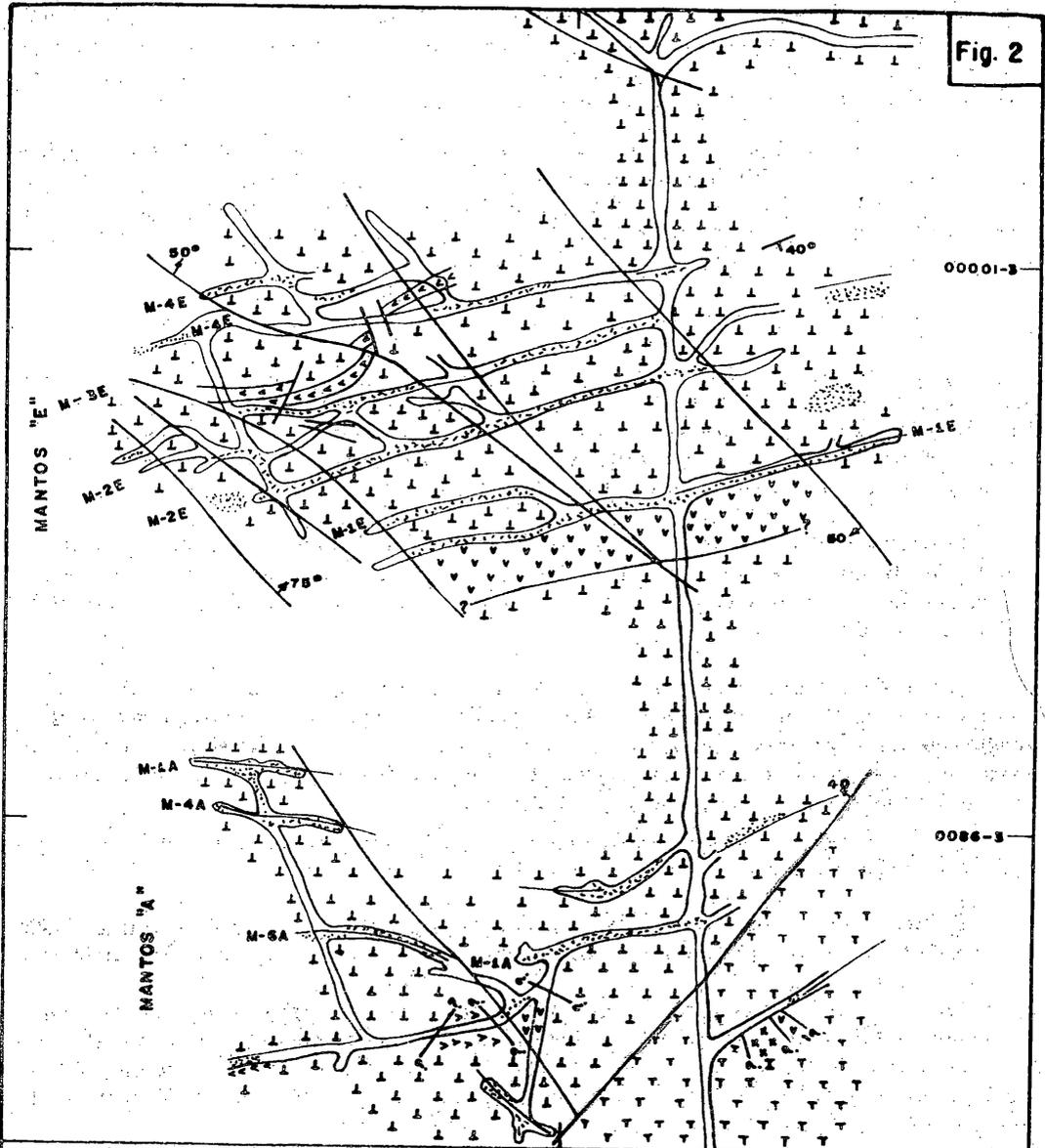
La mineralización de plomo está en algunos casos sobreimpuesta a la mineralización de cobre y hierro, mientras en otros forman venas separadas.

La mineralización de cobre y hierro constituye la mineralización metálica mayor, está presente en mantos mineralizados, zonas de venillas o hilos, venas, diseminada y ocurre principalmente en las rocas volcánicas sedimentarias. Geoestadísticamente hay evidencias que muestran que la distribución de los cuerpos mineralizados, venillas y diseminaciones han sido controlados estratigráficamente, con partes más ricas asociadas al horizontes particulares. (Bernuy O. 1982).

