

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLOGICA,**

**MINERA Y METALURGICA**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE GEOLOGIA**



**YACIMIENTO TINTAYA**

**Contribución del Estudio Microscópico de Menas  
y otros Minerales Opacos en la Fase de Exploración**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO GEOLOGO**

**LUIS MIGUEL CARDOZO GOYTIZOLO**

**LIMA   ★   PERU   ★   1979**

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJA

AL TRABAJADOR  
MINERO

## PRESENTACION

Durante el desarrollo del programa de exploración en el yacimiento TINTAYA, el entonces Laboratorio de Petromineralogía de MINERO PERU realizó una labor de apoyo a este proyecto, encargándose de los estudios petrográficos - de alteraciones y de la mineralización metálica contenida en muestras provenientes de la superficie o de la perforación diamantina del área de interés.

El autor participó activamente en esta novedosa y valiosa experiencia; tanto en la realización de los estudios microscópicos en luz reflejada como en la redacción del Informe Petromineralógico Final, especialmente encargado de la parte referida a la Mineralización Metálica y aspectos relacionados; y de ahí que haya elegido este tema para, debidamente modificado, ampliado y profundizado - sobre todo en sus aspectos aplicativos en metalogenia y metalurgia, presentarlo como trabajo de Tesis para Optar el Título de Ingeniero Geólogo, con lo cual espero haber contribuido al mejor conocimiento del yacimiento Tintaya y a la difusión y mejor comprensión de los estudios mineralógicos y su utilidad aplicativa.

\*\*\*\*\*

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo compromete mi gratitud hacia el personal de geólogos y petrólogos de Minero Perú y a todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su amable colaboración.

De manera especial, deseo expresar mi agradecimiento al Dr. César Cãnepa y al Ing. Flavio Vargas, asesores de esta Tesis, y al Ing. Esteban Cedillo, por las ilustrativas discusiones con ellos sostenidas, sus amables consejos y lectura del manuscrito.

Vaya también mi agradecido reconocimiento a los Ingenieros Gladys Yana, César Muñoz y Samuel Canchaya por su colaboración para la presentación de este volumen y al Sr. Enemesio Sánchez por su siempre amigable y eficiente ayuda en la preparación de las muestras estudiadas.

Asimismo agradezco a la empresa Minero Perú el haberme permitido la publicación de la información geológica y mineralógica del Proyecto Tintaya.

-----

## INDICE DE MATERIAS

### PARTE I : GENERALIDADES

PAG.

#### CAPITULO I : INTRODUCCION

1.1	ANTECEDENTES HISTORICOS Y TRABAJOS EXPLORATORIOS -----	1
1.2	LOS ESTUDIOS PETROMINERALOGICOS EN LA EXPLORACION -----	4
1.3	PRINCIPALES CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE TINTAYA -----	8

### PARTE II : MINERALIZACION METALICA

#### CAPITULO II : MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

2.1	GENERALIDADES -----	25
2.2	EN ROCAS IGNEAS -----	28
2.3	EN SKARN -----	32
2.4	EN ROCAS METAMORFICAS -----	38

### PARTE III : CONSIDERACIONES GENETICAS

#### CAPITULO III : ZONAMIENTO Y SECUENCIA PARAGENETICA

3.1	ZONAMIENTO -----	68
3.2	SECUENCIA PARAGENETICA DE LOS PRINCIPALES MINERALES METALICOS EN LAS ROCAS IGNEAS Y EN EL SKARN -----	70
3.3	INTERCRECIMIENTOS Y RELACIONES DE TIEMPO ENTRE LAS PRINCIPALES MENAS Y LOS MINERALES CONSTITUYENTES DEL EXOSKARN. -----	75

CAPITULO IV : INTERPRETACION Y CORRELACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA

4.1	CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE LA FORMACION DE SKARN Y SUS PROCESOS DE MINERALIZACION METALICA	79
4.2	CONTRIBUCION A LA INTERPRETACION GENETICA EN TINTAYA -----	92

PARTE IV : CONTRIBUCIONES DEL ESTUDIO MICROSCOPICO AL TRATAMIENTO METALURGICO

CAPITULO V : ESTUDIO MICROSCOPICO APLICADO AL TRATAMIENTO METALURGICO DE LAS MENAS

5.1	GENERALIDADES -----	98
-----	---------------------	----

5.2	CONTRIBUCIONES AL TRATAMIENTO METALURGICO DE SULFUROS EN TINTAYA -----	103
-----	--	-----

PARTE V : CONSIDERACIONES FINALES

	CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
--	--	-----

---

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N. 1	PLANO DE UBICACION -----	2
FIGURA N. 2	EXPLORACION Y DESARROLLO DE UN DEPOSITO MINERAL -----	6
FIGURA N. 3	FLUJOGRAMA DE LOS ESTUDIOS PETROMINERA- LOGICOS -----	10
FIGURA N. 4	COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE TINTAYA Y AL REDEDORES -----	14
FIGURA N. 5	CLASIFICACION GEOMETRICA DE MODELOS BA- SICOS DE INTERCRECIMIENTOS DE MINERALES	26
FIGURA N. 5A	NOMENCLATURA USADA EN LAS TABLAS DE MI- NERALIZACION METALICA Y SUS INTERCRECI- MIENTOS -----	26
FIGURA N. 6	ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL ZONAMIENTO DEL SKARN EN TINTAYA Y LA DISTRIBUCION DE LAS MENAS PRIMARIAS -----	69
FIGURA N. 7	SECUENCIA PARAGENETICA GENERALIZADA -RO- CAS IGNEAS -----	72
FIGURA N. 8	SECUENCIA PARAGENETICA GENERALIZADA -RO- CAS METASOMATICAS -----	74
FIGURA N. 9	DISTRIBUCION DE LAS ROCAS MAGMATICAS Y LOS GRUPOS GENETICOS DE YACIMIENTO A DI- FERENTES PROFUNDIDADES -----	82



PAG.

FIGURA N. 10	SECCION GEOLOGICA MOSTRANDO LA RELACION ESPACIAL ENTRE EL INTRUSIVO Y EL SKARN -----	94
FIGURA N. 11	EVOLUCION GENETICA DEL YACIMIENTO TINTAYA -----	95
FIGURA N. 12	CAMPOS DE APLICACION DE VARIOS PROCESOS DE CONCENTRACION DE MINERALES ---	102
FIGURA N. 13	HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA GRANULOMETRICA PARA SULFUROS DISEMINADOS EN EL PORFIDO MONZONITICO -----	109
FIGURA N. 14	HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA GRANULOMETRICA PARA SULFUROS DISEMINADOS EN ROCAS METASOMATICAS -----	110

### INDICE DE PLANOS

N. 1	PLANO GEOLOGICO DE TINTAYA Y ALREDEDORES -----	17
------	--	----

### INDICE DE TABLAS

TABLA N. 1	RESUMEN NUMERICO DE MUESTRAS ESTUDIADAS	
TABLA N. 2	ROCAS IGNEAS : MINERALOGIA Y TEXTURAS--	23
TABLA N. 3	ROCAS METASOMATICAS : MINERALOGIA Y TEXTURAS -----	24

		PAG
TABLA N. 4	ROCAS METAMORFICAS ; MINERALOGIA Y TEXTURAS -----	23
TABLA N. 5	ROCAS SEDIMENTARIAS ; MINERALOGIA Y TEXTURAS -----	24
TABLA N. 6	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; GRUPO DE LA MONZONITA -----	41
TABLA N. 7	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; GRUPO DE LA DIORITA -----	42
TABLA N. 8	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; GRUPO DEL GABRO-DIABASA -----	43
TABLA N. 9	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE PGLs Y OTROS -----	44
TABLA N. 10	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE GRNs -----	45
TABLA N. 11	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE GRNs Y OTROS -----	46
TABLA N. 12	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE PXs Y OTROS -----	47
TABLA N. 13	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE TRE-ACT Y OTROS, WOL Y OTROS -----	48
TABLA N. 14	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE MT Y OTROS -----	49
TABLA N. 15	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; SKARN DE CAC Y OTROS, EP Y OTROS -----	50
TABLA N. 16	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; CALIZAS METAMORFICAS Y MARMOLES -----	51

	PAG.
TABLA N. 17	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS METAIGNEAS 52
TABLA N. 18	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS HORNFELS 52
TABLA N. 19	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ANFIBOLITAS ----- 54
TABLA N. 20	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS JASPEROIDES ----- 54
TABLA N. 21	TABLAS DE INTERCRECIMIENTOS ; CATACLASITAS Y BRECHAS ----- 56
TABLA N. 22	APLICACIONES DEL ESTUDIO MINERALOGICO AL TRATAMIENTO METALURGICO DE LAS MENAS DURANTE LAS DIFERENTES ETAPAS DE DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO ----- 100
TABLA N. 23	MENAS PRINCIPALES Y SUBORDINADAS EN TINTAYA ----- 102
TABLA N. 24	GANGAS MAS IMPORTANTES IDENTIFICADAS EN TINTAYA ----- 105

## ANEXOS

ABREVIATURA PARA LOS GRUPOS Y MINERALES PRESENTES  
EN TINTAYA.

P A R T E I

G E N E R A L I D A D E S

# C A P I T U L O I

## INTRODUCCION

Como puede apreciarse en la figura 1, el yacimiento Tintaya se ubica entre las coordenadas geográficas

14° 55' ~ 14° 54' de Latitud Sur y

71° 20' ~ 71° 19' de Longitud Oeste;

entre las cotas 4,000 y 4,100 m.s.n.m., y corresponde políticamente al distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento de Cuzco, en la región Sur-Oriental del Perú .

Su acceso por vía terrestre es por la ruta Cuzco Urcos - Yanaoca - Yauri - Tintaya, con un recorrido de aproximadamente 252 Km. (5 hrs. de marcha normal); también se encuentra conectado con el puerto de Matarani, mediante 444 Km. de carreteras o por 600 Km. del Ferrocarril del Sur que pasa por Sicuani y está unido por carretera a Tintaya.

### 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y TRABAJOS EXPLORATORIOS

De acuerdo con diversas publicaciones del Cuerpo de Ingenieros de Minas, el yacimiento de Tintaya es conocido desde comienzos del presente siglo.

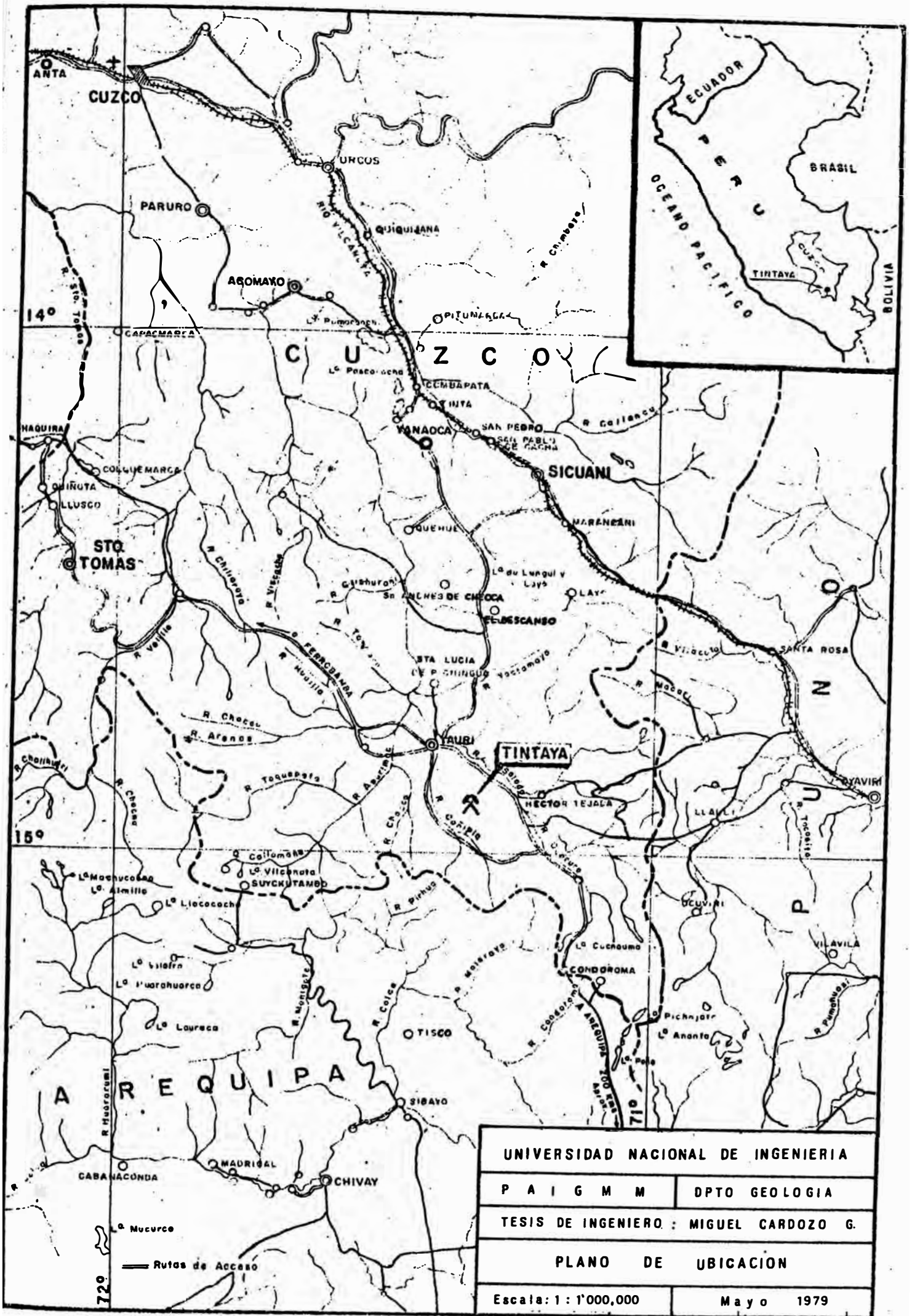


Figura 1

Las primeras perforaciones y apertura de túneles de pequeña longitud fueron realizadas por la Compañía Andes Exploration en los años 1917 y 1918; abandonándose la zona por las débiles señales de mineralización detectadas

Entre los años 1940 y 1950, varias compañías entre las que figuran la American Smelting, Anaconda, Hochschild y la Cerro de Pasco se interesaron en el yacimiento, enviando a sus técnicos a efectuar diversos reconocimientos.

Fue en el año 1952, que la Cerro de Pasco Corporation tomó la propiedad bajo un contrato de opción y adquirió definitivamente el yacimiento en 1952. Desde entonces hasta el año 1970, esta compañía realizó diversas campañas de exploración y detectó la presencia de aproximadamente 8 millones de TM de mineral con 3% de cobre, cubriendo sólo una pequeña área del yacimiento con sondajes muy superficiales.

En Octubre de 1970 el yacimiento revirtió al Estado, correspondiendo a Minería-Perú el hacerse cargo de la exploración de la zona, Esta labor se inició en 1971, completándose un amplio programa de exploración con perforaciones diamantinas relativamente profundas que permitió comprobar las siguientes reservas :

ZONAS	OXIDOS		SULFUROS		Ley de Corte (% Cu)
	Mill. Tn	Ley Media (% Cu)	Mill. Tn	Ley Media (% Cu)	
CHABUCA A	5	2.00	1	1.98	0.7
CHABUCA ESTE	1	2.10	9	1.96	0.8
INFLEXION Y ZONA NUEVA.	5	2.10	40	2.10	0.8

Simultaneamente, se han realizado estudios geológicos de alcance regional por parte del Instituto Nacional de Geología y Minería y algunas compañías mineras japonesas.

Se conocen algunos reportes geológicos privados o publicaciones anteriores a este trabajo, referentes, principalmente, a las zonas adyacentes al yacimiento, entre los que cabe mencionar a Jenks (1951), Terrones (1958), De las Casas (1964), Overseas Technical Cooperation Agency (1972) y Andebau Pecho - Vargas (1973).

Para el presente trabajo se contó además con la más actualizada información procedente de los estudios realizados por Minerio-Perú, que incluyen los mapeos geológicos superficiales y las perforaciones diamantinas.

## 1.2 LOS ESTUDIOS PETROMINERALOGICOS EN LA EXPLORACION

En el mundo actual, en especial en nuestros países



subdesarrollados, es imperativo optimizar la explotación y utilización de los recursos naturales. El cumplimiento de este compromiso, en el caso de los recursos minerales no renovables, se apoya necesariamente en el nivel de conocimiento que se tenga de las características de los depósitos minerales. El lograr que este conocimiento sea lo más completo y detallado posible nos obliga al empleo de todas aquellas técnicas de investigación geológica adecuadas a tales propósitos concretos. Es en este contexto, que los análisis mineralógicos juegan un rol importante y, correctamente orientados, prestan un invaluable apoyo en las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto minero, (ver figura 2).

Entre las técnicas de análisis mineralógico más importantes desarrolladas hasta el momento podemos citar:

Estudios Petromineralógicos

Difracción de Rayos X

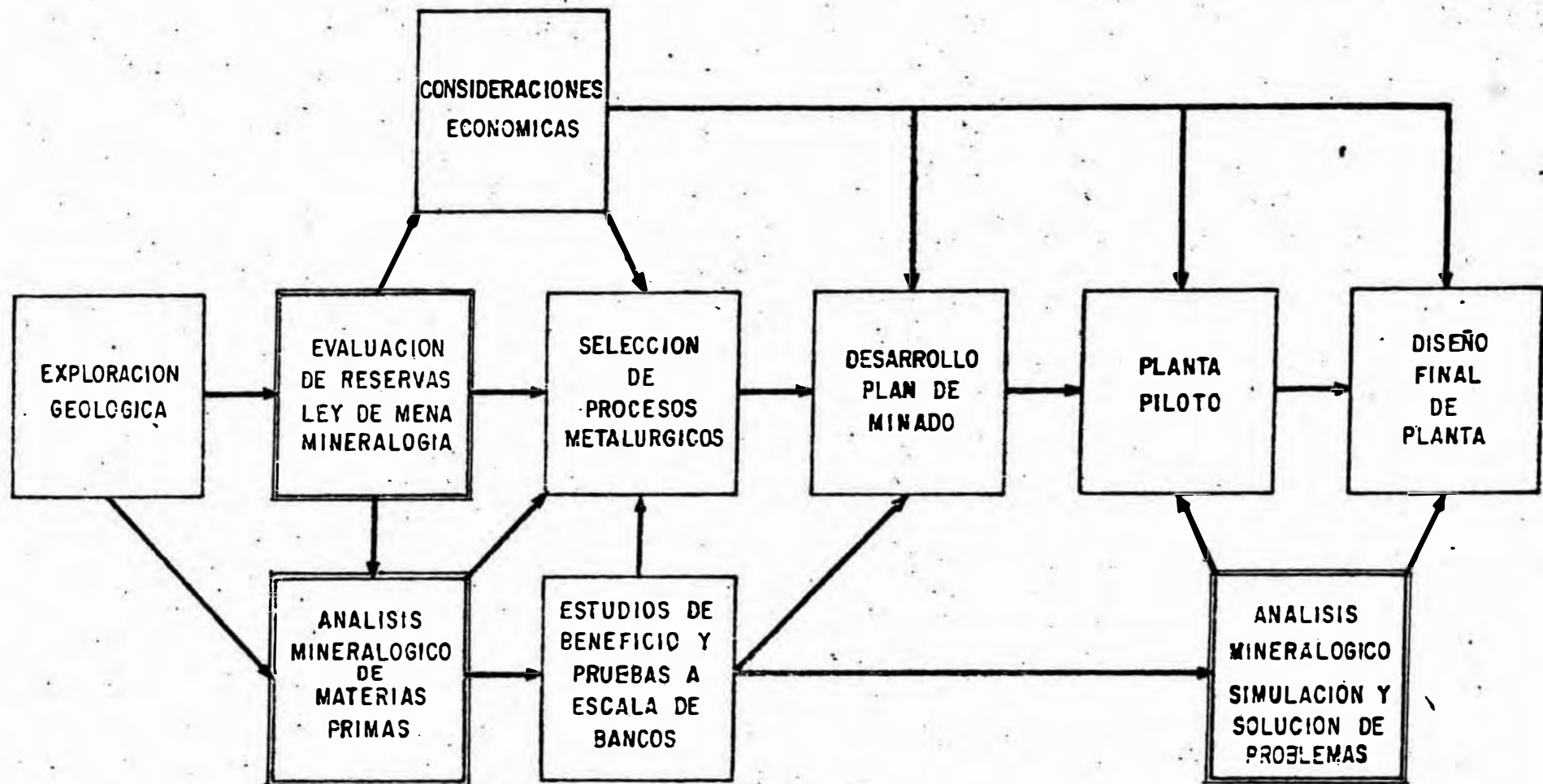
Espectroscopía y Fluorescencia de Rayos X

Análisis termodiferencial y termogravimétrico

Microsonda electrónica

Microscopía electrónica, etc.

Dentro de los estudios petromineralógicos debemos destacar tanto los estudios microscópicos, que proporcionan la mayor parte de los datos mineralógicos básicos requeridos, como aquellos métodos de análisis que permiten,



**FIG. N° 2 EXPLORACION Y DESARROLLO DE UN YACIMIENTO MINERAL**

Tomado de Mining Journal Congress (1976)

J. C. Agarwal y Otros (1976)

mediante comparaciones con diversos estándares de referencia, obtener información mineralógica cualitativa o cuantitativa, tales como : tinciones, medición del índice de refracción, técnicas de separación de minerales, etc.

Estos estudios deben ser realizados desde el inicio y durante toda la etapa de exploración de cualquier yacimiento, beneficiando a los técnicos con la información necesaria para una correcta interpretación genética y una mejor programación de los trabajos de evaluación del yacimiento, y permitiendo que ésta descansa sobre datos reales acerca de la calidad del mineral y las ventajas y dificultades de su posterior procesamiento.

La información que es posible obtener mediante los estudios microscópicos y las otras técnicas petromineralógicas, está principalmente referida a :

Composición y distribución mineralógica de las menas y gangas tanto metálicas como no metálicas, incluyendo referencias cualitativas y/o cuantitativas de sus propiedades físicas tales como : granulometría, clivaje, fracturamiento, magnetismo, gravedad específica, solubilidad, radioactividad, etc.; aquí debemos también mencionar las determinaciones de tipo petrográfico.