En los intrusivos la mineralización es escasa pero hay venas, algunas diseminaciones y zonas de venillas, sin significación económica. Adyacente a los intrusivos menores hay cobre a menudo enriquecidos en las paredes de las rocas.

La mineralización dominante de cobre y hierro está compuesta principalmente de magnetita, pirita, pirrotita y calcopirita, junto con ilmenita, molibdenita, grupo linneita, cobaltita, skuterudita?, gersdorffita, esfalerita, bornita, mackinawita, vallerita, oro y marcasita como fases accesorias. Magnetita e ilmenita, fueron los primeros minerales metálicos y son del tipo hipotermal (Rämöhr P. 1969), los minerales de cobalto y níquel en general son anhidrales y se presentan como inclusiones, principalmente en pirita y en calcopirita (la determinación al micros-

Fig. 2



LEYENDA

- | | |
|---|---|
| Copos Techo | Falla |
| Copos Piso | Dirección de estratificación |
| Perfilis Andesítica-escálfica | Mineralización en mantos |
| Diabases | Mineralización en stockwork, refino de venidas y diseminada |
| Tecolito-Tresdiente | Laberos mineros |
| Arbolitos y alteración en botas
Sulfatos dispersos y escapolitas | |

MINA CONDESTABLE	
MAPA GEOLOGICO-NIVEL 120	
GEOLÓGIA: J. INJQUE	MODIF. DE JUNJA 1977
ESCALA: 1:2,000	FECHA: ABRIL 1984

Las anfibolitas están ampliamente distribuidas en todo el depósito; los anfíboles generalmente comprenden aproximadamente el 90 o/o de la roca en su mayoría como cristales alargados constituyendo una textura granoblástica. En algunas rocas, con hábito acicular, con características plumosas; a veces el arreglo radial está presente.

Los tipos de anfíboles son tremolita, actinolita, actinolita hornbléndica, ferrihornblenda y tschermakita en muchos casos zonados. Los anfíboles son de la misma clase que los de Monterosas y de acuerdo a últimos estudios que los de Marcona. Los accesorios son plagioclasa, epidota, cuarzo, rutilo, esfena y raramente granate. Venas de anfíboles posteriores cortan la textura granoblástica.

Las rocas originales reemplazadas por los anfíboles fueron rocas calcáreas y volcánicas.

Las anfibolitas formadas a partir de rocas calcáreas (contienen también algo de mica y talco), todavía retienen los patrones de estratificación original y todas las estructuras sedimentarias macroscópicas y microscópicas, tales como fallas sinsedimentarias, deformación por peso y en algunos casos fósiles con piritita presentando además relictos de mármoles. No tienen esfena y son rocas homogéneas y generalmente bandeadas.

La asociación de magnetitas y sulfuros y estructuras de deformación por peso, que a nuestro juicio son estructuras reemplazadas (Fig. 3a y 3b), han sido usadas como evidencias para postular un origen volcánico exhalativo de la mineración metálica por Wauschkuhn A. 1979 y Cardozo M. 1981.

Las anfibolitas procedentes de rocas volcánicas ocurren como capas irregulares con márgenes gradacionales, contienen esfena y la textura es moderadamente heterogénea observándose relictos de piroclásticos o texturas porfiríticas. Típicamente estas rocas están asociadas con magnetita y sulfuros formando capas o mantos mineralizados cuyo desarrollo ha sido ulterior, aunque ocurren entrelazamientos de magnetita-anfibol.

Los hornfelses de piroxeno están interstratificados con anfibolitas o metavolcánicas y están compuestos de diópsido o salita en agregados granoblásticos.

Existen también rocas volcánicas, parcialmente reemplazadas por piroxeno diseminado y venas de piroxeno que preservan relictos de texturas volcánicas y plagioclasas recristalizadas.