Relaciones Geométricas de los minerales, es decir, las características referidas a la distribución espacial de los diferentes minerales y a los intercrecimientos

de las diversas menas entre sí y entre éstas y las gangas.

Datos especiales, como los que se incluye en los estudios petromineralógicos que buscan obtener información orientada a la solución de determinados problemas geológicos o tecnológicos.

Las otras técnicas de análisis mencionadas (difracción de Rayos X, espectroscopía, etc.) tienen también indudable importancia en el conocimiento integral de los minerales y en la solución de problemas mineralógicos específicos. Es importante destacar que todas estas técnicas de análisis mineralógico son complementarias teniendo cada una de ellas sus campos principales de aplicación y sus correspondientes limitaciones.

En el entonces Laboratorio de Petromineralogía de Minerero-Perú, las muestras recolectadas (Tabla 1) fueron procesadas según el flujograma establecido en esta dependencia para obtener la mayor información posible de ellas y aprovechar íntegramente la infraestructura instalada (ver figura 3).

### 1.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS DE TINTAYA

En este acápite se resume las principales características geológicas de Tintaya y sus alrededores. (Plano N°1)

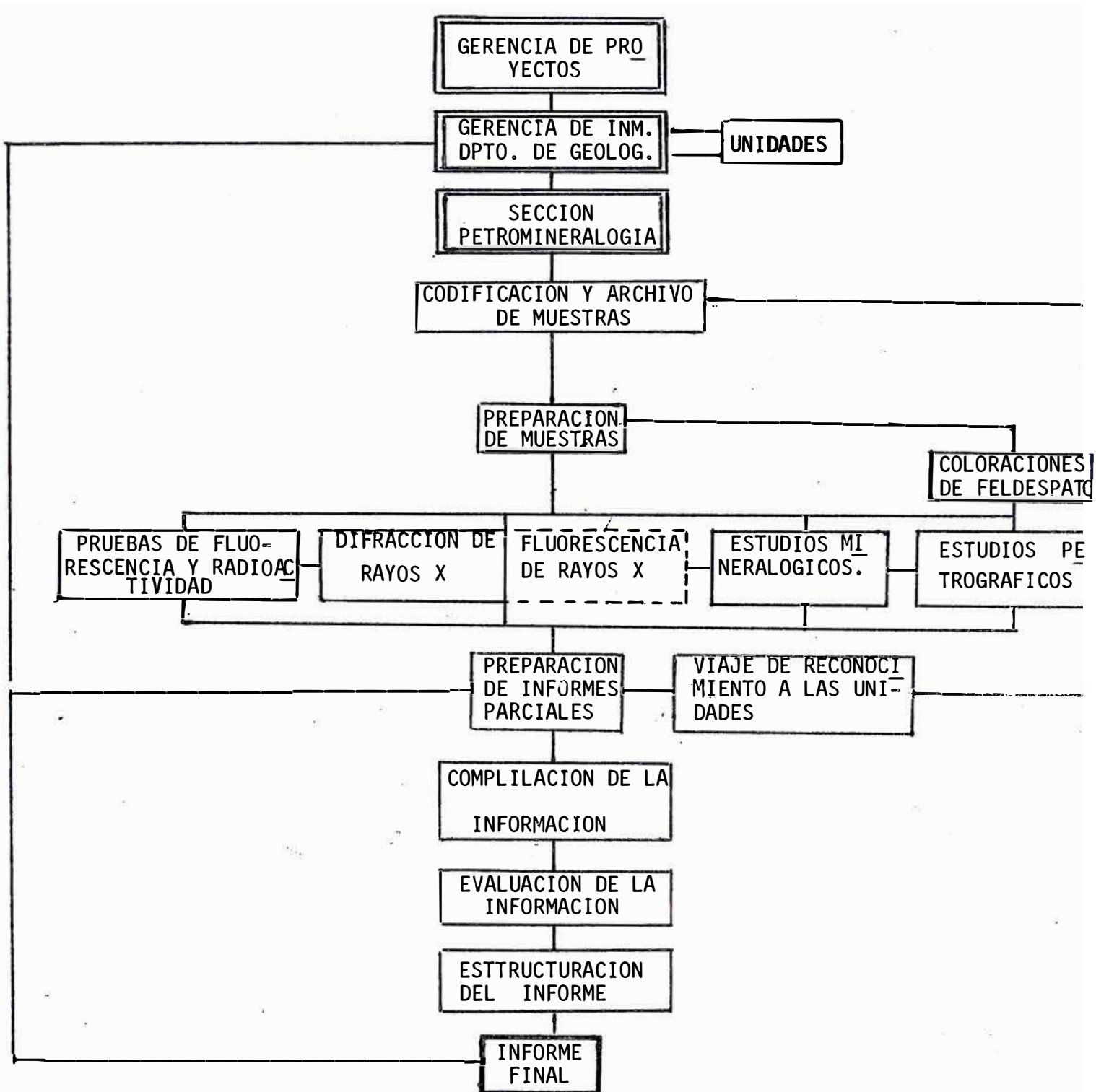
TABLA 1

CUADRO RESUMEN DE LOS ESTUDIOS POR TALADROS Y SUPERFICIALES

	T A L A D R O S				SUPERFICIE
	CHABUCA "A"	CHABUCA ESTE	INFLEXION	OTROS	Todo el Yacimiento y Regional.
No. Taladros	86 48.05%	57 31.84%	29 16.2%	7 3.91%	
No. Muestras	129 17.52%	284 38.59%	276 37.5%	47 6.39%	80
TOTAL	179 Taladros, 736 muestras ( 90.20% )				80 muestras (9.80%)

FIGURA N. 3

FLUJOGRAMA DE LOS ESTUDIOS DEL LABORATORIO DE LA SECCION PETRO  
MINERALOGIA DE MINERO PERU PARA YACIMIENTOS EN FASE DE  
EXPLORACION\*



\* Referencia : Informe Final Petromineralógico de Tintaya

Laboratorio de Petromineralogía - MINERO PERU.

### 1.3.1 GEOMORFOLOGIA

En la zona del yacimiento de TINTAYA predomina una planicie de relieve moderado, en la que sólo se observa llanuras, colinas y cerros de poca altura. En un radio de 50 Km. alrededor del yacimiento las cotas varían entre 3,500 y 4,500 m.s.n.m.

La topografía madura, de esta zona, conocida como superficie "Puna" fue recubierta por material sedimentario y volcánico del Terciario Superior; para sufrir finalmente una nueva modificación del relieve por efecto de las glaciaciones cuaternarias, que dejaron circos, valles en forma de U y morrenas de todo tipo.

El drenaje en el área de estudio sigue principalmente una dirección NE-SO y SE-NO, y subordinadamente E-O; esencialmente está controlado por las fallas y variaciones litológicas.

### 1.3.2 ESTRATIGRAFIA

#### Rocas Sedimentarias y Volcánicas

La secuencia estratigráfica expuesta en Tintaya y sus alrededores, graficada en la figura 4, está conformada por las siguientes unidades :

a.- Jurásico Superior. - Cretáceo Inferior

A esta edad corresponde el Grupo Yura (probablemen-

te Fm. Hualhuani) consistente en bancos potentes de cuarcitas y areniscas de grano medio a fino, de colores blanco, blanco amarillento y gris, intercalados con lutitas oscuras a la base.

b . Cretáceo Inferior

Al Este de Tintaya, en los alrededores del Cerro Ccaccue se encontró una secuencia arenosa y lutácea ferruginosa que descansa sobre el Grupo Yura y que ha sido tentativamente correlacionada con la Formación Murco \* . Sin embargo, a pesar de la similitud litológica, no puede descartarse la posibilidad que los afloramientos del Cerro Ccaccue sean simplemente la parte superior de la Formación Hualhuani.

c.- Cretáceo Inferior - Medio

Los bancos gruesos de calizas y dolomitas de color gris a gris claro que sobreyacen a las anteriores rocas, han sido correlacionados con la Formación Ferrobamba. Sus afloramientos constituyen, en gran parte

La Formación Murco se encuentra expuesta casi totalmente en el área de Huacollo, 8 Km. al SE de Tintaya, y consiste en lutitas abigarradas y areniscas ferruginosas con estratificación cruzada, con una potencia total de 350 m.



remanentes de estratos distorsionados, metamorfizados o metasomatizados que "flotan" sobre las rocas intrusivas posteriores.

d.- Terciario Superior

Representado por la Formación Yauri, yace discordantemente sobre las formaciones mesozoicas y consiste de calcarenitas, tufos y areniscas conteniendo fósiles de peces (MMEA-OTCA, 1973).

e.- Cuaternario

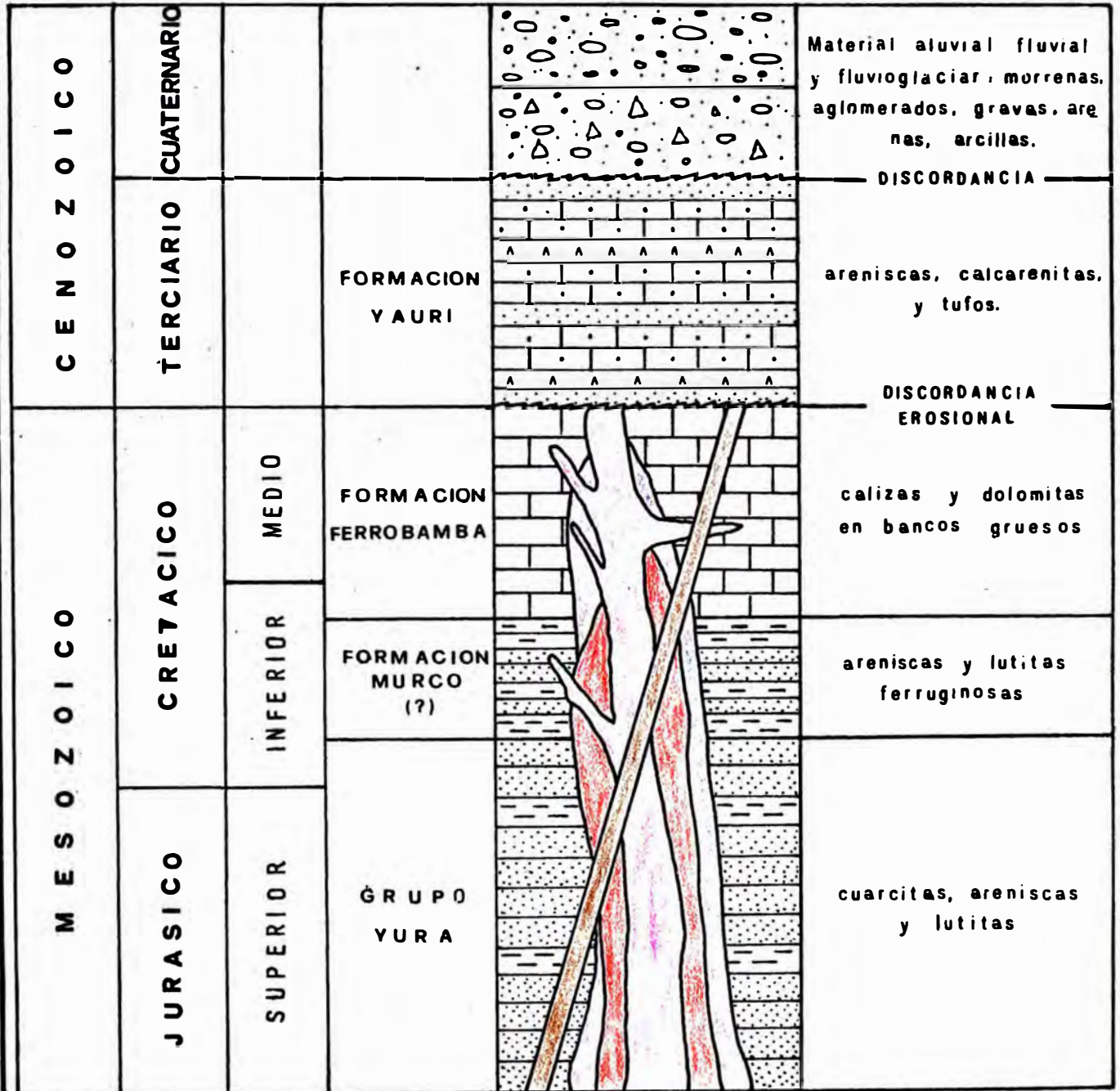
Constituido por morrenas y acumulaciones fluvioglaciares, depositados durante el Pleistoceno. Sobre éstos, se encuentra depósitos aluviales y fluviales recientes.

Rocas Intrusivas

Las manifestaciones más antiguas corresponden, probablemente, a una serie de intrusiones básicas representadas por gabros y dioritas gabroides. Luego siguen intrusiones dioríticas, y para culminar el ciclo, la intrusión de rocas hipabisales de composición monzonítica y diques andesíticos.

Las rocas mesozoicas fueron afectadas por cambios metamórficos y metasomáticos producidos por las diferentes intrusiones.

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DE TINTAYA Y ALREDEDORES



### INTRUSIVOS

Gabro (?)  
 Diorita

Monzonita   
 Andesita (diques)

Figura 4

A su vez las rocas intrusivas están afectadas textural y composicionalmente, en el contacto con las rocas sedimentarias.

### 1.3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La actividad tectónica fue muy intensa y afectó principalmente a las rocas mesozoicas, y en menor grado a las rocas cenozoicas.

El plegamiento regional presenta ejes que siguen un rumbo general N/NO-S/SE, alcanzando en algunos casos varios kilómetros de longitud. Algunos ejes de plegamiento sufren cambios de rumbo por acción del fallamiento y se observa, además, la presencia de pliegues secundarios y locales con rumbos diferentes al establecido regionalmente. Los pliegues son por lo general asimétricos y en pocos casos son volcados y recumbentes.

El fallamiento es igualmente intenso y, regionalmente, sigue un rumbo N/NO - S/SE al igual que los ejes de los pliegues principales. Existe además una serie de pequeñas fallas con rumbos NE-SO. Se observa también zonas de brechas, milonitas y panizo, cuya extensión depende de la magnitud de las fallas que ocasionaron el fenómeno.

Las rocas sedimentarias del mesozoico y las rocas intrusivas iniciales de la serie fueron atravesadas por diques y sills, de composición monzonítica inicialmente, y

luego por estructuras similares de composición andesítica. En general, estas estructuras siguen la orientación regional NO-SE.

El levantamiento andino por los procesos epírogenéticos iniciados en el Plioceno, se evidencian en la fuerte elevación y en el fallamiento en bloques visibles en la zona.

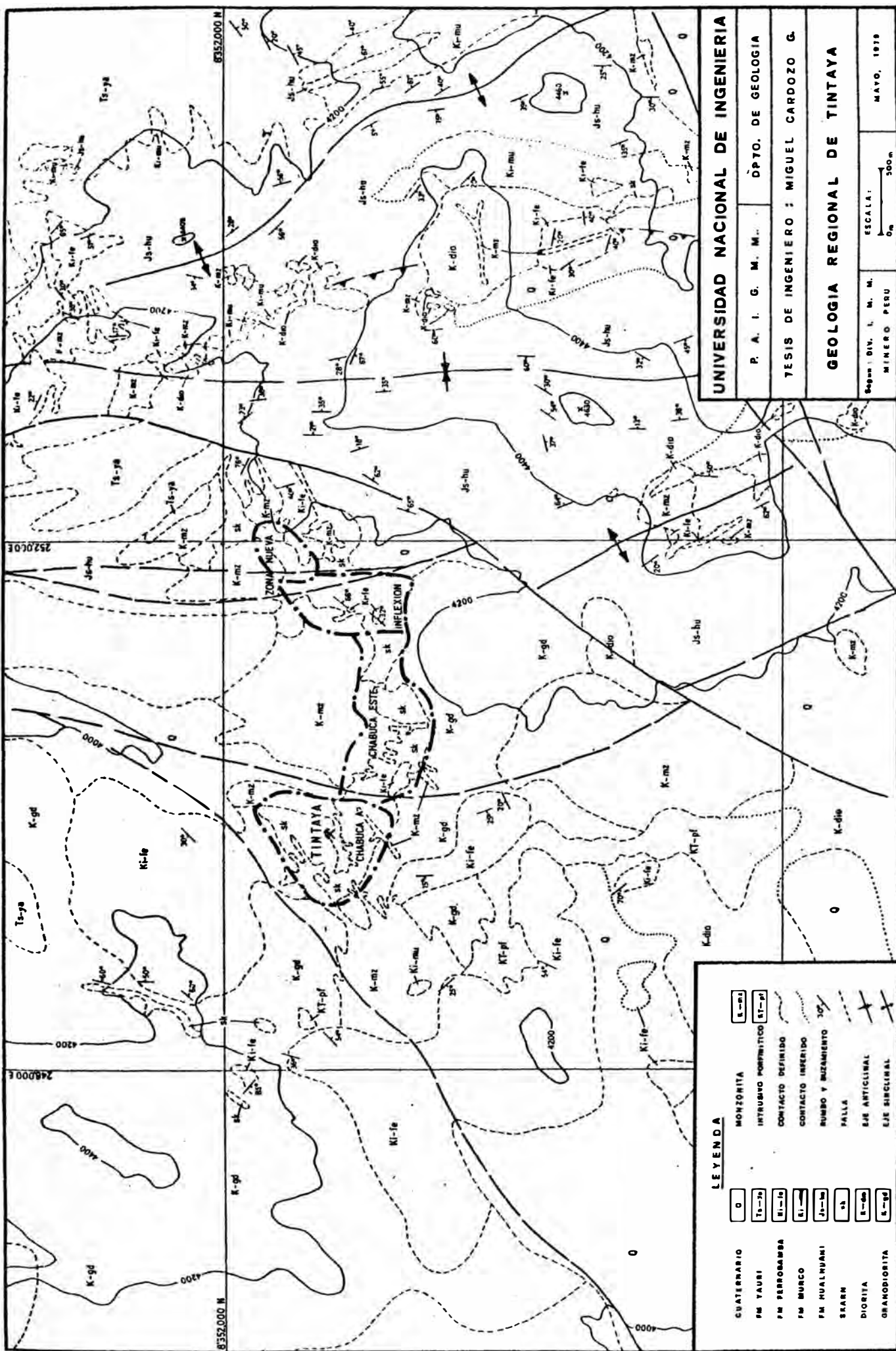
### 1.3.4 GEOLOGIA HISTORICA

La historia geológica conocida de la zona se remite a comienzos del Jurásico Superior en que se inició la deposición de los sedimentos en un ambiente marino poco profundo a continental, en una cuenca sometida a fluctuaciones epírogenéticas, sin estar aún claro cuáles fueron las Formaciones correspondientes al grupo Yura que llegaron a depositarse en esta zona.

Seguidamente se produjo el hundimiento generalizado de la cuenca con la consiguiente deposición, durante el Cretáceo Medio, de las calizas de la Formación Ferrobamba.

Luego de la culminación de este ciclo sedimentario ocurrió una intensificación del tectonismo que produjo el plegamiento y fallamiento de las rocas depositadas, seguido de intrusiones de composición variable causantes del metamorfismo y metasomatismo de las rocas sedimentarias.

Durante el Terciario, se deposita una serie de rocas



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

P. A. I. G. M. M. ... DPTO. DE GEOLOGIA

TESIS DE INGENIERO : MIGUEL CARDOZO G.

**GEOLOGIA REGIONAL DE TINTAYA**

Segunda Div. I. M. M. ESCALA: 1:50,000  
 MINERO PERU 0m 300m MAYO, 1978

**LEYENDA**

QUATERNARIO	[Symbol]	MONZONITA	[Symbol]
PM YAURI	[Symbol]	INTRUSIVO PORFIRITICO	[Symbol]
PM PERROMAMBA	[Symbol]	CONTACTO DEFINIDO	[Symbol]
PM BURCO	[Symbol]	CONTACTO INDEFINIDO	[Symbol]
PM HUALBUANI	[Symbol]	RUMBO Y MUZAMIENTO	[Symbol]
SKARN	[Symbol]	FALLA	[Symbol]
DIORITA	[Symbol]	EJE ANTICLINAL	[Symbol]
GRANODIORITA	[Symbol]	EJE SINCLINAL	[Symbol]

volcánicas, principalmente piroclásticas, intercaladas con sedimentos arenosos, todos de carácter continental, que son finalmente cubiertos discordantemente por los sedimentos continentales cuaternarios. Hay que remarcar que, con secuencia con la orogenia andina, el tectonismo ha tenido una continua actividad durante estos períodos.

### 1.3.5 PETROGRAFIA DEL YACIMIENTO

Como se indicó en el acápite de Metodología, paralelamente al estudio microscópico de los minerales metálicos, se realizó un detallado estudio petrográfico cuyos resultados son de gran importancia en el conocimiento geológico del yacimiento.

Petrograficamente, las muestras estudiadas corresponden a 4 grupos : Rocas Igneas, Rocas Metasomáticas, Rocas Metamórficas, Rocas Sedimentarias. De éstos, los dos primeros grupos son los que están más directamente relacionados al yacimiento y su formación; de allí su mayor importancia y la atención que se les ha prestado.

#### ROCAS IGNEAS.-

Estas rocas fueron divididas en 3 grupos, de acuerdo al tiempo de emplazamiento, que son, a partir del más antiguo :

a.- Grupo Gabro-Diabasa (?)

Corresponden probablemente a la primera actividad intrusiva en el área. En el yacimiento el gabro ha sido encontrado como xenolitos, redondeados, de hasta 20 cms. de diámetro y regionalmente se ha reportado su presencia en cuerpos mayores. La diabasa constituye diques.

Este grupo es considerado como una intrusión básica "Pretectónica". Su edad absoluta ha sido establecida en  $\pm$  140 millones de años (Jurásico Superior) por datación con el método de K-Ar (MMEA-OTCA - Japón).

b.- Grupo de la Diorita

Corresponde a una segunda etapa intrusiva y se presenta en forma de stocks, cúpulas irregulares, diques y sills. Su composición es diorítica variando a tonalítica-granodiorítica por asimilación al contacto con cuarcitas, y gabroide, al asimilar rocas de la primera etapa intrusiva. Se considera emplazada a fines del cretáceo o principios del Terciario pues intruye a las cuarcitas y calizas mesozoicas. La datación radiométrica arroja una edad que varía entre 74 y 105 millones de años (MMEA-OTCA-Japón).

c.- Grupo de la Monzonita.