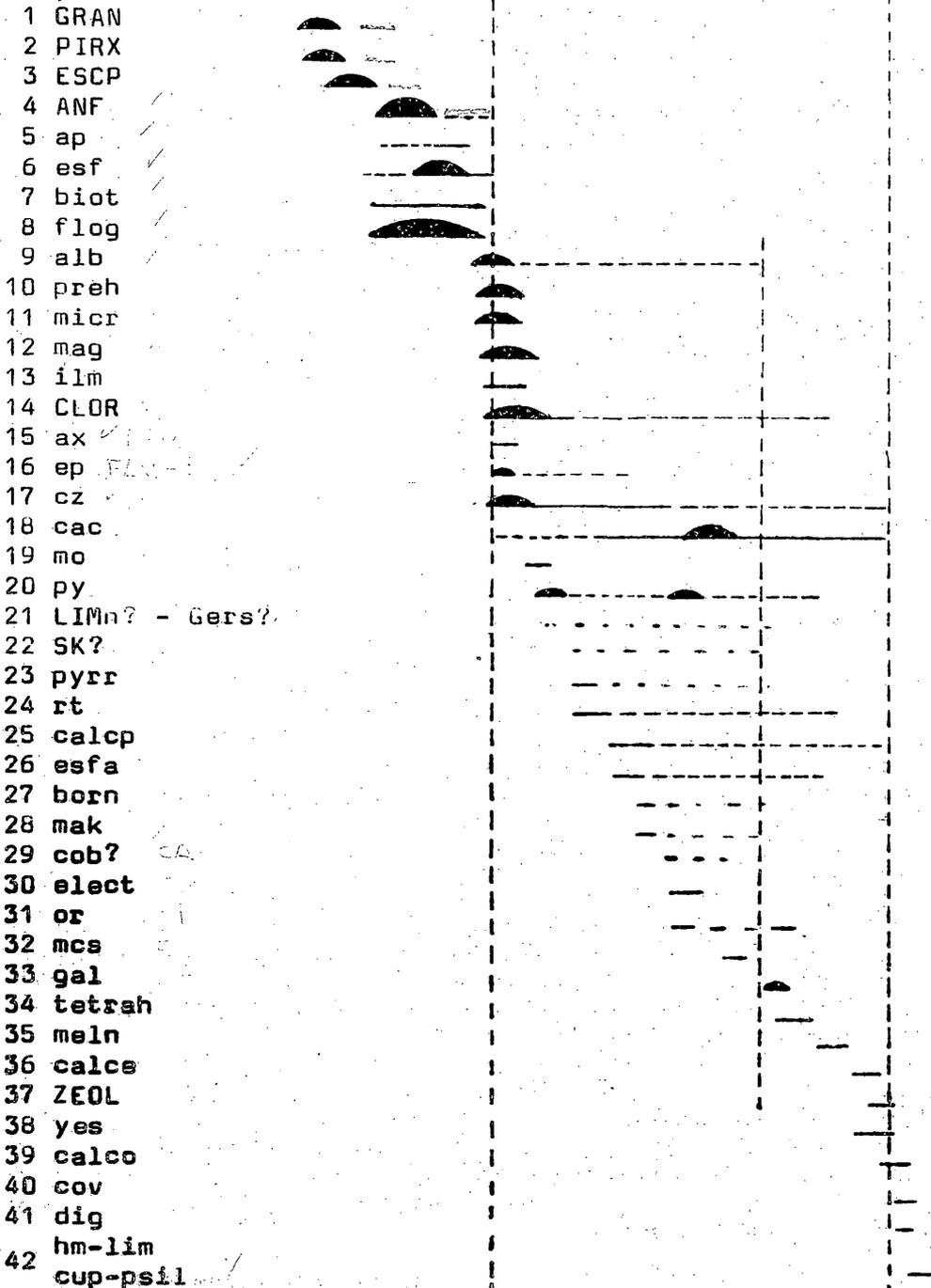
Los skarns ricos en granate son rocas bandeadas compuestas de grosularia con andradita, en menor cantidad, en solución sólida en agregados ideoblásticos con calcita intersticial. Estas rocas de reemplazamiento formadas a partir de rocas calcáreas ocurren raramente sólo en Condestable. En la misma mina también existe skarns en venas de granate junto con piroxeno y silicatos de más baja temperatura ulteriormente reemplazados y sulfuros.