Entendida como una tercera y última fase intrusiva importante, que afecta a todas las rocas sedimenta -

rias mesozoicas e intrusivos anteriores. Su composición monzonítica, varía a adamelítica-delelenítica-dacítica por asimilación al contacto con las cuarcitas, a diorítica al contacto con calizas, y a monzodiorítica al contacto con la diorita. Su datación radiométrica (38 a 40 millones de años, MMEA-OTCA-Japón) lo ubica en el Oligoceno-Eoceno.

Las características mineralógicas y texturales de estos 3 grupos de roca se hallan resumidas en la Tabla 2.

#### ROCAS METASOMÁTICAS.-

En este tipo de rocas se incluye además del skarn (\*), a las rocas ígneas con muy avanzada o total alteración hidrotermal, a las cuales denominamos "otras metasomatitas"

- \* El término skarn tiene ya un uso generalizado en las publicaciones técnicas especializadas en yacimientos. En este trabajo se le utiliza en el sentido dado por V.I. Smirnov, y D.S. Korzhinskií : "Rocas Metasomáticas Calcosilicatadas formadas al Contacto de rocas intrusivas con rocas carbonatadas". Este término es equivalente a "rocas de metamorfismo de contacto" (Hess y Larsen), "Rocas de Contacto Neumatolítico" (Schneiderhoehn) y "Rocas Pirometasomáticas" (Lindgren, Knopf).



Skarn.- Han sido diferenciadas dos zonas de skarn - respecto a su posición y características mineralógicas.

- a) Endoskarn : Que se produce al borde del intrusivo en contacto con las rocas sedimentarias y presenta minerales ígneos remanentes.
- b) Exoskarn : Que es el resultado del metasomatismo de las rocas carbonatadas.

Independientemente, de esta clasificación, los skarn han sido divididos según su contenido mineralógico - predominante, tal como se muestra en la tabla 3.

En la fig. 6, se muestra simplificada y esquemáticamente los diferentes tipos de skarn determinados y su relación con el intrusivo responsable del metasomatismo.

#### Otras Metasomatitas

Comprende a las rocas alteradas por soluciones hidrotermales. Los principales minerales resultantes son cuarzo, sericita y ortosa, constituyendo este último mineral el representante de la muy difundida alteración potásica. En la Tabla 3 se resume las características mineralógicas y texturales de este grupo de rocas.

### ROCAS METAMORFICAS.-

Comprenden rocas de metamorfismo de contacto y rocas de metamorfismo dinámico. Sus características mineralógicas y texturales se presentan en la Tabla 4.

### ROCAS SEDIMENTARIAS.-

Se les ha dividido en dos grupos, de acuerdo a su origen : clásticas y químicas. Las rocas clásticas han sido clasificadas en base al tamaño de grano.

Las rocas de origen químico son todas calizas, con pequeñas variaciones composicionales y texturales que son señaladas con la adjetivación correspondiente.

La tabla 5 resume sus características mineralógicas y texturales.

TABLA N° 2 ROCAS IGLEAS  
RESUMEN DE LA MINERALOGIA Y TEXTURAS

ROCAS GRANUDAS	MINERALOGIA			TEXTURAS PETROGRAF.	
	ESENCIALES	ACCESORIOS (típicos)	MINERALES ACCESORIOS DE ALTERACION INCLUIDO SULFUROS	PRINCIPALES	POCO FRECUENTES
Monzonita	PGLs, ort	cz, bt, hor, ap, zix, efn	ort, cz, cnc, ARCs, CLOs, ep, cc, bn, rt, cp, ml, py, mb, gn hm, LCX, h, ATs	F, H, A	po
Monzodiorita	PGLs, ort, aug	ort, cz, bt, ap, zix, aug	ARCs, hm, ep, mt, il, po	F, H, A	
Diorita	PGLs, hor, OPs, aug	hor, bt, cz, efn, ap, zix, ort	ep, CLOs, cnc, efn, mus, ser, ARCs, rt, pocp, mt, py, il, mc hm, LTHs, cnc	F, H, A	pg, so
Andesita	PGLs, ort, cz	bt, hor, ap	ort, cnc, efn, CLOs, ep, rt, cz, ccd, re, cp, mt, py, il, mb, gn, Au LTHs, hm, ORsCu	F, A	
Granodiorita	PGLs, cz, ort	bt, hor	CLOs, cz, ort, ep, cp	F	
Tonalita	PGLs, cz, hor, bt	bt, ort, hor, zix, ap	cz, ort, ep, CLOs, cnc, efn, clz, CCs, hm, ep, mt, py, il, po, rt, bn ser, LTHs, dg	F, H, A, pg	
Galena	PGLs, hor	bt, ap, efn	CLOs, rt, efn, ep, ser, cnc, hm, LTHs, po, mt, py, il, mc	F, A, pg, s	r
Repentita	cz, PGLs	ort, efn	ep, LTHs, hm, rt, mt, il	F, A, L	
Pantasa	hor (tonalita)	PGLs, cz, bt, efn	CLOs, ser, rt	F, H, pg, so, o	bo
<b>ROCAS PORFÍRICAS</b>					
Monzonita	PGLs, ort, hor	efn, cz, bt, hor, aug, ap, zix	ep, cnc, CLOs, ARCs, ser, trc, cz, ort, rtcp, mt, py, il, mb, mc, SFSa, h, Au, cu, bn, hm, LTHs, LCX, dg, ATs, bt, clz, Au, po, CGRs, CBs	P	gr
Monzodiorita	PGLs, ort	hor, ort, bt, cz, ap, zix	ser, mus, CLOs, ort, cnc, ARCs, hm, py, il, ATs, re, cz	P	
Diorita	PGLs, bt, hor	hor, bt, ort, cz, efn, ap, zix	CLOs, cnc, ep, mus, ser, ARCs, CLOs, rt, Au, cp, mt, py, il, mb zix, cc, bn, hm, LTHs, LCX, ATs	P	
Andesita	PGLs, ort, cz	hor, ap, zix, bt, efn	ort, ep, CLOs, cnc, ARCs, ser, rt, zix, bt, ep, mt, py, mb, Au, po, CGRs cz, LTHs, cc, hm, cu, LCX, cnc, dg, ATs, rt, cc, cu act-trc	P	
Granodiorita/tonalita	PGLs, cz	ort, hor, ap, bt, zix	ort, cz, cnc, act-trc, efn, CLOs	P	
Labita	PGLs, ort, hor	bt, cz, hor, efn, ap, zix, rt	ser, cnc, ARCs, clz, ep, CLOs, cz, ort, rtcp, mt, py, il, dg, ATs trc-act, LTHs, efn, rt, cc, hm, hm, LCX	P	
Tranquilita	ort, PGLs	bt, cz, hor, FPKs, ANFs	ep, cnc, ser, cz, CLOs, efn, LCX, cp, py	P	
Andesita	PGLs	bt, cz, efn, ap, zix, ANFs	ser, cnc, ARCs, cz, trc-act, ep, clz, ortcp, mt, py, il, gn, S102, sid, CLOs, hm, mus, efn, rt, LTHs, LCX, ATs	P	
Dolerita	PGLs, ort, cz	bt, hor, ap, zix	ser, cnc, cz, CLOs, ep, clz, ort, ARCs, rtcp, mt, py, il, mb, gn trc, bt, hm, LTHs, cu, hm, LCX	P	
Dacita	PGLs, cz	bt, ort, hor, efn, ap, zix	cnc, cz, ep, ser, CLOs, ort, cu, bn, hm, rtcp, mt, py, il, mb, gn LTHs, LCX, dg, ATs	P	

NOTA: Minerales esenciales: Mayor del 10% del total de la roca.  
Minerales accesorios: Menor del 10% del total de la roca.

F: Foliar  
H: Heterogénica  
A: Anfibolítica  
P: Porfírica  
G: Granulítica  
X: Xenocristal  
S: Subvolcánica  
L: Lávil  
I: Intercristal  
M: Metacrística  
B: Blastocrística

TABLA N° 4: ROCAS METAMORFICAS  
RESUMEN DE LA MINERALOGIA Y TEXTURAS

MET. CONTACTO	MINERALOGIA		TEXTURAS PETROGRAFICA	
	PREDOMINANTES	SUBORDINADOS ( PRIMARIOS, SECUNDARIOS, INCLUYE SULFUROS )	PRINCIPALES	POCO FRECUENTES
Caliza metamórfica y mármol	cnc, dol, trc, cz, sid	dp, ep, mus, trc, tal, GRs, CLOs, LTHs, hm, cup, ccd, cz, rt, cc, cp, mt, py, mb, gn, SFSa, h, Au, ort, ap, sid, ARCs, CGRs, Cu, efn, cu, bn	G, X, pg G, X	
Micas	cz, ep, bt, OPs	ort, PGLs, mus, trc, efn, ARCs, hm, il, rt, li-hm	G, X (h)	maculosa
Neozalca	PGLs, cnc	trc-act, efn, ep, wol, cp, py, mb, ort, bt, ll	G, S	
Amfibolita	hor, trc, act, PGLs, CLOs bc	efn, rt, CLOs, ser, cp, mt, py, il, mc, hm, LTHs	G, X	
<b>MET. DINAMICO</b>				
Cuarcasitas y biotitas	cnc, GRs, mus, OPs, ccd, cz PGLs, hor, trc, act, tal	cz, PGLs, mus, CLOs, trc, dol, cnc, efn, ccd, mlq, cc, cu, bn, cp, mt, py, il, mb, mc, gn, po, ser, S102, GRs, rt, ap, sid, tal, hm, LTHs, LCXs, cnc, dg, mch ep, ort, ANFs, bt, dp, zix	bc, G	
Iltonitas	trc-act, cz, bt, PGLs, ort bc	bt, ort, cnc, zix, PGLs, efn, rt, mb, cp, py, mt, cu, bn	N, L	
PREDOMINANTES: MAYOR DEL 10% SUBORDINADOS: MENOR DEL 10%				

G: granulítica, bc: biotítica, h: hornblendítica, S: subvolcánica, N: neozalca, M: maculosa, X: xenocristal

TABLA N° 3: ROCAS METASOMÁTICAS  
RESUMEN DE LA MINERALOGÍA Y TEXTURAS

CONTACTO SARCI	MINERALOGÍA		TEXTURAS FRECUENTES	
	PREDOMINANTES	SUBORDINADOS ( PRIMARIOS, SECUNDARIOS, INCLIVE SULFUROS )	PRINCIPALES	POCO FRECUENTES
Granates	GRNs, CXs, cz, SULs	mt, wol, tlc, act, cnc, mus, dol, ap, cz, ep, cnc, ec, LTHs, cfn, tal, cup, ec, py, mb, gn, mlq, oal, cp, FPS, CLOs, SFSBL, po, ep, sid, hm, ARCs, Cu, ac, cv, dg, efn, FXs	G, X, pq, SI	pb
Magnetita	mt, cz	cnc, GRNs, FX, tlc, act, cz, mus, ARCs, ccd, tal, LTHs, hm, mlq, cnc, gn, cp, mt, py, SFSBL, act, ec, dg	G, X	pq
Piroxenos	dp, hed, AIFs	tlc, cnc, GRNs, act, cz, efn, tn, mb, py, ccd, LTHs, mlq, cnc, ec, cv, hm, cp, mt, dg, cup, tal	G, X, pq, SI	pb
GRNs y otros	GRNs, cnc, mt, FX, cz, bt, SULs	cnc, FXs, tlc, mt, cz, mus, wol, tal, CLOs, efn, LTHs, cc, sid, cup, oal, bncp, act, py, ll, mb, gn, SFSBL, Au, mt, hm, cv, dg, cnc, mlq	G, X, pq, SI	pb
Kc y otros	mt, FX, tal, ep, cnc, GRNs, SULs	GRNs, cnc, act, ep, sid, cp, mt, py, cz, ccd, ec, hm, LTHs, mlq, dg, SFSBL, me, bn, FXs	G, X	SI
PXs y otros	pp, hed, wol, mus, mt, act, bt, ARCs, cz, GRNs, tal, tlc, cnc, SULs	CLOs, GRNs, cnc, efn, wol, tlc, OXs, hed, oal, ep, ARCs, mb, cnc, act, cp, py, px, mb, Au, cub, act, Cu, hm, LTHs, cc, cv, dg, bn	G, X, pq, SI	pb
cp y otros	ep, cnc, cz, GRNs	cnc, AIFs, ves, GRNs, cp, py, mb, act, ec, cv, hm, LTHs, cnc, bn	G, X, SI	I
tlc y otros	tlc, act, tal, cnc, FXs, GRNs	cnc, wol, GRNs, FXs, zlr, cp, py, cnc, cz, ec, cv, hm, LTHs, cnc, dg, cup, bn, mt, CLOs	G, X	SI
wol y otros	wol, cnc, FXs, tlc, mt, mus, cz	cnc, GRNs, FXs, act, tlc, cz, ep, ec, bn, hm	G, X	SI
cnc y otros	cnc, wol, FXs, GRNs, act, bt, cz, CLOs, tlc, mt	mus, wol, tlc, act, oal, cz, GRNs, ccd, ec, cv, hm, LTHs, cnc, dg, cp, mt, py, ll, mb, me, gn, act, efn, ys, ep, FXs	G, X	SI
POLs y otros	POLs, oal, ep, GRNs, FXs, clz, cnc, cz	cnc, efn, bt, ap, zlr, CLOs, clz, ARCs, GRNs, hm, act, tal, FXs, LTHs, bn, cp, mt, py, ll, mb, po, dg, ec, cv, oal, cz, act, tlc, mus, ep	G, X, bp, SI	pb, H
<b>HIDROTÉRMICAS</b>				
Jaspes y METASQUITAS	cz, ccd, oal, GRNs	GRNs, efn, hm, LTHs, py, cp, bn, dg, cv, ec, mlq, etc, CBs (cnc predom.)	G, X, SI, bandeada	Cerrada
cx-act	cx-act	CLOs, oal, clz, cz, ep, py, bn	lo granular metamórfica	bp
oal y otros	oal, cz, POLs	dp, c, zap, c, wol, cnc, act, efn, CLOs, cnc, ep, act, cp, bn	lo granular metamórfica	bp

NOTA: Los minerales no están ordenados según porcentajes  
 Predominantes: Cantidades mayores del 10%  
 Subordinados: Cantidades menores del 10%  
 TOTAL DE LA ROCA

G: Granulada, X: Xistal, pq: piroxeno, SI: siliceo, pb: piroxeno, H: hornblenda, I: intermedias, lo granular metamórfica: lo granular metamórfica

TABLA N° 5: ROCAS SEDIMENTARIAS  
RESUMEN DE LA MINERALOGÍA Y TEXTURAS

CRÁSTICAS	MINERALOGÍA		TEXTURAS	
	PREDOMINANTES	SUBORDINADOS ( PRIMARIOS, SECUNDARIOS, INCLIVE SULFUROS )	PRINCIPALES	POCO FRECUENTES
Cuarcitas	cz,	mus, zlr, ARCs, hm, LTHs, cp, py, il, po	cz, m	
Areniscas	cz, LTHs, POLs, cnc, CLOs, ARCs, act	ARCs, zlr, mus, act, ll, me, Au, hm, LTHs, LCX, ATs, POLs, cnc, CLOs, gfc	cz	
Conglomer. ce	cz		cz	
Limolitas	cz, ARCs, OXs, Fe	cnc, CLOs, FPS, N Cs	cz	
lutitas	ARCs, cz, OXFe	cnc, CLOs, FPS, N Cs	cz	
Calcarenitas	cnc, dol, sid	bt, ap, dp, cz, POLs, hm, LTHs, cp, po	cz	
<b>QUÍMICAS</b>				
Calcáreas	cnc, dol, sid	dol, sid, cz, Mt, Fet, py, LTHs	m	

PREDOMINANTES: MAIOR DEL 10%, SUBORDINADOS: MENOR DEL 10%

|| M: Mosaico

cz: Clásticas, m: metamórficas

P A R T E I I

M I N E R A L I Z A C I O N M E T A L I C A

## C A P I T U L O   I I

### MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

#### 2.1 GENERALIDADES

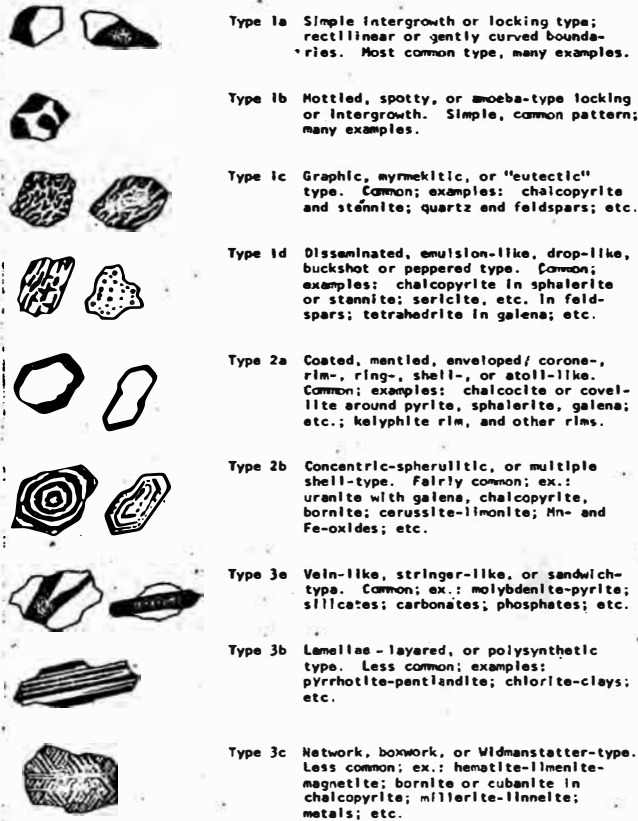
La ayuda de la Microscopía de Luz Reflejada a las interpretaciones geológico-genéticas y a las técnicas de tratamiento metalúrgico de las menas, descansa tanto en la identificación de los minerales presentes en un yacimiento dado, como en la determinación y descripción de sus relaciones geométricas, en decir, sus intercrecimientos, cuya manifestación bidimensional es posible observar en las secciones pulidas.

Existen en la literatura especializada, diversos intentos de agrupar sistemáticamente las posibilidades de intercrecimiento entre los minerales opacos, atendiendo a sus características geométricas o genéticas más generales, entre los que debemos mencionar a Grigoriev (1928), Bastin y otros (1931), Edwards (1947), Bastin (1950), Schwartz (1951), Amstutz (1954, 1960) y Millman (1975). De acuerdo a los requerimientos y tipo de trabajo desarrollado en el Laboratorio de Petromineralogía de Minero Perú, se estableció, convencionalmente, el uso de los Modelos Básicos de Intercrecimientos elaborados por Amstutz (1954, 1960), cuya síntesis se presenta en la figura 5.

**A GEOMETRIC CLASSIFICATION OF  
BASIC INTERGROWTH PATTERNS OF MINERALS**

A connotation-free set of purely descriptive patterns, 1) for studies of rocks and mineral deposits, particularly for the present revision of genetic theories, 2) for ore dressing microscopy, metallography, and other fields of applied petrology, mineralogy, and metallurgy.

Between most of these nine common locking types there are naturally gradational transitions with regard to both pattern and size. Particle or grain size data are a pre-requisite of any accurate study of rocks and mineral deposits and enhance the value of this chart.



G. C. Amstutz - 1954, 1960

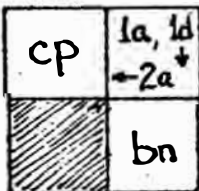
FIGURA 5

**NOMENCLATURA USADA EN TABLAS DE MINERALIZACION METALICA Y SUS INTERCRECIMIENTOS**

- 1a : Intercrecimiento simple entre ...
- 1b → : Disposición ameboide en ...
- 1c : Intercrecimiento gráfico entre ...
- 1d → : Diseminado en ...
- 2a → : Dispuesto en corona alrededor de ...
- 2b : Intercrecimiento concéntrico entre ...
- 3a → : Atravesando a ...
- 3b → : Disposición estratificada en ...
- 3c → : Disposición reticular en ...

**NOTA:** Leyendo los intercrecimientos de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, se obtiene el orden de frecuencia con que han sido observados.

**EJEMPLO:**



Se leerá: Entre calcopirita y bornita es predominante el intercrecimiento simple (1a), con menor frecuencia se observa a la calcopirita diseminada (1d) en bornita y también bornita dispuesta en corona (2a) alrededor de la calcopirita.

FIGURA 5a

En este capítulo se expone las principales características de los minerales opacos y sus intercrecimientos, reconocidos en el estudio microscópico.

Para efectos de su presentación, se ha dividido a las rocas estudiadas en 3 grandes grupos, de acuerdo a sus características específicas y a su diferente grado de implicancia en la formación del yacimiento; estos grupos y sus respectivos sub-grupos son :

a. Rocas Igneas

Grupo de la Monzonita  
Grupo de la Diorita  
Grupo del Gabro-Diabasa

b. Rocas Metasomáticas  
(Skarn)

Skarn de PGLs y otros  
Skarn de GRNs  
Skarn de GRNs y otros  
Skarn de PXs  
Skarn de PXs y otros  
Skarn de tres y otros; wol  
y otros.  
Skarn de mt  
Skarn de cac y otros; ep  
y otros.

c. Rocas de metamorfismo de contacto y dinámico.

Calizas metamórficas y mármoles.  
Otras rocas metamórficas - de contacto (metaígneas, hornfels, anfibolitas).  
Cataclasitas y brechas.



Cuando la cantidad de muestras lo justifica, se incluye Tablas de Intercrecimientos, en las cuales se consignan todas las especies minerales opacas identificadas en el respectivo sub-grupo, así como sus intercrecimientos, con la finalidad de presentar una visión global, resumida y objetiva de los resultados del estudio que sirva de base a la interpretación geológica y al establecimiento de los parámetros metalúrgicos para el tratamiento de las menas.

La elaboración de dichas Tablas, ha requerido de una simbología adicional a la nomenclatura de Amstutz, que permita indicar la disposición de cada una de las fases minerales presentes dentro de determinado intercrecimiento, tal como se muestra en la figura 5a.

## 2.2 MINERALIZACION EN ROCAS IGNEAS

En las tablas N° 6, 7 y 8 se presenta la lista de minerales opacos identificados en este grupo de rocas, así como sus intercrecimientos mutuos.

En general todas las especies mencionadas se presentan diseminadas (1d) o en venillas (3a) dentro de las gangas. Frecuentemente se observa también rutilo, esfena e ilmenita y en menor proporción magnetita, calcopirita, borrita y molibdenita en intercrecimiento estratificado (3b) siguiendo el clivaje de biotita (Foto 1). Por último tenemos algunas gangas que atraviesan (3a) a la magnetita o se

incluyen (1d) en élla, además de encontrárseles diseminadas en calcopirita y pirita; de estas inclusiones, la mayor parte presenta formas redondeadas o irregulares y otros son minerales de alteración (mayormente sericita) de formas aciculares y tabulares que determinan bordes rectos en sus contactos con calcopirita (Foto 2).

### Elementos Nativos

Se determinó la presencia de Au y Cu; el primero se encuentra en muy pequeñas cantidades, en granos de menos de 20  $\mu$ , diseminado en gangas (Foto 3) y en algún caso en contacto simple con bornita. El Cu nativo se encuentra en mayor cantidad asociado a minerales de la zona de oxidación como limonitas, crisocola, malaquita y también relictos de minerales primarios como rutilo y calcopirita.

### Oxidos

La magnetita es el óxido más abundante y se encuentra en granos an-euhedrales por lo general diseminados en las gangas. Presenta desmezclas de ilmenita como inclusiones irregulares, o reticulares según (111) (Foto 4); también se observa en intercrecimiento simple con este mineral. Debido, aparentemente, a un alto contenido de Ti, es frecuente su alteración por rutilo, esfena, "leucoxeno" y anatasa (Foto 5). La martitización es en algunos casos muy intensa y llega al reemplazamiento total pseudomórfico de la magnetita. La piritización es también frecuente (Fo

to 5).

La hematita se presenta como desmezcla con ilmenita y también como alteración de los ferromagnesianos de la roca, calcopirita (Foto 6), pirita, bornita y calcosita.

Los minerales de Ti presentan, entre ellos, diversos intercrecimientos que son producto de sus interacciones, - las cuales son por lo general de alteración. Así tenemos - que la ilmenita es, en general, alterada por todos los de más minerales de Ti. Entre el rutilo y la esfena se observa alteración recíproca aún en una misma muestra (Foto 7); el "leucoxeno" y la anatasa alteran a todos los minerales anteriores.

### Sulfuros

En este grupo de rocas los sulfuros más abundantes - son la calcopirita y pirita; estos minerales están intercrecidos en diversas formas y generalmente se observa a la calcopirita reemplazando a la pirita (Foto 8).

La marcasita se presenta como producto de alteración de pirita y pirrotita a las cuales rodea (2a) o atraviesa (3a). También se observa a menudo pirrotita generalmente diseminada en pirita, en el caso de las rocas del grupo de la monzonita, y diseminadas en gangas en el caso de los grupos de rocas más básicas (p.e. nódulos gabroides en diorita (foto 9)); con mucha menor frecuencia se encuentra a la pirrotita intercrecida con calcopirita y bornita.

Con cierta regularidad, observamos la presencia de molibdenita en sus típicas formas tabulares y/o curvadas; este mineral se encuentra ya sea en venillas o diseminado - en gangas (foto 10) intercrecido, principalmente, con calcopirita y, en menor grado, con pirita, bornita y magnetita.

La esfalerita y galena se observan generalmente asociados e intercrecidas con calcopirita y bornita.

La bornita se presenta como una fase primaria simultánea con la calcopirita, que se intercrece con ella en las formas simple (1a), ameboide (1b), diseminada (1d) y reticular (3c) como se aprecia en la foto 11; ocurre también en la zona de enriquecimiento secundario mostrando intercrecimientos : simple (1a), ameboide (1b), diseminado (1d), corona (2a) y venillas (3a) con la calcopirita (foto 12); - la distinción entre estas dos bornitas es, en ocasiones, - muy difícil (Schwartz, 1931).

Es conveniente anotar aquí, la existencia de escasa calcosita, probablemente primaria, en intercrecimiento reticular (3c) con bornita.

En la zona de enriquecimiento secundario, además de la bornita, se encuentra calcosita, digenita y covelita - que reemplazan a la calcopirita y a la bornita o se reemplaza entre sí, (foto 13).

### Sulfosales

Otras fases minerales presentes en el grupo de la monzonita, en poca cantidad y granos muy pequeños (del orden de 10-20  $\mu$ ), son las sulfosales de Bi y cobres grises, las cuales se encuentran diseminadas en gangas y en intercrecimiento la (simple) con calcopirita y bornita. La referencia genérica a estos minerales se debe a la imposibilidad de efectuar un mayor afinamiento de la identificación óptica, que permitiera determinar definitivamente la especie observada.

### 2.3 MINERALIZACION EN SKARNS

En las tablas 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se presenta la lista de minerales opacos identificados en este grupo de rocas, así como sus respectivos intercrecimientos.

A excepción del skarn de magnetita, en todas las demás rocas de este grupo los minerales formadores de skarn son minerales transparentes, siendo las principales especies: plagioclasas, granates, piroxenos, anfíboles, calcita, dolomita, cuarzo, calcedonia, epidota.

En general, la mayor cantidad de minerales metálicos se encuentra relleno de venillas que atraviesan estas gangas (foto 14) y, en menor proporción, relleno de intersticios (foto 15), especialmente en el skarn de granates y skarn de magnetita, o diseminados en granos cuyo tamaño va

rfa de pocas decenas de micras hasta cerca de 1 cm.

### Elementos Nativos

Se identificó "electrum", Au y Cu. El cobre nativo es un mineral supergénico y se ubica, diseminado o en ve nillas, en las gangas (foto 16); el Au y el "electrum" se encuentran indistintamente en todas las rocas correspondientes al exoskarn aunque con mayor preferencia en las zonas más alejadas del intrusivo y en general se encuentran incluidos en calcopirita y/o bornita (foto 17) y en menor proporción asociados a magnetita y gangas. En algunas zonas con afloramientos oxidados de skarn, se detectó abundantes granos de oro nativo incluidos en las venillas de limonitas.

### Oxidos

La magnetita tiene amplia distribución y se encuentra en variada proporción en todos los tipos de skarn; inter crecida con los piroxenos es abundante y conforma in cluso estructuras bandeadas que, en algunos casos, se en cuentran plegadas. También se encuentra diseminada o en venillas en rocas con alto contenido de granates, a los que llega incluso a reemplazar por zonas. La magnetita se presenta martitizada en baja proporción y este fenómeno origina la presencia de la mayor parte de hematita ob servada. Este mineral, en su variedad especularita, se encuentra intercrecido con calcopirita y sulfuros.

La ilmenita es un mineral poco frecuente y se encuentra prácticamente restringido a las rocas del endoskarn y, en mucho menor cantidad, ocurre también en las rocas del exoskarn cercanas a aquel. Se le observa generalmente diseminada en las gangas y asociada a esfena y/o hematita, como productos de alteración.

Los demás minerales de Ti son también escasos y restringidos a las cercanías del intrusivo, así en el endoskarn de plagioclasas y otros se encuentra esfena destruyendo a magnetita, ilmenita, calcopirita, bornita y molibdenita; en asociación con hematita, rutilo, leucoxeno y anatasa.

En la zona de oxidación se encuentra limonitas, crisocola, malaquita y en mucho menor cantidad cuprita, tenorita y Cu nativo.

### Sulfuros

Entre los sulfuros identificados el más abundante es la calcopirita, que se encuentra en venillas, diseminada o rellenando intersticios. Las venillas son la forma predominante en todo este grupo de rocas, y se observan con mayor frecuencia en el endoskarn, en las granatitas y skarn de granates y otros (foto 14); en las venillas observadas, la calcopirita se presenta indistintamente acompañada de molibdenita (foto 18), pirita, galena o sulfosales de Bi.

Se ha logrado distinguir dos generaciones de venillas, ca racterizándose las más jóvenes por la frecuente presencia - de calcita y/o cuarzo ocupando la parte central de las frac turas. La calcopirita diseminada representa también canti dades importantes de mineral económico y alcanza su mayor extensión en los skarn de piroxenos y skarn de tremolita, en los cuales se le encuentra en granos con bordes rectos impuestos por su contacto con las gangas aciculares (foto N° 19). Se encuentra también calcopirita diseminada en los skarn de calcita y skarn de magnetita. Es importante anotar que la diseminación muestra un notable incremento - en las cercanías de venillas con sulfuros. Finalmente, te nemos calcopirita, rellenando intersticios entre los mine rales formadores del skarn, como en los skarn de granate - con mayor tamaño de grano, donde la calcopirita se ubica - intersticialmente (foto 15) simultánea o anteriormente a cuarzo y calcita; igualmente tenemos calcopirita intersti cial a granos de magnetita.

A partir de su emplazamiento inicial en cualquiera - de las formas mencionadas, se ha encontrado que la calcopi rita evidencia un intenso reemplazamiento de los minerales pre-existentes, así tenemos, por ejemplo, el reemplazamien - to de zonas en los granates (foto 20 y 21), el reemplaza - miento por calcopirita y bornita de granos zonados de cal - cita y dolomita (fotos 22 y 23) y el reemplazamiento pro - gresivo de granos de magnetita como se muestra en la serie



de fotos N° 24, 25 y 26. Como señal de este reemplazamiento, es también frecuente encontrar pequeñas masas de calcopirita siguiendo parcialmente las capas de magnetita bandeadas con piroxenos u otros silicatos.

La bornita por lo general acompaña a la calcopirita constituyendo, ya sea desmezclas (fotos 27 y 28) o un producto de alteración supérgenea de esta última (foto 29). Después de la calcopirita, es el sulfuro de más amplia distribución y abundancia en las rocas metasomáticas. En algunos casos estos dos minerales conforman acumulaciones o granoblastos de hasta 1 cm. o más de tamaño y finalmente forman masas compactas de sulfuros. La bornita y calcopirita se presentan intercrecidas y/o alteradas a otros sulfuros secundarios, especialmente calcosita, digenita y covelita (foto 30).

La pirita tiene en este grupo de rocas una distribución menos amplia que en las rocas ígneas y su presencia se da fundamentalmente en venillas, asociada la mayor parte de veces a calcopirita y eventualmente a magnetita.

La marcasita es escasa y se encuentra generalmente asociada a calcopirita, pirita, pirrotita, esfalerita y bornita.

Tanto la marcasita como la pirrotita están casi restringidas a las rocas del endoskarn y exoskarn con alto -

contenido de granates o calcita (foto 31).

La esfalerita y galena se encuentran en pequeñas cantidades y siempre asociadas a calcopirita y bornita (foto 32).

Se observó cubanita y mackinawita asociadas a calcopirita, la primera constituyendo lamelas y la segunda diseminada en calcopirita.

La molibdenita se encuentra en granos euhedrales a subhedrales, generalmente en venillas, mayormente asociada a los skarn de granates y piroxenos. Los minerales con los que se asocia son principalmente calcopirita y bornita, pero se le encuentra también con magnetita, hematita y digenita (fotos 34, 35 y 36).

Se determinó también wittichenita (?) rodeada y alterada por bornita.

### Sulfosales

Se presentan algunas sulfosales de Bi, cuyas características ópticas las aproximan a galenobismutita, kobellita y aramayoita (foto 33), preferentemente asociadas a calcopirita y bornita.

Raramente se encuentran granos pequeños de cobres grises incluidos en calcopirita o bornita.

Se identificó también bournonita incluida en calcopirita.

## 2.4 MINERALIZACION EN ROCAS METAMORFICAS

En este acápite se incluyen a los grupos correspondientes a las rocas que sufrieron metamorfismo de contacto o dinámico.

### 2.4.1 CALIZAS METAMORFICAS Y MARMOLES

En la tabla 16, tenemos a los minerales opacos identificados en este grupo de rocas, así como sus correspondientes intercrecimientos.

Los minerales predominantes son calcopirita y pirita y aún cuando se ha identificado una considerable variedad de especies minerales éstas se encuentran generalmente en el orden de trazas. Tal como se aprecia en el cuadro correspondiente, el intercrecimiento de los minerales opacos se da fundamentalmente con las gangas (calcita) y con calcopirita, y, en menor grado, con pirita y bornita.

#### Elementos nativos

Los elementos nativos identificados son Cu nativo - que es producto supérgeno, oro y electrum que se observaron incluidos en calcopirita (foto 37) y en menor proporción diseminados en las gangas.

#### Oxidos

La magnetita, pese a su escasez, es el óxido prima -

rio de mayor distribución y se encuentra diseminado y en venillas en las gangas; ha sido afectada por una intensa martitización.

Los minerales de Ti observados son rutilo y esfena, el primero sólo en trazas diseminado en gangas y el segundo en cantidad sólo ligeramente mayor, también diseminado en gangas y asociado a esfalerita, calcopirita y pirita.

### Sulfuros y Sulfosales

La calcopirita y pirita son los sulfuros más abundantes y se encuentran fundamentalmente diseminados en la masa de calcita y menos frecuentemente en venillas. Todo el resto de sulfuros y sulfosales, se encuentran intercrecidos principalmente con la calcopirita. Hay bornita primaria en pequeña cantidad e intercrecida en las formas 1a (simple) 1d (diseminado) y 3c (reticular) con la calcopirita, asimismo observamos bornita supérgena junto con calcocita (foto 38), digenita, y covelita que se encuentran en intercrecimiento simple (1a), diseminados (1d) y rodeando (2a) a calcopirita. Además se encontró partículas muy pequeñas de marcasita y pirrotita asociadas a pirita y calcopirita; también cubanita, esfalerita, sulfosales de Bi (foto 39) y cobres grises principalmente diseminados en calcopirita. La galena se encuentra diseminada en bornita.

## 2.4.2 OTRAS ROCAS CON METAMORFISMO DE CONTACTO

Aquí se incluyen los siguientes grupos de rocas: metaígneas, hornfels, anfibolitas y jasperioides.

En general, de estos tipos de roca se ha estudiado - muy pocas muestras como para poder establecer conclusiones o generalizaciones descriptivas, por lo cual nos limitamos a presentar las tablas 17, 18, 19 y 20 donde se muestran, resumidamente, los minerales identificados y sus intercrecimientos para cada uno de los grupos de roca.

## 2.4.3 CATACLASITAS Y BRECHAS

Este grupo está constituido por rocas formadas de - fragmentos que proceden del fracturamiento de todos los tipos de roca descritos anteriormente, razón por la cual todas las características de mineralización que presentan son una combinación de las características que presenta aisladamente cada uno de los otros tipos de roca.

Por este motivo es que no incluimos un comentario - particular para su mineralización, sino que presentamos la tabla 21, que resume lo observado en los estudios de este grupo de rocas.

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
 ROCAS EN IGNEAS

(Grupo de la Monzonita)

Categoría	Minerales																													
	Au	Cu	mt	il	hm	LIMs	rt	ats	LCX	cp	py	mc	po	bn	cc	dg	cv	mb	el	gn	SFSs Bi	CGRs	ofn	crc	mliq	GGs				
ELNs	Shaded																													
OXs	Au	Shaded																												
	Cu		Shaded																											
	mt			Shaded																										
	il				Shaded																									
	hm					Shaded																								
	LIMs						Shaded																							
	rt							Shaded																						
	ats								Shaded																					
	LCX									Shaded																				
	cp										Shaded																			
py											Shaded																			
mc												Shaded																		
po													Shaded																	
bn														Shaded																
cc															Shaded															
dg																Shaded														
cv																	Shaded													
mb																		Shaded												
el																			Shaded											
gn																				Shaded										
SFSs Bi																					Shaded									
CGRs																						Shaded								
SILs, CBs y otros	ofn																											Shaded		
	crc																												Shaded	
	mliq																												Shaded	
	GGs																												Shaded	
	Au	Shaded																												Shaded

TABLA 7

	Au	mt	il	hm	LIMs	rt	ats	LCX	cp	py	mc	po	bn	cc	dg	cv	mb	efn	GGs	
ELNs																				
OXs	mt																			
	il																			
	hm																			
	LIMs																			
SULs	rt																			
	ats																			
	LCX																			
	cp																			
	py																			
	mc																			
	po																			
	bn																			
SULs y otros	cc																			
	dg																			
	cv																			
	mb																			
	efn																			
otras	GGs																			

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
 EN  
 ROCAS IGNEAS  
 (Grupo de la Diorita)

TABLA N° 8

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

ROCAS IGNEAS

GRUPO DEL GABRO - DIABASA

Minerales Identificados:

Oxidos :

mt, il, hm, LIMs, rt

Sulfuros :

cp, py, mc, po, bn, cc, cv

Silicatos :

efn

Intercrecimientos :

GGs/mt, il, hm, LIMs, rt, cp, py, mc, po, bn, efn: 1d

efn/il : 1d

efn/rt : 1d, 1b, 1c

mt/hm : 3c

LIMs/cp, py : 1d

bn/cc : 3a, 1a

po/efn : 1a, 1b

mc/po : 2a, 1d

po/mc : 1a, 3a



MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE PLAGIOCLASAS Y OTROS

	mt	il	hm	LIMs	rt	LCX	ats	cp	py	mc	po	bn	cc	dg	cv	mb	ef	gn	SFSs Bi	CGRs	efn	crc	GGs	
OXs	mt																							
	il	il																						
	hm	hm	hm																					
	LIMs			LIMs																				
	rt				rt																			
	LCX					LCX																		
	ats						ats																	
	cp							cp																
	py								py															
	mc									mc														
	po										po													
	bn											bn												
	cc												cc											
SULs y SFSs	dg													dg										
	cv														cv									
	mb															mb								
	ef																ef							
	gn																	gn						
	SFSs Bi																		SFSs Bi					
	CGRs																			CGRs				
SILs CBs y otros	efn																				efn			
	crc																					crc		
	GGs																						GGs	

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE GRANATES

TABLA 11

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE GRANATES Y OTROS

ELNs	Au																																							
	mt	1a-1d																																						
	il																																							
	cup																																							
OXs	hm		1d 2a 1b 1c 2b 2a		2b																																			
	LIMs																																							
	rt																																							
	cp	1d 1b	1d-1b 1a 2a 2a 1d 1b		2a 1a	1d-1b 1d 1b 1a-2a																																		
	py		1a			2a 1d		1a-1d																																
	po																																							
	bn		1d 2a 1a 1c 2a		1a 1b 1d			1a-1b 1a 2a 2a 2a																																
	cc							2a		2a 1d 2a 1b																														
SULs y SFSs	dg		1d					1d 1b 2a 2a 1a		1d 2a 2a 1a		1d 2a 1d 2a		1d 2a																										
	cv		1d					1d 1a 2a		1d 2a 2a																														
	ef							1a 1d		1a 1d																														
	gn							1d																																
	mb		1a																																					
	mck							1d																																
	SFSs Bi							1b 1d		1a 1d																														
	efn			1d				1d																																
	miq. crc		1d																																					
SILs, CBs y otros	GGs		1d-1b 2a 1c 2a-2a	1d	1d	1d-2a	1d	1d-2a	2a 1d 1b	2a-1d	1d	2a-1d 1b	1d	1d-2a	1d-2a		2a-1d											1d	1d-2a											
	Au	mt	il	cup	hm	LIMs	rt	cp	py	po	bn	cc	dg	cv	ef	gn	mb	mck	SFSs Bi	efn	miq. crc	GGs																		

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE PIROXENOS Y OTROS

ELNs	Au																	
OXs	mt																	
	hm																	
	LIMs																	
	rt																	
	cp																	
SULs y SFSs	py																	
	bn																	
	cc																	
	dg																	
	cv																	
	ef																	
	gn																	
	mb																	
	efn																	
	SILs. CBs y otros	crc, miq																
GGs																		
	Au	mt	hm	LIMs	rt	cp	py	bn	cc	dg	cv	ef	gn	mb	efn	crc, miq	GGs	

TABLA 13

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
 EN  
 SKARN DE TREMOLITA-ACTINOLITA Y OTROS  
 WOLASTONITA Y OTROS

ELNs	Cu																			
	el																			
OXs	mt																			
	hm																			
	LIMs																			
	cup																			
	cp																			
SULs y SFSs	py																			
	bn																			
	cc																			
	dg																			
	cv																			
	mb																			
	crc, mlq																			
	SILs, CBs y otros	GGs																		
		Cu	el	mt	hm	LIMs	cup	cp	py	bn	cc	dg	cv	mb	crc, mlq	GGs				

**TABLA 14**

**MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE MAGNETITA Y OTROS**

OXs	mt																					
	hm																					
	LIMs																					
	rt																					
	cp																					
	py																					
	mc																					
	po																					
	SULs y SFSs	bn																				
		cc																				
		dg																				
		cv																				
		mb																				
		SFSsBi																				
		bnn																				
		crc																				
		SILs, CBs y otros	mlq																			
			GGs																			
	mt	hm	LIMs	rt	cp	py	mc	po	bn	cc	dg	cv	mb	SFSsBi	bnn	crc	mlq	GGs				

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS  
EN  
SKARN DE CALCITA Y OTROS  
EPIDOTA Y OTROS

ELNs	Au																				
OXs	mt																				
	il																				
	hm																				
	LIMs																				
	rt																				
SULs y SFSs	cp																				
	py																				
	mc																				
	bn																				
	cc																				
	dg																				
	cv																				
	mb																				
	gn																				
	SFSs Bi																				
SILs CBs y otros	efn																				
	crc. mlq																				
	GGs																				
	Au	mt	il	hm	LIMs	rt	cp	py	mc	bn	cc	dg	cv	mb	gn	SFSs Bi	efn	crc. mlq	GGs		





TABLA N° 17

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

META - IGNEAS

Minerales Identificados:

<u>Oxidos</u>	<u>Sulfuros</u>	<u>Silicatos</u>
il	cp,py,mb	efn

Intercrecimientos :

GGs/efn, cp, mb, py : 1d

efn/cp : 1a

efn/il : 1d

cp/mb : 1a, 1b

cp/py : 1a, 1b, 1d

---

TABLA N° 18

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS HORNFELS

Minerales Identificados :

<u>Oxidos</u>	<u>Sulfuros</u>	<u>Silicatos</u>
mt, il, hm, rt	cp, py, bn, cc, dg, mb	efn

Intercrecimientos :

GGs/efn, cp, py, mb, mt, il, hm : 1d

cp/py : 1a, 1b

py/GGs : 1d, 3a, 1b; 1d

cp/GGs : 1d, 3a

py/cp : 1a, 1b, id

il/mt : 1a, 1b

mt/il : 1d

il/rt : 1d, 1a

bn/dg : 2a

bn/cc : 3c

bn/cp : 3c

TABLA N° 19

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

ANFIBOLITAS

Minerales Identificados :

<u>Elementos Nativos</u>	<u>Oxidos</u>	<u>Sulfuros</u>	<u>Silicatos</u>
Cu	mt,il,LIMs	cp,py	efn

Intercrecimientos :

GGs/LIMs, efn, py, mt, il, cp, Cu : 1d

LIMs/cp : 1d, 1b

---

TABLA N° 20

MINERALES METALICOS Y SUS INTERCRECIMIENTOS

JASPEROIDES

Minerales Identificados :

<u>Oxidos</u>	<u>Sulfuros</u>	<u>Carbonatos</u>
mt, bn, LIMs	cp, py, bn, cc, dg, cv	mlq

Intercrecimientos :

GGs/LIMs, cp, hm, dg, cc, cv, mlq, mt, py, bn: 1d, 3a

LIMs/GGs : 1d, 2a

cp/dg, cv, cc : 3a

dg, cv, cc/ep : 2a

GGs/hm; 1b

hm/GGs : 2a

hm/et 1d, 2a

GGs/mt, hm, 1d, 1d

bn/mt : 1a

bn/ep : 1d, 1b

mt/ep : 1d

mt/hm : 1d, 1b, 3c

bn/dg : 1d

LIMs/py, cp : 1d

LIMs/cp : 2a

\*\*\*\*\*



## MICROFOTOGRAFIAS

FOTO 1

Muestra N° : 1704716  
Tal. 570-33; 190.44m  
Roca: Pórfido dacítico a mon  
zonítico  
NICOLES PARALELOS, 10x

Calcopirita emplazada siguien  
do el clivaje de un cristal -  
de biotita.