Los efectos metamórficos se presentan a veces en los intrusivos dacita-andesitas. Los pórfidos andesíticos-dioríticos están siempre fuertemente alterados y están caracterizados por tener vesículas presentes en los niveles más altos o raíces de diques y sills. Estas vesículas están rellenas predominantemente de anfíboles, con accesorios de apatita, clorita, prehnita, microlina, calcita y sulfuros y están zonados, con cristales cuyo crecimiento ha sido perpendicular a las paredes de las rocas. De estas vesículas, en algunos casos se bifurcan pequeñas venas, y están asociadas con zonas de brecha dentro del intrusivo. Los únicos efectos de metasomatismo impresos en los pórfidos andesita-dacita-trondjemitas son al parecer las zonas de alteración de

FIG. No. 4

PARAGENESIS DEL DEPOSITO RAUL-CONDESTABLE

PNEUMATOLITIC PHASE HIDROTHERMAL PHASE SUPERGENIC PHASE



copio de los minerales de Co está siendo confirmada con la microsonda electrónica, en Inglaterra) la marcasita fue el último mineral formado durante esta etapa de la mineralización, y es de carácter mesotermal a hipotermal (Edwards, 1974).

La mineralización dominante de plomo está formada principalmente de galena con plata, junto con esfalerita, calcopirita, pirita, tetrahedrita, melnikovita, rutilo y otro como minerales accesorios. Esta asociación tiene temperatura de formación alrededor de 260°C. a 150°C. (Ripley y otros 1977). Los datos de estudios de inclusiones fluidas para la esfalerita dan 150° - 100°C y la calcita asociada entre 270°C - 30° y 150° - 20° C.

CONCLUSIONES:

La paragénesis del depósito Raúl-Condestable es característica de un depósito metasomático el cual presenta los siguientes rasgos distintivos:

- a) Rocas metasomáticas, y minerales metálicos, con una textura granoblástica frecuente finamente granuda propia de rocas que han experimentado reemplazamiento. Los relictos sedimentarios están allí presentes.
- b) Un control estratigráfico general sobre la distribución de la alteración-mineralización, aunque existen zonas individuales a la manera de parches irregulares en las capas que podrían ser el reflejo de la intensidad diferencial del metasomatismo.
- c) Donde los intrusivos están mineralizados, los minerales de alteración y metálicos ocurren rellenando vesículas, venas, brechas y en zonas de hilos (stringer zones).
- d) Los valores de isótopos de S, O y D de los minerales sugieren un origen en agua marina para los sulfuros. (Ripley, op. cit).

La formación del depósito tiene relación con la intrusión de los pórfidos diorítico-andesítico y andesítico-dacítico-trondhjemítico. Estos muestran efectos de alteración y mineralización en venas y zonas brechadas y el primero de ellos además relleno de vesículas. La mineralización al parecer comenzó con la formación de skarn ricos en granate, y hornfelses continuando con la formación de anfibolitas y terminando con los minerales hidrotermales. La intrusión de diques de tonalita-trondhemitita es un evento posterior.

La porosidad y permeabilidad de las rocas ha sido el principal control de la mineralización tanto a nivel distrital, lo que se refleja en la distribución irregular de la mineralización, como a nivel microscópico o muestra de mano en donde las "ritmitas" vendrían a ser el resultado de la permeabilidad y "química" de las rocas. Las diferencias en permeabilidad añadida a las diferentes composiciones han producido diferentes texturas y tipos de rocas metasomáticas.

En lo que se refiere a características de reemplazamiento las rocas calcáreas y shales presentan un fino reemplazamiento de todo el conjunto de la roca conservando relictos y estructuras sedimentarias. Las areniscas, volcanoclásticos, piroclásticos y brechas presentan principalmente un reemplazamiento de la matriz. Los intrusivos y lavas presentan un reemplazamiento desde las fracturas, zonas brechadas y vesículas.

En Raúl-Condestable no ha habido ni remobilización, ni efectos metamórficos sobre la mineralización metálica, tal como ha sido sugerido por Ripley et op cit y Waushkin, 1977 y 1979.

La asociación mineralógica y paragenética con depósitos tales como Monterrosas, río Seco y a prospectos tales como Pasamayo y Chivaticos es evidente. En todos estos casos la alteración mineralización va asociada a los intrusivos derivados del Grabo Patap.