FOTO 3

Muestra N° : 03107452  
Tal. 632-91; 187.97 m  
Roca: Pórfido Diorítico  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Un grano de oro y varios de  
calcopirita finamente dise-  
minados en las gangas.

FOTO 5

Muestra N°: 25037407  
Tal. 548-28; 99.70 m  
Roca: Pórfido Adamelítico a  
Granodiorítico  
NICOLES PARALELOS, 20x

FOTO 2

Muestra N° : 05127313  
Tal. 92-52; 181.15 m.  
Roca: Endoskarn  
NICOLES PARALELOS, 10x

Calcopirita y bornita co  
rroidas por gangas acicu  
lares (sericita).

FOTO 4

Muestra N° : 17047411  
Tal. 570-33; 28.32 m.  
Roca: Pórfido Dacítico  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Ilmenita y rutilo empla-  
zados a lo largo del cli  
vaje (111) de magnetita;  
además el borde de esta  
se observa alterado por  
esfena y calcopirita.

FOTO 6

Muestra N°: 25037453  
Tal. 566-35; 79.90 m  
Roca: Pórfido Adamelítico  
NICOLES PARALELOS, 20x

Grano de magnetita alterado por esfena, ésta a su vez alterada por rutilo.

FOTO 7

Muestra N°: 03107405

Tal. 622-75; 91.47 m

Roca: Pórfido Monzonítico a Latítico

NICOLES PARALELOS, 20x

Cristal euhedral de esfena reemplazado pseudomórficamente por rutilo.

FOTO 9

Muestra N°: 04107446

Superficie T - 43 - N

Roca: Nódulo gabroide en diorita

NICOLES PARALELOS, 20x

Intercrecimiento simple entre calcopirita y pirrotita diseminadas en gangas.

FOTO 11

Muestra N°: 17047416

Tal. 570-33; 190.44 m

Hematita alterando y rodeando a un grano de calcopirita.

FOTO 8

Muestra N°: 05127333

Tal. 96-51; 163.95 m.

Roca: Pórfido Dacítico

NICOLES PARALELOS, 10x

Cristal euhedral de pirita corroído por calcopirita y gangas.

FOTO 10

Muestra N°: 17047416

Tal. 570-33; 190.44 m

Roca: Pórfido Dacítico a Cuarzo Monzonítico

NICOLES PARALELOS, 20x

Alineamiento de granos de molibdenita diseminada en gangas.

FOTO 12

Muestra N°: 05027474

Tal. 630-96; 297.22 m



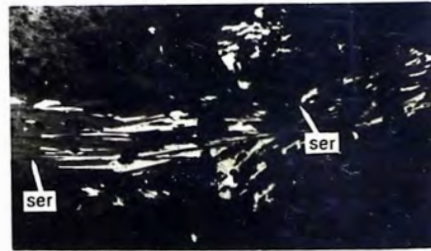
Microfotografías

TINTAYA



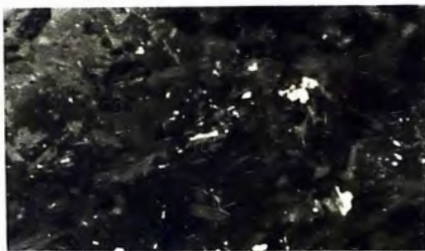
1

200 μ



2

200 μ



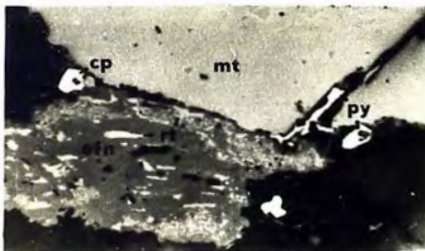
3

100 μ



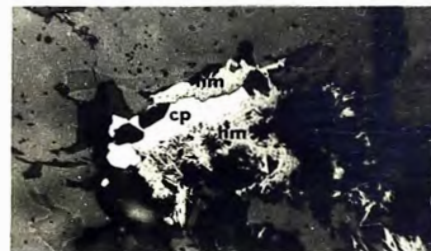
4

100 μ



5

100 μ



6

100 μ



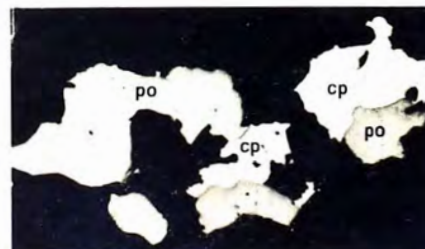
7

100 μ



8

200 μ



9

100 μ



10

100 μ

Roca: Pórfido dacítico a cuarzo monzonítico

NICOLES PARALELOS, 32x

Calcopirita y bornita, primarias, en intercrecimientos reticular y ameboide.

FOTO 13

Muestra N° 04107455

Superficie N° 7

Roca: Pórfido Latítico

NICOLES PARALELOS, 20x

Borde de alteración de covelita sobre calcopirita.

FOTO 15

Muestra N°: 05027427

Tal. 625-60; 99.30 m

Roca: Skarn de GRNs y mt.

NICOLES PARALELOS, 10x

Calcopirita y bornita ubicadas intersticialmente y alterando el borde de los cristales de granate.

Roca: Monzonita

NICOLES PARALELOS, 32x

Bornita alterando a la calcopirita.

FOTO 14

Muestra N°: 07117315

Tal. 628-42; 161.30 m

Roca: Granatita

NICOLES PARALELOS, 10x

Masa de granates atravesada por venillas de calcopirita y cuarzo.

FOTO 16

Muestra N°: 25037427

Tal. 562-31; 15.55 m

Roca: Granatita

NICOLES PARALELOS, 20x

Cu nativo con formas dendríticas, ubicado en venillas.

FOTO 17

Muestra N°: 03107438  
Tal. 65-80; 117.35 m  
Roca: Skarn de dp y GRNs  
NICOLES PARALELOS, 32x imm.  
Inclusión marginal de oro en bornita.

FOTO 19

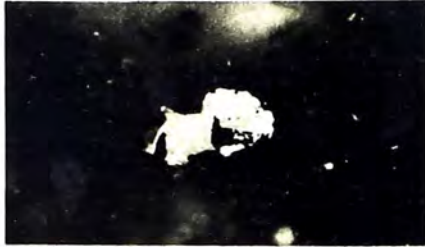
Muestra N°: 28037314  
Tal. 68-68; 98.90 m  
Roca: Skarn de GRNs, ast y cz  
NICOLES PARALELOS, 10x  
Intercrecimiento fino entre cristales aciculares de actinolita-tremolita y granos muy pequeños de calcopirita, cuyo tamaño representará una seria dificultad en su liberación - mecánica para el tratamiento metalúrgico.

FOTO 18

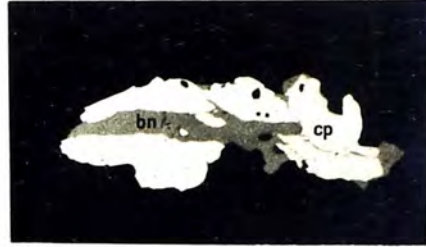
Muestra N°: 25037409  
Tal. 548-28; 164.60 m  
Roca: Granatita  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Masa de granates atravesada por venillas rellenas de calcopirita con inclusiones de molibdenita.

FOTO 20

Muestra N°: 05127309  
Tal. 92-52; 94.00 m  
Roca: Granatita  
NICOLES PARALELOS, 10x  
Calcopirita reemplazando zonas de un cristal de granate (add).



11 50 μ



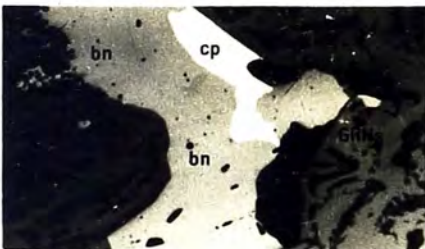
12 50 μ



13 100 μ



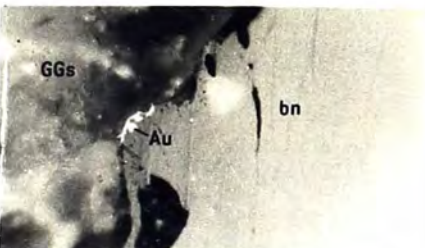
14 200 μ



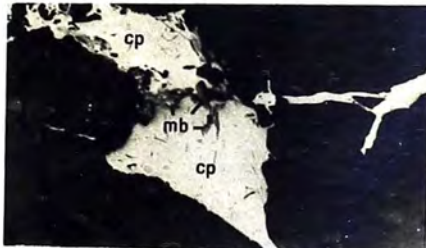
15 200 μ



16 100 μ



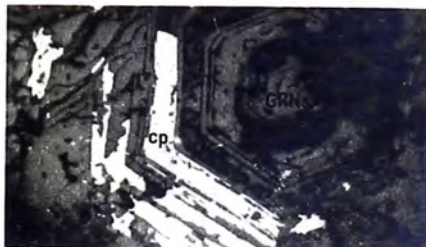
17 50 μ



18 100 μ



19 200 μ



20 200 μ

FOTO 21

Muestra N° 28037314

Tal. 68-68; 98.90 m

Roca : Skarn de GRNs, act y cz

NICOLES PARALELOS, 10x

Calcopirita reemplazando selectivamente (por zonas) un cristal de granate; en la parte superior se observa una venilla de calcopirita que representa el camino seguido por las soluciones mineralizantes. Tenemos además granos anhedrales de magnetita reemplazando el granate.

FOTO 22

Muestra N° 05027405

Tal. 622-80; 106.34 m

Roca: Skarn de cac, dol y tre

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita y bornita muestran alternancia zonal producida por un reemplazamiento diferencial de cristales zonadas de calcita - dolomita.

FOTO 23

Muestra N° 05027405

Tal. 622-80; 106.34 m

Roca: Skarn de cac, dol y tre

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita imitando la forma circular radiada de cristales de calcita a los que reemplaza.

FOTO 24

Muestra N° 17047425

Tal. 580-33; 49.08 m

Roca: Skarn de GRNs y mt.

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita emplazada intersticialmente en granos de magnetita a los que reemplaza.

FOTO 25

Muestra N° 17047425

Tal. 580-33; 49.08 m

Roca: Skarn de GRNs y mt.

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita reemplazando progresivamente a la magnetita.

FOTO 27

Muestra N° 03107408

Tal. 622-75; 113.13 m

Roca: Skarn de GRNs y cac

NICOLES PARALELOS, 20x

Intercrecimiento reticular entre calcopirita y bornita primarias.

FOTO 29

Muestra N° 09097404

Tal. 627-92; 74.00

Roca: Skarn brechado de dp y cac

NICOLES PARALELOS; 10x

Calcopirita moderadamente alterada a bornita.

FOTO 26

Muestra N° 1704725

Tal. 580-33; 49.08 m

Roca: Skarn de GRNs mt.

NICOLES PARALELOS, 20x

El intenso reemplazamiento por parte de calcopirita deja sólo relictos de magnetita.

FOTO 28

Muestra N° 05027405

Tal. 622-80; 106.34 m

Roca: Skarn de cac-dol y tre

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita y bornita primarias mostrando diversos tipos de intercrecimientos. Al borde de cada playa se ha desarrollado un finísimo intercrecimiento de estos dos minerales.

FOTO 30

Muestra N° 03107442

Tal. 632-91; 61.80 m

Roca: Skarn de dp y tre

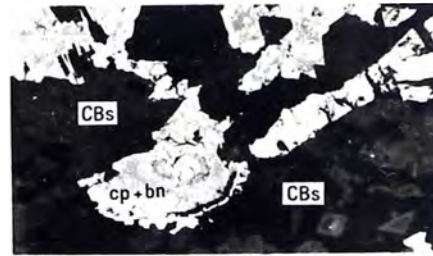
NICOLES PARALELOS; 20x

Bornita con inclusiones lineales, orientadas, de calcopirita y con corona de alteración supergena de digenita y covelita.



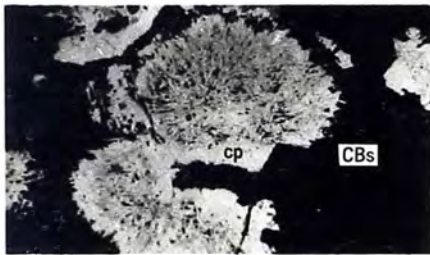
21

200 μ



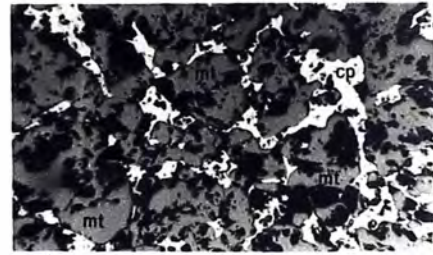
22

100 μ



23

100 μ



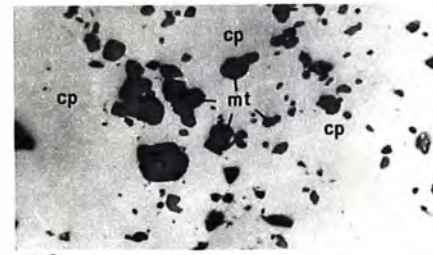
24

100 μ



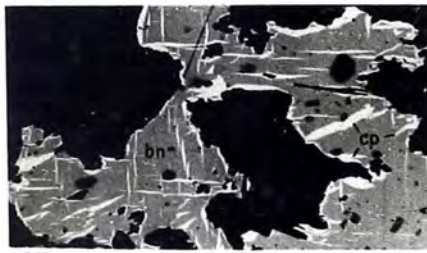
25

100 μ



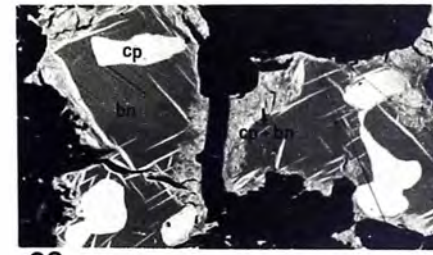
26

100 μ



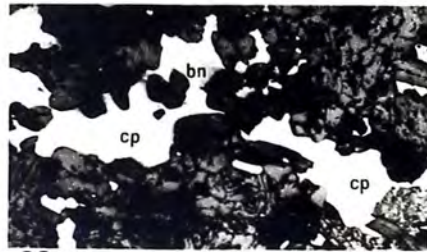
27

100 μ



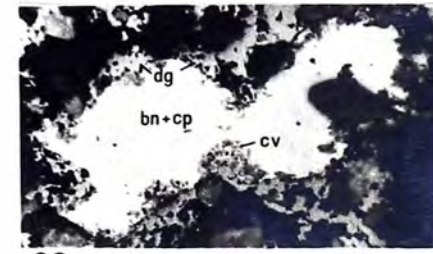
28

100 μ



29

200 μ



30

100 μ

FOTO 31

Muestra N° 03107462

Tal. 628-42; 161.67 m

Roca: Skarn de cac y tre

NICOLES PARALELOS, 32x imm

Asociación de calcopirita,  
bornita, esfalerita y pirro-  
tita.

FOTO 33

Muestra N° 17047466

Tal. 590-33; 149.69 m

Roca: Skarn de cac, mt, dp,  
GRNs

NICOLES PARALELOS, 125x imm

Intercrecimiento de dos espe-  
cies minerales del grupo de -  
los sulfosales de Bi, incluï-  
dos en una playa de calcopiri-  
ta.

FOTO 32

Muestra N° 03107438

Tal. 65-80; 117.35 m

Roca: Skarn de dp y GRNs

NICOLES PARALELOS, 32x imm

Intercrecimiento entre galena  
y bornita.

FOTO 34

Muestra N° 05027418

Tal. 624-100; 132.65 m

Roca: milonita de cz, bt, tre

NICOLES PARALELOS, 20x

Venilla con un alto contenido  
de molibdenita. En la vista  
se presenta en intercrecimien-  
to simple con calcopirita.



FOTO 35

Muestra N° 05127309  
Tal. 92-52; 94.00 m  
Roca: Skarn de GRNs  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Venilla de calcopirita con inclusiones de molibdenita en acumulaciones tipo "waipe".

FOTO 37

Muestra N° 25037403  
Tal. 547-13A; 90.74 m  
Roca: Caliza metamórfica  
NICOLES PARALELOS, 32x imm  
Pequeña inclusión marginal de oro en una playa de calcopirita.

FOTO 39

Muestra N° 25037403  
Tal. 547-13A; 90-74 m  
Roca: Caliza metamórfica  
NICOLES PARALELOS, 32x imm  
Sulfosal de Bi y oro en contacto e incluidos en playa de calcopirita.

FOTO 36

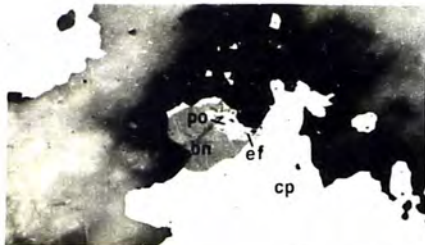
Muestra N° 16077412  
Tal. 633-52; 71.64 m  
Roca: Skarn de PXs  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Intercrecimiento de molibdenita, bornita y calcopirita a lo largo de una venilla de cuarzo.

FOTO 38

Muestra N° 16077415  
Tal. 636-97; 79.60  
Roca: Caliza metamórfica  
NICOLES PARALELOS, 10x  
Calcopirita alterada a bornita y calcosita.

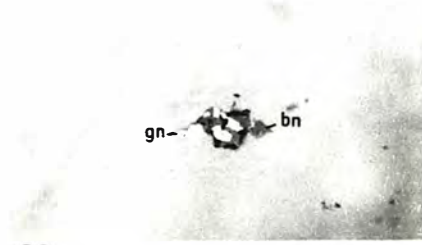
FOTO 40

Muestra N° 03107450  
Tal. 632-91; 174.74 m  
Roca: Skarn de mt.  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Magnetita alterada por hematita, calcopirita, bornita y carbonatos.



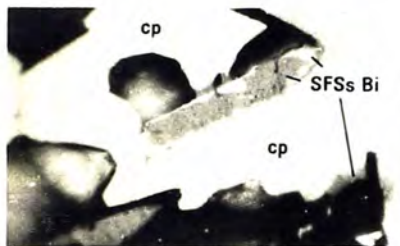
31

50 μ



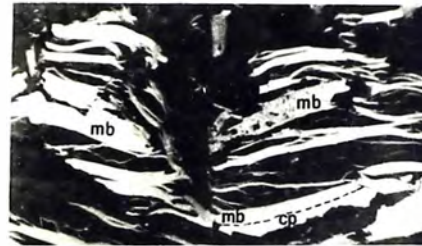
32

50 μ



33

20 μ



34

100 μ



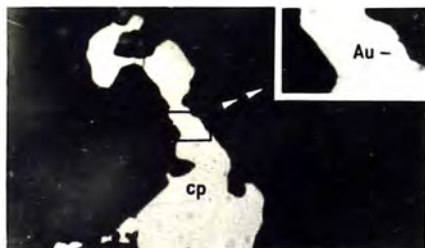
35

100 μ



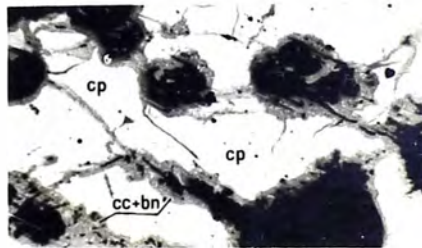
36

100 μ



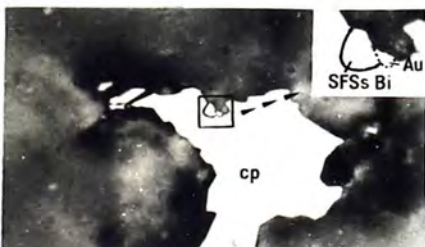
37

50 μ



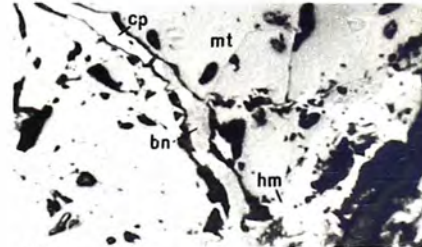
38

200 μ



39

50 μ



40

100 μ

FOTO 41

Muestra N° 03107450

Tal. 632-91; 174.74 m

Roca: Skarn de mt.

NICOLES PARALELOS, 20x

Intersticio entre granos de magnetita, ocupado por bornita, calcopirita y tremolita, desarrollada a partir de las paredes del intersticio.

FOTO 43

Muestra N° 17047467

Tal. 590-33; 185.95 m

Roca: Skarn de dp

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita corroída y fragmentada por carbonatos.

FOTO 45

Muestra N° 03107450

Tal. 632-91; 174.74 m

FOTO 42

Muestra N° 05027405

Tal. 622-80; 106.34 m

Roca: Skarn de cac-dol y tre

NICOLES PARALELOS, 20x

Calcopirita reemplazando zonalmente a cristales de calcita dolomita.

FOTO 44

Muestra N° 03107450

Tal. 632-91; 174.74 m

Roca: Skarn de mt.

NICOLES PARALELOS, 20x

Pequeñas lamelas de calcopirita formadas por descomposición de la bornita al ser atravesada por una venilla de carbonatos.

FOTO 46

Muestra N° 03107450

Tal. 632-91; 174.74 m

Roca: Skarn de mt  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Playa de calcopirita y bornita. Al centro se tiene un cristal subhedral de tremolita fracturado por carbonatos.

FOTO 47

Muestra N° 17047403  
Tal. 570-28; 56.85 m  
Roca: Skarn brechado  
NICOLES CRUZADOS a 85°, 20x  
Playa de calcopirita mostrando sus maclas cortadas y desplazadas por cristales subeuhedrales de tremolita.

Roca: Skarn de mt.  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Cristal subhedral de tremolita cortado al centro por calcopirita y bornita. Al borde superior derecho tenemos un grano de magnetita corroído al borde por los sulfuros.

FOTO 48

Muestra N° 17047403  
Tal. 570-28; 56.85 m  
Roca: Skarn brechado  
NICOLES PARALELOS, 20x  
Playa de calcopirita con inclusiones de cristales euhedrales de tremolita. Nótese las fracturas en la calcopirita que parten del cristal central de tremolita y siguen la dirección en que se produce la mayor tensión de crecimiento de este mineral; el fracturamiento pudo producirse por el emplazamiento de la tremolita en la calcopirita ya cristalizada.

FOTO 49

Muestra N° 013107450

Tal. 632-91; 174.74 m

Roca: Skarn de mt

NICOLES CRUZADOS a  $85^\circ$ , 20x

Cristales subhedrales de tremolita cortando maclas de calcopirita.

FOTO 50

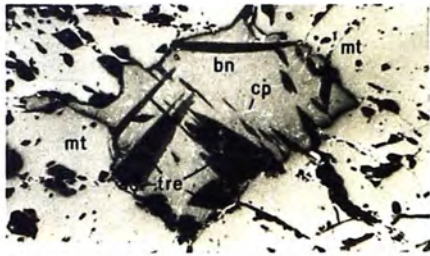
Muestra N° 03107450

Tal. 632-91; 174.74 m

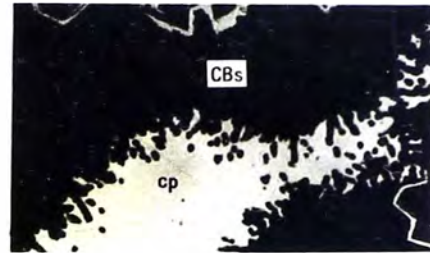
Roca: Skarn de mt

NICOLES PARALELOS, 20x

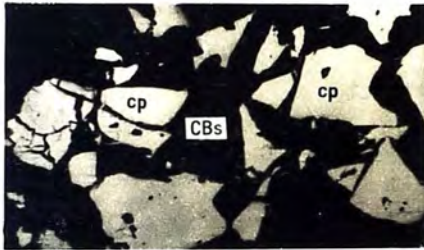
Playa de bornita primaria con inclusiones de tremolita, magnetita y calcopirita. Nótese la ubicación de la calcopirita como "sombra" de los cristales de tremolita.



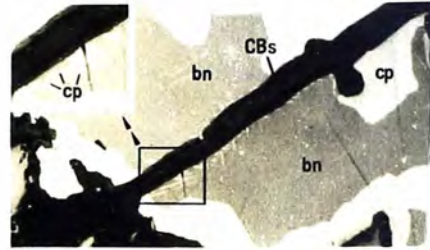
41



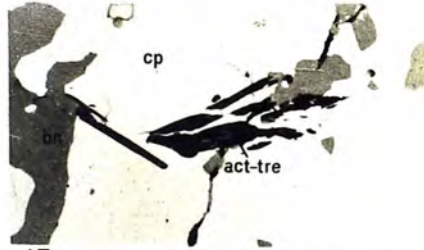
42



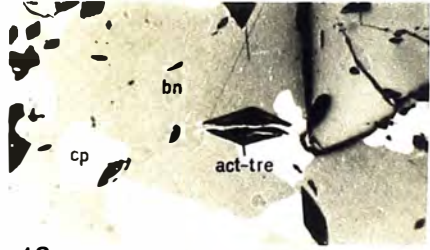
43



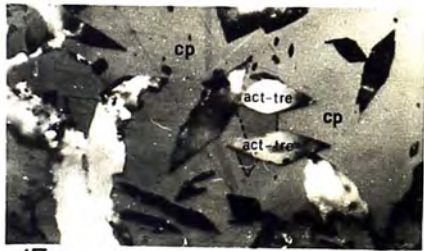
44



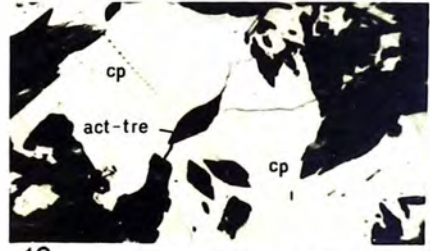
45



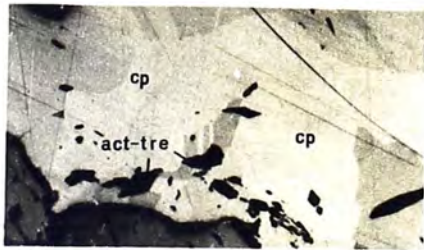
46



47



48



49



50

P A R T E   I I I

C O N S I D E R A C I O N E S   G E N E T I C A S

## C A P I T U L O    I I I

### ZONAMIENTO Y SECUENCIA PARAGENETICA

En los procesos geológicos de contacto los fluidos - aportados por el intrusivo, al migrar hacia las rocas en cajonantes y reaccionar con ellas, sufren progresivas modificaciones en su composición química, pH, temperatura y de más propiedades físicas y químicas en general.

Esto genera que en cada momento y lugar determinados, se presenten las condiciones de estabilidad necesarias para la cristalización de ciertos minerales, obteniéndose finalmente un modelo de distribución mineralógica de características variables en el tiempo y en el espacio.

La secuencia de deposición de los minerales se conoce como secuencia PARAGENETICA y su determinación está - principalmente basada en la observación de sus rasgos texturales y/o estructurales.

La distribución espacial de los minerales se denomina ZONAMIENTO y está determinado por las variaciones de las características mineralógicas en sentido vertical y/o horizontal, pudiendo individualizarse las zonas de acuerdo a las asociaciones minerales predominantes, su contenido ele



mental, etc.

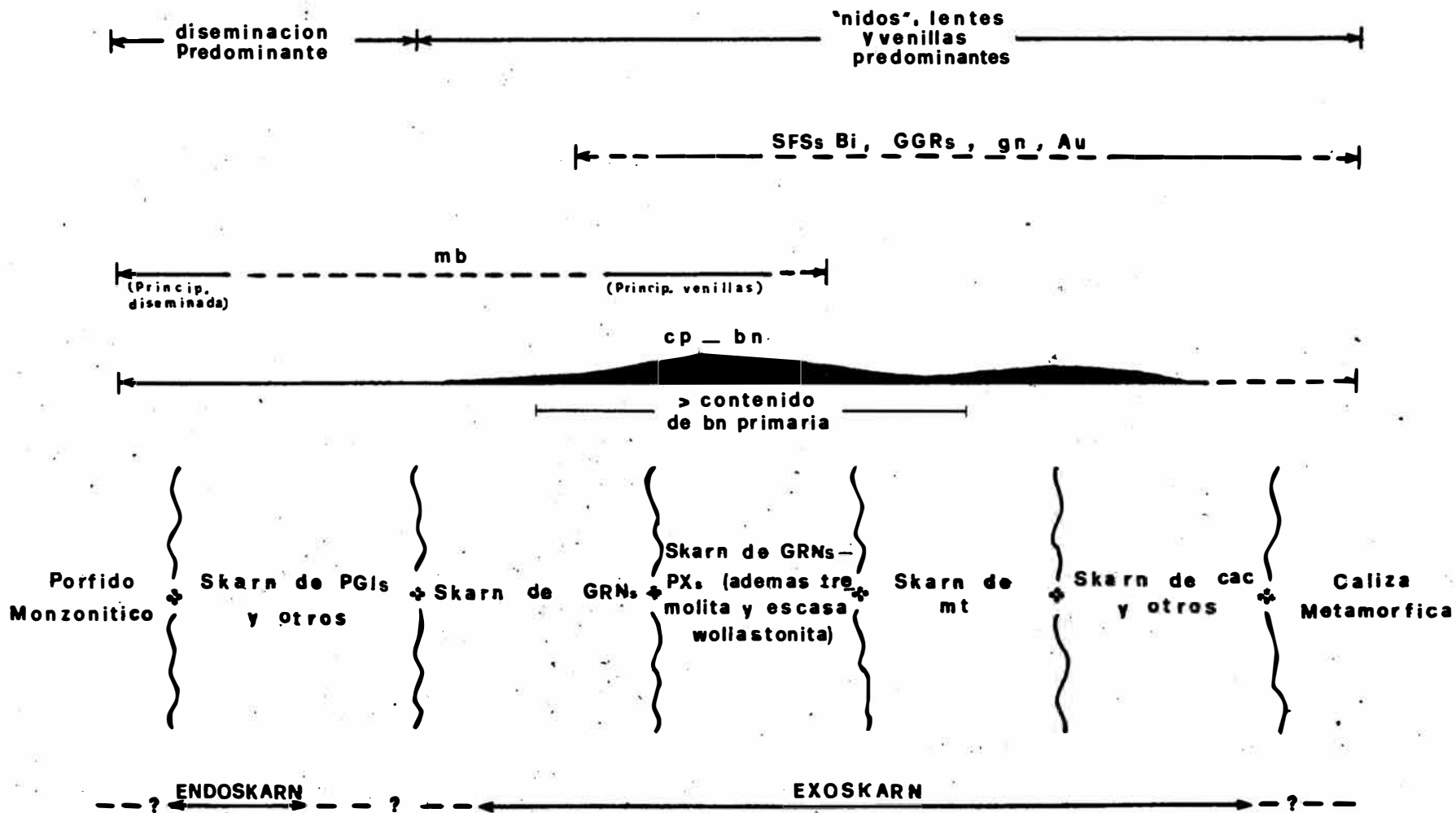
Es importante remarcar que paragénesis y zonamiento constituyen en realidad dos aspectos de un mismo fenómeno de migración de fluidos y deposición mineral.

### 3.1 ZONAMIENTO

Tal como se aprecia en la figura 6, el zonamiento - en el skarn de Tintaya y su relación con el contacto intrusivo, así como la distribución espacial de las menas, presentan un esquema coincidente con los modelos postulados para yacimientos en skarn similares.

Los límites entre las diferentes zonas son siempre transicionales, siendo su determinación extremadamente complicada y en todo caso convencional. Esta característica y el traslape de zonas, frecuentemente encontrado, se deben a que el skarn constituye colgajos englobados por el intrusivo, a menudo intensamente seccionados por apófisis del mismo, ofreciendo así diversos "frentes" a partir de los cuales, se inició la skarnización y mineralización. En las cercanías a los contactos, las menas se presentan principalmente diseminadas y a pesar de su escasez, su distribución es muy regular. En cambio hacia el exoskarn, - las menas se presentan principalmente rellenando venillas y su distribución es extremadamente irregular, con alternancia de zonas con alto y bajo contenido metálico. El mayor contenido de mineralización de Cu, está compren-

# ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL ZONAMIENTO DEL SKARN EN TINTAYA Y LA DISTRIBUCION DE LAS MENAS PRIMARIAS



⊕ limites indefinidos y transicionales

Figura 6

dido en las zonas de : skarn de granates.

Skarn de granates-piroxenos.

Skarn de magnetita y

Skarn de calcita y otros;

siendo la zona de granates-piroxenos la que ofrece las mayores leyes de Cu y además los más altos valores para la relación bornita/calcopirita.

Esta misma zona presenta el mayor contenido de Mo (molibdenita).

La galena, sulfosales de Cu-Ag-Bi y oro-plata nativos, se encuentran mayormente en las zonas de

Skarn de granates-piroxenos y

Skarn de calcita y otros..

Es importante mencionar que en las muestras cercanas a superficie, se ha detectado un aumento relativo del contenido de oro y "electrum" por efectos supergénicos, cuyos alcances y potencialidad requieren de mayores y más detallados estudios.

### 3.2 SECUENCIA PARAGENETICA DE LOS PRINCIPALES MINERALES METALICOS

El estudio de una apreciable cantidad de muestras , tanto de rocas ígneas como del skarn, ha permitido establecer para cada uno de estos grupos de rocas la secuen

cia de deposición de los principales minerales metálicos, a través de los diferentes estadios de formación del yacimiento.

### 3,2,1 EN ROCAS IGNEAS

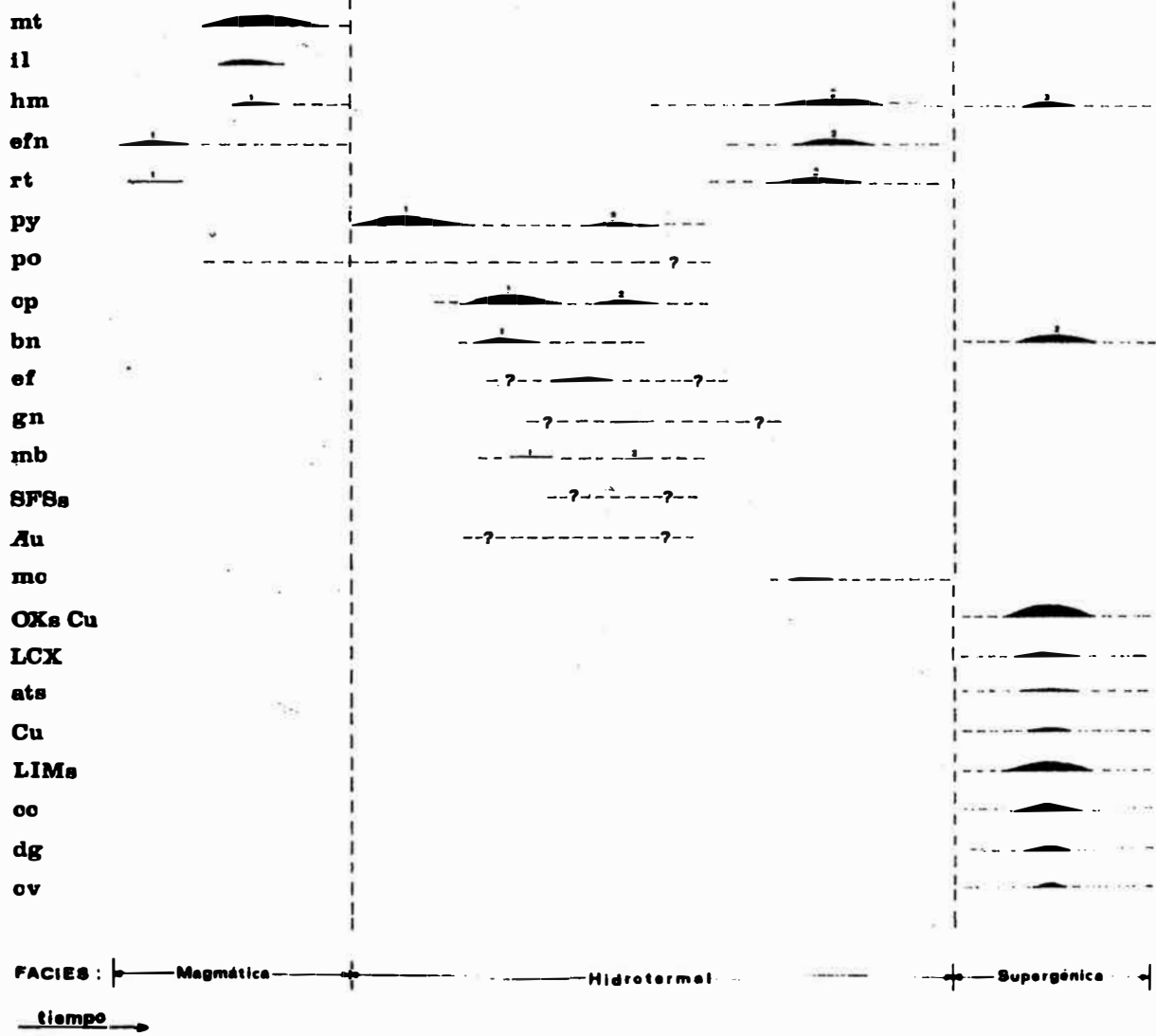
Como se aprecia en la figura 7, se distinguen tres etapas en la formación de los minerales metálicos: La primera, con minerales que se forman durante el proceso de diferenciación magmática, que son : magnetita, ilmenita , hematita, esfena, rutilo y pirrotita.

La segunda etapa (hidrotermal) se inicia con la cristalización de pirita, fundamentalmente diseminada en la roca, formada a expensas de la magnetita y de los ferromagnesianos pre-existentes. Seguidamente, la deposición simultánea de calcopirita y bornita, también diseminadas, afectó a todos los minerales previamente formados.

Luego tenemos la deposición de esfalerita, galena , molibdenita, sulfosales de Cu-Ag-Bi y oro nativo en periodos no determinados claramente y en algunos casos coincidentes con una segunda fase de pirita y calcopirita emplazadas principalmente en venillas. Esta etapa culmina con los minerales hidrotermales tardíos como hematita, esfena, rutilo y marcasita.

Finalmente, durante la tercera etapa, por la acción de los agentes supergénicos, tenemos la formación de los

**SECUENCIA PARAGENETICA GENERALIZADA  
ROCAS IGNEAS - TINTAYA**



**FIGURA 7**

típicos minerales de las zonas de enriquecimiento secundario y oxidación.

### 3.2.2 EN EL SKARN

En la figura 8, se indica la secuencia de formación de los minerales metálicos en este grupo de rocas :

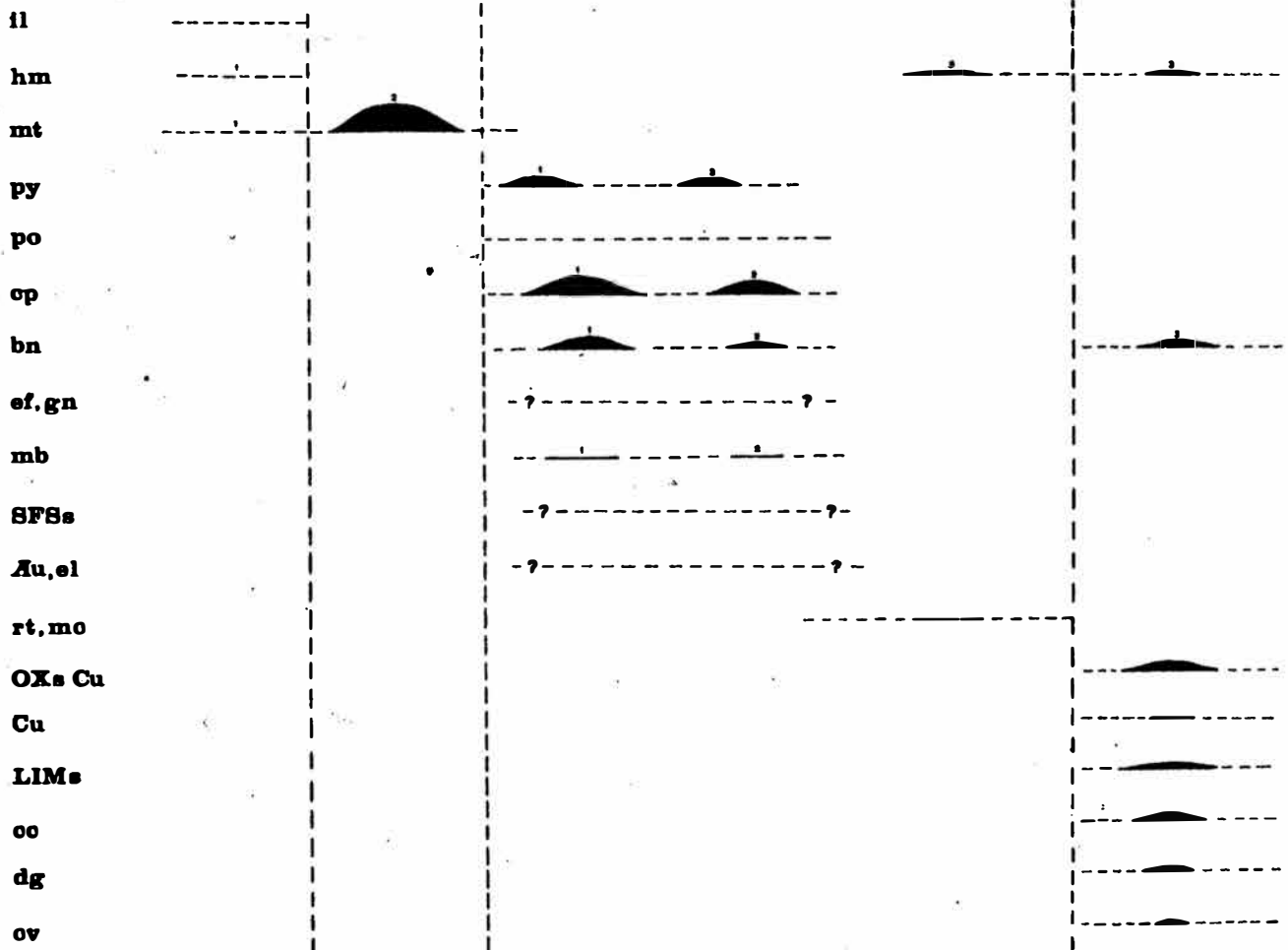
En primer lugar, hemos considerado a la ilmenita, hematita y magnetita que, en muy pequeña cantidad, constituyen relictos de los minerales cristalizados en las rocas ígneas, razón por la cual se encuentran restringidos al endoskarn.