Las características señaladas hacen que el depósito Raúl-Condestable de acuerdo a la clasificación de Smirnov V, 1977 sea agrupado dentro de los yacimientos denominados "Metasomáticos"; (Skarn Anfibolítico de Cu-Fe)

El contenido de Co ya ha sido reportado en ensayos químicos de relaves, escorias y "gangas piritosas" de Marcona y Monterrosas. Durante el transcurso de nuestras investigaciones de Raúl-Condestable se han determinado por primera vez minerales de Co lo que está siendo confirmado con microsonda electrónica en Inglaterra.

Con la presencia de Co en Marcona, Monterrosas, Cata Cañete (Injoque J. y Mendoza J. 1982) y Raúl-Condestable, se estaría delineando una zona metalogenética ya no de Cu y Fe solamente sino de Cu, Fe y Co. a lo que probablemente habría que añadir Ni relacionada a las dioritas y gabros Patap y rocas asociadas. La presencia de Fe, Co, la interpretamos como productos liberados por la fusión parcial de zonas del manto superior. El Cu, quizás, de la fusión parcial de niveles inferiores de la corteza.

ABREVITURAS

GRAN	Granate	calcp	calcopirita
PIRX	Piroxeno	esfa	esfalerita
ESC	Escapolita	born	bornita
ANF	Anfibol	mak	mackinawita
ap	apatita	cob?	cobaltita
esf.	esfena	elect	electrum
biot	biotita	or	oro
flog	flogopita	mcs	marcasita
alb	albita	gal	galena
preh	prehnita	tetrah	tetrahedrita
micr	microclina	meln	melnikovita
mag	magnetita	calc	calcedonia
ilm	ilmenita	ZEOL	zeolita
CLOR	clorita	yes	yeso
ax	axinita	calco	calcosita
ep	epidota	cov	covelita
cz	cuarzo	dig	digenita
cac	calcita	hm	hematita
mo	molibdenita	lim	limonitas
py	pirita	cup	cuprita
Linn?	Linneita	psil	psilomelana
Sk?	eskuferudita		
pyrr	pirrotita		
rt	rutilo		

BIBLIOGRAFIA

- BERNUY, O. 1982.— Geostatística del cuerpo intermedio. Informe privado. Cía Minera Hoschild.
- CARDOZO, M. 1980.— Consideraciones genéticas del Yacimiento Cuprífero Mina Raúl Lima. Revista "El Ingeniero Geólogo". Universidad Nacional Mayor de San Marcos No. 17. Lima-Perú. Pág. 59 a 74.
- CARDOZO, M. 1981.— Metallogenetische Aspekte der Schichtgebundenen Kupferlagerstätte Raúl, Zentral Peru, Diplomarb, Uni. Heidelberg.
- EDWARDS, AB. 1965.— Texture of the ore minerals. Australian Inst. of Mining and Metallurgy Australia.
- INJOQUE, J. et al 1976.— Informe de la estratigrafía de la Mina Condestable y prospección por Cobre y Metales entre los valles de Chilca y Asia. Informe privado. Cía. Minera Condestable.
- INJOQUE, J. et al 1982.— Petrología y Mineralogía del Yacimiento Raúl-Condestable y Reinterpretación de su génesis (Primera Aproximación). Informe INGEMMET.
- INJOQUE, J. et al 1982.— Geología del Distrito Minero de Cata-Cañete: Evolución Geológica y mineralización de cobre, con mención sobre la mineralización de oro, barita y yeso. Informe INGEMMET.
- RAMDOHR, P. 1969.— The ore minerals and their intergrowths: London, Pergamon Press.
- RIPLEY, E. OHMOTO, H. 1977.— Mineralogic Sulfur Isotope, and fluid inclusion studies of the stratibound Copper Deposits at the Raul Mine, Peru Econ. Geol. vol. 72, pag. 1017-1041.
- RISING, B.A. 1973.— Phase relations among pyrite, marcasite and pirrotite below 300°C Umpub PhD thesis, Pensilvania, State Univ.
- SALAZAR, H. 1975.— Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conaica, Chíncha, Tantara y Castrovirreyña. Informe Inédito de INGEMMET.
- SCOTT, SO. KISSINGER S.A. 1973.— Sphalerite Composition in the Zn-Fe-S system below 300°C. Econ Geol. V. 68 p. 476-479.
- SMIRNOV, VI, 1977.— Ore Deposits of the USSR.
- WAUSCHKUHN, A. 1979.— Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Stratabound Cu Deposits in the mesozoic Coastal Belt of Perú. Bol. Soc. Geologists del Perú. T. 62