Durante el proceso de skarnización (metasomatismo), se produjo la deposición de magnetita, que representa la etapa de óxidos, al terminar la formación del exoskarn y parcialmente traslapado con la cristalización de los calcosilicatos ferrosos.

Las soluciones hidrotermales residuales, inician su acción con la formación de escasa pirita, seguida de abundante calcopirita y bornita, simultáneas. Estos tres minerales se emplazaron, parte en venillas, y el resto diseminados en los minerales del skarn, por lo general en mayor cantidad en las zonas adyacentes a las venillas.

La secuencia prosigue con la deposición de pequeñas cantidades de esfalerita, galena, molibdenita, sulfosales de Cu-Ag-Bi, oro nativo y "electrum"; seguidos de hematita

**SECUENCIA PARAGENETICA GENERALIZADA  
ROCAS METASOMATICAS - TINTAYA**



FACIES : | Magmática | Metasomática | Metasomática Hidrotermal | Supergénica |

tiempo

**FIGURA 8**

ta y mucho menor cantidad de marcasita y rutilo.

Finalmente, los fenómenos supergénicos dieron lugar a la formación de los sulfuros enriquecidos y minerales oxidados de hierro y cobre.

### 3.3 INTERCRECIMIENTOS Y RELACIONES DE TIEMPO ENTRE LAS PRINCIPALES MENAS Y LOS MINERALES CONSTITUYENTES DEL EXOSKARN.

La formación de las menas en un yacimiento en skarn, ocurre en un determinado lapso dentro del proceso metasomático, estableciéndose variadas relaciones de tiempo entre éstas y los minerales propios del skarn, las cuales pueden ser determinadas mediante un cuidadoso análisis de los diversos intercrecimientos observados durante el estudio microscópico.

Para el caso de Tintaya, se ha considerado como de importante significación genética la determinación de las relaciones de tiempo de formación entre los principales minerales constituyentes del exoskarn (granates, magnetita, carbonatos y anfíboles) y las menas primarias de mayor distribución e importancia económica (calcopirita y bornita).

#### 3.3.1 MENAS - GRANATES Y MENAS - MAGNETITA

Los intercrecimientos entre calcopirita-bornita con granates y magnetita, que establecen una clara relación -



de tiempo de formación son

- a) Venillas ; Tal como se observa en las fotos 14 y 40, las menas se ubican frecuentemente en venillas que atraviesan masas compactas de granates o magnetita.
- b) Intersticial : Es común la presencia de calcopirita-bornita relleno intersticios dejados en la cristalización de granos euhedrales de granate (foto 15) o de magnetita (foto 41).
- c) Reemplazamiento : Este fenómeno se aprecia en múltiples formas pero el más claro ejemplo se obtiene cuando las menas reemplazan selectivamente a ciertas zonas de un cristal de granate (foto 20), por lo general las soluciones llegan a estas zonas favorables migrando a lo largo de venillas (foto 21). Asimismo, a partir de las venillas o del relleno intersticial, la calcopirita y bornita reemplazan a la magnetita, ya sea débilmente (foto 41) o intensa y progresivamente, como se aprecia en la serie de fotos 24, 25 y 26.

CONCLUSION: El emplazamiento de las menas es claramente posterior a la formación de granates y magnetita.

### 3.3.2 MENAS - CARBONATOS

En este caso tenemos intercrecimientos que estable

cen las tres alternativas para la secuencia de formación de estos minerales.

Así tenemos el caso de las menas reemplazando se - lectivamente a cristales de calcita - dolomita (fotos 22, 23 y 42).

En otros casos encontramos a las menas en proceso - de destrucción (principalmente fracturamiento) o transformación por efecto de la calcita (fotos 43 y 44).

Finalmente, tenemos abundantes venillas de sulfuros intercrecidos con calcita.

CONCLUSION : Lo observado microscópicamente en las secciones pulidas confirma lo establecido por el estudio petrográfico y de campo, acerca del amplio rango de tiempo en el cual se formó la calcita. En cambio la dolomita parece - ser, en todo caso, anterior a la etapa prin cipal de formación de menas.

### 3.3.3 MENAS - ANFIBOLES

Para esta relación existen intercrecimientos que establecen criterios opuestos. Tradicionalmente se ha considerado que la calcopirita es una fase posterior a los anfíboles, que rellena los intersticios dejados por estos al cristalizar en granos euhedrales (foto 19).

Un cuidadoso examen de los intercrecimientos entre estos minerales muestra que, en algunos casos, las menas parecen emplazarse después que los anfíboles (fotos 45 y 46). Sin embargo, en otros casos esta afirmación es refutada por las evidencias microscópicas (fotos 47, 48, - 49 y 50).

**CONCLUSION** Las evidencias encontradas insinúan que la formación de anfíboles se inicia antes de la principal etapa de emplazamiento de las menas y continúa hasta aún después de terminar ésta. A estos anfíboles tardíos, se les ha atribuido un origen por metamorfismo dinámico consecuente con los movimientos tectónicos post-mineralización. Sin embargo, esta opinión no puede ser confirmada pues su ocurrencia no se limita a rocas relacionadas con este proceso.

## C A P I T U L O   I V

### INTERPRETACION Y CORRELACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA

En este capítulo se presenta un enfoque resumido de las principales características geológicas de TINTAYA y se analizan sus coincidencias y discrepancias con las características de otros yacimientos del mismo tipo descritos en la bibliografía especializada.

#### 4.1 CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE LA FORMACION DE SKARN Y SUS PROCESOS DE MINERALIZACION METALICA

La formación de skarn está referida a los contactos entre rocas calcáreas y rocas intrusivas. Estas dos unidades litológicas están relacionadas por diversos tipos de estructuras, ya sea que las calizas rodean al intrusivo que las intruyó y plegó a manera de un domo, o que ocurre como remanentes dentro del intrusivo; diversos autores han postulado también la existencia de skarn sin la presencia detectada de un intrusivo al cual se le pueda **Asociar.**

Los cuerpos de skarn tienen una extensión espacial que, normalmente, no pasa de un décimo del tamaño del cuerpo intrusivo (Smirnov, 1970) y su posición y forma están determinados por las deformaciones tectónicas.

#### 4.1.1 PROCESOS IMPLICADOS EN LA FORMACION DE SKARN

La formación de skarn se explica por una serie de eventos (estados) sucesivos que comprenden los siguientes procesos :

- 1° Emplazamiento de una roca ígnea intrusiva, dentro de una secuencia sedimentaria conteniendo rocas calcáreas, que generan un calentamiento hasta temperaturas de recristalización y produce escape de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , pérdida de volumen y/o un incremento en la porosidad. Prepara las rocas para la skarnización.
- 2° Metasomatismo por fluidos provenientes del intrusivo. Este estado se inicia con la formación de los diferentes minerales calcosilicatados que constituyen el skarn, para continuar con la deposición de óxidos y sulfuros, concluyendo con la acción de soluciones residuales que producen alteraciones retrógradas en los minerales previamente formados.

#### 4.1.2 NIVEL DE EMPLAZAMIENTO DE LOS INTRUSIVOS

A diferencia de las rocas metamórficas de contacto que pueden formarse a cualquier profundidad, es decir, bajo cualquier presión de confinamiento, la formación del skarn se produce a profundidades relativamente pequeñas, (hipabisal) cuando la presión de los fluidos es mayor

que la presión de las rocas superyacentes. Al respecto Smirnov (1970) presenta las siguientes opiniones de diversos autores :

Goldschmidt sostiene que el nivel de intrusión de las rocas eruptivas en la región de Oslo no fue mayor de 1,500 metros.

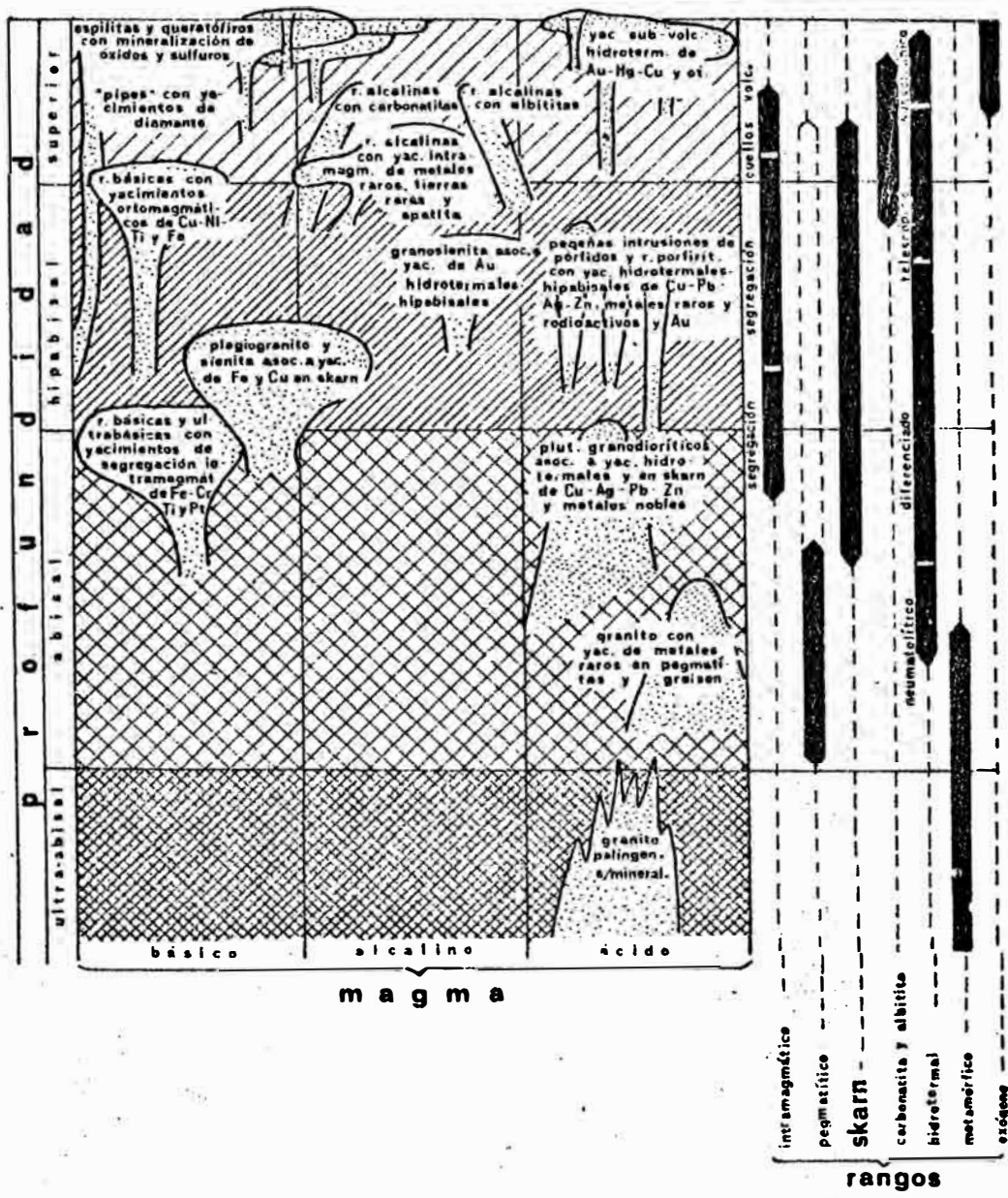
Lindgren, postula que los intrusivos asociados al skarn de Nuevo México, cristalizaron a una profundidad entre los 650-1000 metros y raramente hasta 2,500 metros.

Karpova e Ivasensev, sostienen que las principales intrusiones que han originado skarn en Asia Central, se emplazaron a profundidades de 1,000 a 2,000 metros.

Obcinnikov, considera que la formación de los yacimientos en skarn del Norte y Centro de Ural, se realizó a profundidades entre los 1,200 y 1,500 metros.

En el mismo texto, Smirnov presenta un cuadro en el cual se expone la relación existente entre los diversos tipos de yacimientos con la composición y nivel de cristalización de las rocas magmáticas asociadas (ver figura 9). En este cuadro puede notarse la preferencia a formarse yacimientos en skarn por la acción de intrusivos ácidos emplazados a niveles relativamente altos

**DISTRIBUCION DE LAS ROCAS MAGMATICAS Y LOS GRUPOS GENETICOS DE YACIMIENTOS A DIFERENTES PROFUNDIDADES**  
(V. I. SMIRNOV, 1970)



**COMENTARIO**

En este cuadro de distribución de Depósitos Minerales, en relación a la profundidad y tipo de magma, el autor ha tipificado la ocurrencia de skarn en base a múltiples observaciones; señalando la notable asociación de este tipo de yacimientos con intrusivos hipabisales ácidos.

FIGURA Nº 9

(hipabisales principalmente). Asimismo en el trabajo - de Burt y Petersen (1974) puede leerse :

" ..... el análisis de la estratigrafía e historia geológica regional generalmente resulta en estimaciones de profundidad relativamente pequeñas, aproximadamente del orden de un kilómetro. Esto significa que la presión total fué del orden de algunos cientos de atmósferas".

#### 4.1.3 TEMPERATURA DE FORMACION DE LOS SKARN

Referente a la temperatura de formación de los skarn hay diversas opiniones, algunas de las cuales se leen resumidas por Smirnov (1970) como sigue : "A través de la investigación de las paragénesis de skarn, concluyó Pilipenko, que los skarn se forman en un intervalo de temperatura relativamente amplio (250 - 1,200°C). Sin embargo, la mayor parte de los autores acepta que el comienzo de la formación de skarn no pasa de 800°C y que la temperatura final baja hasta 50 a 100°C.

Este rango de temperatura puede ser subrayado por los siguientes hechos :

Los experimentos de Solovjov y Mervin con granates - calentados dieron una temperatura superior a 750 850°C, en donde los granates birrefringentes se isotropizaban. Zavarickij, menciona investigaciones de Stirneman sobre formación experimental de magnetita



a 550°C y hematita a 320°C. En otros skarn, p.e. Ljangan en Asia Central y Pitkaranta en Karelia, está presente Bi nativo que debe haberse formado a temperaturas menores de 270°C. La investigación de inclusiones fluidas en minerales formadores de skarn y su homogenización por calentamiento indica temperaturas de formación desde 70 - 510°C".

Asimismo, Burt y Petersen (1974) presentan sus estimaciones de temperaturas para los diversos estadios, en base a varios estudios recientes de yacimientos - en skarn, con los siguientes resultados:

700 - 900°C	;	Solidificación del intrusivo
500 - 700°C	;	Metamorfismo de contacto
400 - 600°C	;	Formación de skarn
300 - 500°C	;	Superposición de óxidos y sulfuros.
200 - 400°C	;	Estadio hidrotermal tardío.

La formación del skarn ocurre después que el intrusivo o al menos su parte más externa ha solidificado y las rocas encajonantes han adquirido la suficiente temperatura. Los fluidos ascienden a través del intrusivo o por el borde de éste hasta alcanzar la zona de contacto. El origen de los fluidos no ha sido aún certeramente establecido, siendo tradicionalmente considerado como producto de diferenciación magmá

tica al que se le añade material adquirido en su recorrido hacia la zona de skarnización. En forma general se estima que posee un alto contenido en sales, gases y elementos como Fe y Si.

#### 4.1.4 HIPOTESIS DE FORMACION DE SKARN

Actualmente existen dos hipótesis que tratan de explicar la formación de skarn : a) La hipótesis de infiltración-difusión de Korzhinskii y sus alumnos y b) La hipótesis de fases de Pilipenko.

##### a) Hipótesis de Infiltración-Difusión de Korzhinskii.

Durante el estudio del skarn de Turjinsk (Ural), Korzhinskii desarrolló su teoría del "bimetasomatismo" - que implica la siguiente idea principal: "En ambos lados del contacto térmico de las rocas silicatadas y carbonatadas existen soluciones intersticiales hidratadas que presentan un fuerte desequilibrio químico. En estas soluciones, los elementos del ambiente carbonático y silíceo alcanzan un sustancial equilibrio gracias a una corriente de difusión entre el campo de más alta al de más baja concentración. En los frentes de difusión tienen lugar reacciones de intercambio, tanto dentro de las propias soluciones como entre las soluciones y los minerales formadores de roca, a partir de las cuales se forman compuestos

que tienen elementos de las rocas silicatadas y carbonatadas; es decir, los silicatos cálcicos del skarn."

El intercambio entre la roca silicatada y la roca carbonatada se da a diferente velocidad para cada elemento, produciéndose una variación diferencial de la concentración en la dirección de la difusión, lo que origina una disposición zonal de los minerales en el skarn. De acuerdo al grado de movilidad, los elementos han sido divididos en 4 grupos :

- 1° Que comprende a los compuestos más móviles, como el  $H_2O$  y el  $CO_2$ .
- 2° Corresponde a los elementos que son móviles a las condiciones normales, tales como el S, Cl, K, y Na.
- 3° Conformado por aquellos elementos que sólo son movilizados por un intenso metasomatismo, aquí tenemos al  $O_2$ , Si, Ca, Mg y Fe.
- 4° A este grupo pertenecen los elementos de más baja movilidad, como el P, Ti y Al.

La movilidad de los elementos es fundamentalmente dependiente de la temperatura. Así, por ejemplo, en el estado inicial de alta temperatura, el Fe mues-

tra una movilidad relativamente alta y en lugar de la salita, rica en Fe, se forma wollastonita, libre de Fe. El contenido de Fe aumenta gradualmente en dirección a las zonas periféricas por lo que la composición del granate hacia el exoskarn varía de grosularia a andradita. Si la temperatura continúa decreciendo, el Fe pierde movilidad formando se acumulaciones de magnetita. En el estado de baja temperatura, el Fe se volverá "pesado" mientras que el S y el Cu se vuelven móviles, entrando en reacción con el Fe, con el consiguiente enriquecimiento de pirita y calcopirita.

La ampliación de la teoría del bimetasomatismo condujo a la formulación de la hipótesis de infiltración-difusión de Korzhinskiï. De acuerdo a ésta los skarn se forman en el contacto de rocas carbonatadas y rocas silicatadas, por soluciones calientes que contienen sustancias traídas desde las profundidades magmáticas y que circulan a través de las rocas. En la formación del skarn por infiltración toman parte tanto las soluciones que contienen elementos aportados como las que tienen elemento lixiviados de las rocas de caja. Se han diferenciado las siguientes fases :

Fase de los hornfels calcosilicatados claros, de

bilmente ferrosos.

Fase de los skarn de hierro, oscuros.

Fase de los silicatos hidratados.

Fase de Cuarzo - Carbonatos - Sulfuros.

La hipótesis de Korzhinskii es la que aceptan la mayor parte de especialistas en este tipo de yacimientos.

b) Hipótesis de fases de Pilipenko.

Esta hipótesis es anterior a la de Korzhinskii y a diferencia de éste, considera que para la formación de skarn es necesario el aporte de importantes cantidades de sustancias. De acuerdo a análisis empíricos de composición en yacimientos en skarn, Pilipenko ha separado la formación de skarn en 6 fases:

Metasomatismo del Si a temperaturas altas y desarrollo de rocas diopsídicas.

Metasomatismo del Al y Si con la formación del granate (desde sus variedades pobres a las más ricas en Fe).

Metasomatismo de los halogenutos (aporte de Cl), desarrollo de escapolita.

Metasomatismo del Fe ( $\text{FeO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), formación de magnetita, hematita y aluminio silicatos ricos - en Fe (hedenbergita, ilvaíta, andradita, etc.)

En el caso de estas 4 fases, se formarán "skarn secos",

Metasomatismo de los fluidos acuosos, en el que toman parte el  $H_2O$ , el  $CO_2$  y el Cl.

Metasomatismo de los sulfuros, con aporte de  $H_2O$ , S (en forma de  $H_2S$ ) y metales, formación de sulfuros y sulfosales. Esta fase se ha dividido en 3 sub-fases

- a) Metasomatismo del As-S
- b) Metasomatismo del Cu-Fe
- c) Metasomatismo del Pb-Zn

La hipótesis de Pilipenko presenta dificultades en algunos aspectos, como es el caso de algunos minerales que no corresponden a la serie mencionada, por ejemplo la escapolita, scheelita y otros.

Es evidente que dependiendo de las condiciones geológicas y físicoquímicas, algunas fases pueden faltar u ocurrir juntas.

#### 4.1.5 YACIMIENTOS EN SKARN

Las menas en los yacimientos en skarn se forman en un pequeño lapso de la skarnización y de acuerdo a su relación con ésta, Abdullajev ha diferenciado 3 ti-

pos de yacimientos :

1° De mineralización simultánea.- Cuando la mineralización se produce por el enriquecimiento de menas durante la formación de la asociación Granates-Piroxenos y comprende yacimientos de magnetita, kotofta y grafito.

2° De mineralización acompañante.- Cuando la formación de menas se produce inmediatamente después de la formación de los silicatos calcáreos y abarca sólo una parte del skarn. Aquí tenemos yacimientos de magnetita y wolframita.

3° De mineralización suprapuesta ("Uberpragte).- Cuando las menas se forman en un estadio tardío; el Skarn hace las veces de roca de caja. Los yacimientos asociados son de : Co, Cu, Mo, Pb, Zn, Sn, U y una parte de W. Este tipo de yacimientos corresponde a la fase de Cuarzo-Carbonatos-Sulfuros, la que aparece también frecuentemente asociada a la fase de silicatos hidratados.

#### 4.1.6 RELACION ENTRE LOS YACIMIENTOS EN SKARN Y LOS YACIMIENTOS PORFIRITICOS DE COBRE

Un aspecto importante e interesante, es la relación existente entre los yacimientos en skarn con los llamados yacimientos porfiríticos de cobre; el problema

ha sido planteado por Burt y Petersen (1974) de la siguiente manera : "Esta relación es en el sentido de que cuando un intrusivo conteniendo depósitos porfiríticos de cobre corta una caliza, casi siempre desarrolla en ella, skarn. En cambio, la recíproca -generalmente- no se cumple-, es decir, la mayoría de los pórfidos asociados a skarn de Ca-Fe-Si que contienen Cu, carecen en sí de mineralización.

Cabe preguntarse, pues, si los depósitos porfiríticos de cobre se forman al mismo tiempo que los skarn que los rodean. Sobre este punto hay muy poca evidencia, pero pensamos que quizá los pórfidos se mineralizan (o por lo menos se alteran hidrotermalmente) después de la formación del skarn y quizá aún después del comienzo del estadio de "superposición de óxidos y sulfuros". La ocurrencia común de cuerpos intrusivos estériles adyacentes a skarn cupríferos podría deberse entonces a la falta de un extenso "período hidrotermal tardío", a una falta de fracturación extensiva del pórfido o a una falta de suficientes minerales ricos en hierro dentro del pórfido para localizar a la calcopirita".

Es conveniente destacar, que todas las teorías y modelos genéticos propuestos para los "pórfidos de cobre" (Sillitoe, 1973; Lowell y Guilbert, 1970), coinci-



den en señalar para los intrusivos relacionados a la alteración - mineralización, características muy similaares a las reconocidas para los stocks asociados a los yacimientos en skarn; así tenemos :

- a) Nivel hipabisal de emplazamiento del intrusivo.
- b) Caracter "pasivo" de la intrusión, donde el reemplazamiento, "stopping" y asimilación son los procesos más importantes.
- c) Similar comportamiento termal, y
- d) Composición calco-alcalina con alto contenido de fluidos "dispuestos" a migrar ascendentemente en cuanto encuentren las condiciones adecuadas.

Con estas premisas podemos establecer, que la predominancia del autometasomatismo del intrusivo sobre el metasomatismo de las rocas encajonantes o viceversa, estará entonces sujeta también a otras características geológicas del sistema, tales como : extensión del fracturamiento, condiciones geoquímicas, rocas de caja, etc.

## 4.2 CONTRIBUCION A LA INTERPRETACION GENETICA EN TINTAYA

De acuerdo a la correlación de la información geológica disponible y los estudios microscópicos, se ha podido establecer algunas características del yacimiento que pueden servir para la interpretación de su géne-

sis

1.- El yacimiento en skarn Tintaya se formó al contacto entre las rocas calcáreas de la Formación Ferrobarba y el pórfido monzonítico que las intruyó. Las perforaciones y mapeos geológicos muestran que las calizas constituyen bloques remanentes "flotando" sobre el intrusivo que los rodea completamente. (figura 10).

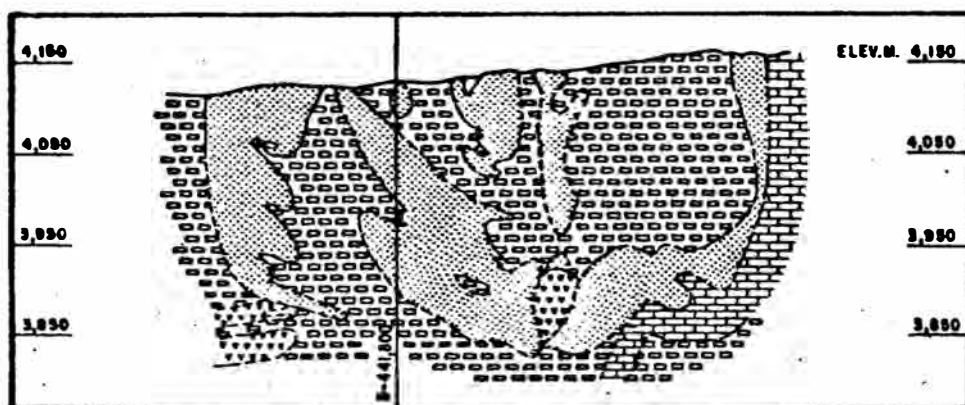
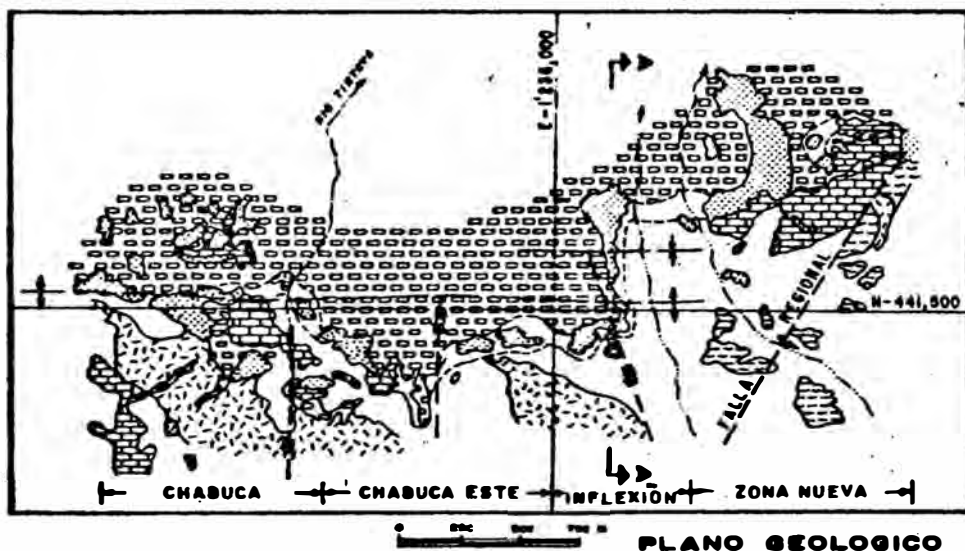
No existe una asociación directa entre el skarn y los contactos con el intrusivo diorítico, el cual sólo fue capaz de producir asimilación de las rocas encajonantes y amplio metamorfismo de contacto.

2.- Las características texturales del intrusivo monzonítico denotan un nivel de intrusión relativamente alto (hipabisal), lo cual coincide con la opinión generalizada de formación de skarn a poca profundidad.

3.- A partir del emplazamiento del magma monzonítico se sucedieron los siguientes fenómenos (figura 11).

a) Asimilación y metamorfismo, con la consiguiente formación de rocas híbridas, mármoles y rocas corneanas.

b) Disminución de la temperatura y solidificación parcial del intrusivo, seguidos de fracturamiento que ha sido el camino seguido por soluciones -



**LEYENDA**

RECIENTE {	DEPOS. FLUV. LACUS, GLAC.	ROCAS METASOMATICAS "SKARN"	
CRETACEO {	PERROBANDA	ROCAS INTRUSIVAS DIORITA	
JURASICO {	MUALHUANI	MONZONITA	
		ANDEGITA	

**SECCION A-A' (ZONA DE INFLEXION)**

**YACIMIENTO DE TINTAYA**

FIGURA 10: Sección Geológica de la Zona de Inflexión, cuya ubicación puede verse en el plano geológico de la parte superior, en la que puede apreciarse los bloques de "skarn" englobados dentro del intrusivo monzonítico.  
 Tomado de: "Geología de Yacimientos de Cobre en "Skarn" en la Región Sur Oriental del Perú"  
 S.SANTA CRUZ, T. GUERRERO, F. CASTILLA, E. CARO, H. CANDIOTTI  
 Bol. S.G.P. Nº 60, Anales del IV Cong. Peruano de Geología (Agosto 1978), Abril 1979.

"skarnizadoras".

- c) Skarnización, con importante adición de Fe y Si por parte del intrusivo y la consecuente formación de andradita, hedenbergita, actinolita y magnetita; este proceso se inició con la formación del endoskarn, cuyo fracturamiento permitió la extensión de la "skarnización" para producir el exoskarn.
- d) Estadio hidrotermal tardío, que comprende la acción de las soluciones hidrotermales residuales generadoras de silicatos de alteración hidrotermal y de la mineralización metálica. Esta etapa culmina con la formación de los minerales hidrotermales de menor temperatura (rutilo, esfena, hematita, marcasita).

Como puede apreciarse, el skarn y la mineralización de éste se han producido como una sucesión de eventos o estadios similares a los referidos por la literatura especializada para la mayoría de depósitos de este tipo.

4.- La formación de las menas ha tenido lugar en un estadio tardío por acción de soluciones hidrotermales correspondientes a la fase "cuarzo-carbonatos-sulfuros" de Korzhinskii traslapándose con la parte fi-

Eventos anteriores a la actividad ígnea principal.

Rocas híbridas

Tonalitas  
Granodiorita

Hármoles, corneanas  
(Jp, tal, cac, ves, vol, re, tre, ep)

Rocas híbridas

(Monzodiorita, Adamelita, Diorita)

Hármoles, corneanas

(dp, tal, cac, ves, vol, ro, tre, ep)

add

hed

act

nt

ort, cz, mus, tt

tre, ep, clt  
AECs, CLOs,  
cac, ser

SULs, SFSs, Au  
cz, cac

rt, efn, az, mc

Alteración Supérgena

Efectos tectónicos y erosión

Solidificación y fracturamiento del borde del intrusivo y rocas metamórficas

Asimilación y metamorfismo

Asimilación y metamorfismo

Metasomatismo inicial  
Produce "skarnización" del intrusivo y rocas cercanas al contacto  
Predomina formación del endoskarn

Predomina la formación del exoskarn  
Si, Fe, CO<sub>2</sub> importantes

Soluciones metasomáticas producto de la interacción entre el material aportado por el intrusivo y el aportado por las rocas metamórficas.

Soluciones metasomáticas residuales

INTRUSION DIOCRITICA

INTRUSION MONZODIORITICA

tiempo

EVOLUCION GENETICA DEL YACIMIENTO TISTAYA

nal de la etapa de formación de silicatos hidratados.

Esta característica ubica al yacimiento en el tipo "Uberpragte" de Abdullajev.

- 5.- Las mayores leyes de Cu y en general las más importantes acumulaciones de minerales metálicos se ubican en el exoskarn, principalmente en la zona de Granates (add) - Piroxenos (hed), ver figura 6.
- 6.- En el skarn, los minerales metálicos se presentan fundamentalmente en lentes, nidos y venillas y en menor grado diseminados, a diferencia del pórfido monzonítico donde la diseminación es predominante.
- 7.- Al migrar los fluidos a través del intrusivo monzonítico o a lo largo de sus bordes las condiciones físico-químicas conferían a los elementos transportados una alta movilidad impidiendo la formación de fases estables. Al llegar estos fluidos a la zona de contacto, encontraron un ambiente favorable para extenderse y reaccionar con las rocas calcáreas debido principalmente al intenso fracturamiento predominante y adecuada fugacidad de CO<sub>2</sub>, lo que permitió, una considerable mineralización de la roca encajonante y redujo la posibilidad de que el intrusivo fuera significativamente autometasomatizado y mineralizado. Sin embargo, especial-

mente cerca al contacto, el pórfido monzonítico -  
ha sido hidrotermalmente alterado y mineralizado,  
mostrando las características de un "pórfido de  
cobre" de baja ley.

P A R T E I V

C O N T R I B U C I O N E S D E L E S T U D I O  
M I C R O S C O P I C O A L T R A T A M I E N T O  
M E T A L U R G I C O



# C A P I T U L O V

## ESTUDIOS MICROSCOPICOS APLICADOS AL TRATAMIENTO METALURGICO

### 5.1 GENERALIDADES

Las técnicas de concentración de minerales dependen, principalmente, de las características físicas y químicas - del material tratado; podemos mencionar como ejemplos ilustrativos de éllo, la importancia del clivaje y la fractura de los minerales en la molienda, del peso específico en la separación gravimétrica, del magnetismo en los procesos de separación diamagnética y paramagnética, de las características de su superficie exterior junto con el tipo y tamaño de los intercrecimientos en los procesos de flotación, de la resistividad eléctrica en la recuperación electrostática, de la solubilidad en los tratamientos hidrometalúrgicos, etc. Queda entonces en evidencia, la enorme utilidad y necesidad de realizar estudios mineralógicos como apoyo al diseño, control y optimización de los procesos de concentración de minerales; y el grave error que significa el pretender controlar dichos procesos basándose exclusivamente en los análisis químicos que sólo indican la cantidad en que se hallan los diferentes elementos presentes en la mena - y por lo general únicamente los principales, - información de valor

y utilidad muy relativos si recordamos que no se concen -  
tran elementos sino partículas minerales.

Se debe entender que estos estudios comprenden no sólo a  
los minerales valiosos sino también a las gangas acompa -  
ñantes que, en muchos casos, afectan el proceso de recupe  
ración; así, por ejemplo: el consumo de ácido durante el  
procesamiento químico de menas aumenta sensiblemente por  
la presencia de carbonatos, los concentrados obtenidos  
por flotación se ven frecuentemente contaminados por mine  
rales micáceos, etc.

En la tabla 22 se presenta, resumidamente, las apli  
caciones de los estudios mineralógicos en apoyo al trata  
miento metalúrgico en cada una de las diferentes etapas  
de un proyecto minero. Durante la fase de exploración ,  
mientras se realiza la evaluación del yacimiento, es nece  
sario anticipar los problemas potenciales en el proceso -  
de extracción y beneficio de las menas.

Ahora bien, entre los procesos de concentración para  
metales no ferrosos, la flotación destaca como la técnica  
más extendida e importante; y entre los estudios mineraló  
gicos, la microscopía constituye una técnica fundamental  
y rutinariamente utilizada para el estudio e investiga  
ción de los minerales, proporcionando valiosa información  
de los minerales presentes en la mena, sus principales ca  
racterísticas y sus mutuos intercrecimientos. Si a esto

APLICACIONES DEL ESTUDIO MINERALOGICO AL TRATAMIENTO METALURGICO DE LAS MENAS DURANTE LAS DIFERENTES ETAPAS DE DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO

ETAPAS	LABOR FUNDAMENTAL	ORIENTACION GENERAL DEL ESTUDIO MINERALOGICO	CONTRIBUCIONES DEL ESTUDIO MINERALOGICO
EXPLORACION	Conocimiento y Evaluación del Yacimiento.	Obtención de información general acerca de las características mineralógicas del yacimiento-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composición mineralógica de las menas y gangas.</li> <li>- Distribución mineralógica espacial en el yacimiento.</li> <li>- Principales características físicas de los minerales (clivaje, fractura, etc.).</li> <li>- Granulometría de las menas.</li> <li>- Frecuencia, complejidad y granulometría de los intercrecimientos.</li> <li>- Posibilidades de contenido de elementos valiosos como sub-productos.</li> <li>- Grados y modelos de alteración de las menas.</li> <li>- Características mineralógicas de los residuos a obtenerse.</li> <li>- etc.</li> </ul>
	Pruebas experimentales (Laboratorio y Planta Piloto). Selección y Optimización del método de Tratamiento Mineral. (Diseño de la Planta).	Análisis y búsqueda de soluciones a problemas específicos surgidos en el desarrollo del trabajo metalúrgico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elección de determinados métodos de tratamiento.</li> <li>- Ajustes del grado de molienda.</li> <li>- Optimización de la flotabilidad.</li> <li>- Ajustes en los circuitos establecidos.</li> <li>- etc.</li> </ul>
PRODUCCION	Funcionamiento sostenido y optimizado de la Planta de Beneficiación.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicación de variaciones de leyes en los concentrados y relaves.</li> <li>- Determinación de casos de contaminación del concentrado.</li> <li>- Deficiencias en la liberación del material valioso.</li> <li>- Deficiencias en el método de tratamiento empleado.</li> <li>- etc.</li> </ul>

añadimos la notable coincidencia en rangos de tamaño de partículas minerales en que ambas técnicas-microscopía y flotación - alcanzan sus mayores niveles de eficiencia (figura N° 12), concluiremos que los estudios microscópicos brindan un apoyo indispensable a toda planta de flotación. En nuestro país, la gran mayoría de plantas de beneficio han carecido y carecen de un apoyo mineralógico - adecuado, al cual sólo se acude ocasional y tardíamente , cuando los problemas de recuperación alcanzan niveles desesperados, resultando, en algunos de estos casos, que las conclusiones del estudio y las consecuentes correcciones comprometen incluso las iniciales concepciones de diseño de estas plantas.

Durante el estudio microscópico de las muestras provenientes del yacimiento Tintaya, se realizaron numerosas y continuas observaciones dirigidas a obtener la información básica para el tratamiento posterior de las menas y se desarrollaron trabajos específicos de control microscópico en muestras de ripio sometidas a pruebas para la recuperación de óxidos de cobre por lixiviación.

En este capítulo se exponen únicamente las contribuciones al tratamiento de sulfuros, pues el estudio de la zona de oxidación del yacimiento dejó de tener importancia frente al descubrimiento de importantes volúmenes de mineral primario.

Diagram 1. Diagrammatic view of the fields of application of various Ore Dressing Processes.

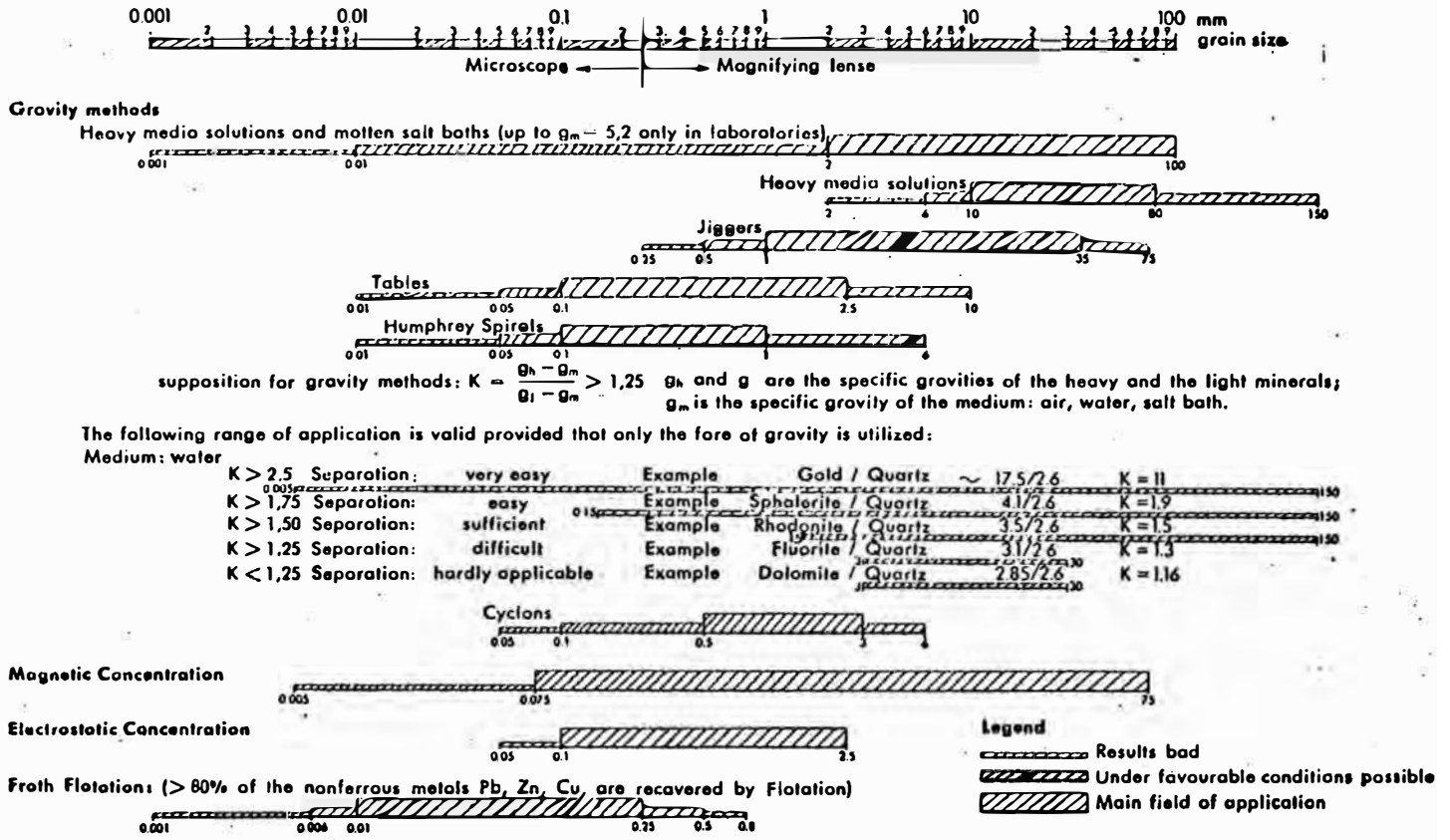


FIGURA 12: Campos de Aplicación de varios procesos de concentración de minerales.

Nótese el rango de tamaño de las partículas minerales en el cual la flotación presenta su principal campo de aplicación (0.01 - 0.25 mm.) y que queda comprendido dentro del campo de acción de los estudios microscópicos.

Tomado de: "The Application of Ore Microscopy in Beneficiation of Ores of the Precious Metals and of the Nonferrous Metals"

G. REHWALD (Editado por H. Freund)

## 5.2 CONTRIBUCIONES AL TRATAMIENTO METALURGICO DE SULFUROS DE TINTAYA

La información básica obtenida en el estudio microscópico y dirigida a apoyar la determinación de los parámetros metalúrgicos para la concentración de sulfuros, abarca los siguientes aspectos :

- Composición mineralógica
- Tipos de intercrecimientos
- Distribución granulométrica de las menas

### 5.2.1 COMPOSICION MINERALOGICA

Menas : En la tabla 23 se consignan las especies minerales que constituyen menas. El yacimiento Tintaya contiene además de los minerales de cobre, principal objetivo del proyecto, algunos minerales subordinados valiosos, cuya distribución y potencial como subproducto deben ser claramente establecidos por los análisis sistemáticos correspondientes.

TABLA 23 : MENAS PRINCIPALES Y SUBORDINADAS EN TINTAYA

Zonas Abundancia	SULFUROS PRIMARIOS	ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO	OXIDOS
MENAS PRINCIPALES	cp , bn	bn, cc, cp, dg, cv	mlq , crc
MENAS SUBORDINADAS	mb , Au , el , ef , SFSSBi	* mb, Au, el, gn, ef, SFSSBi	** Otros minerales oxidados de Cu

\* Estos minerales no se formaron durante el proceso de enriquecimiento secundario, sino constituyen más bien, sulfuros primarios remanentes.

\*\* Estos minerales son muy escasos y tendrán una influencia muy limitada en el proceso metalúrgico, razón por la cual no se realizó una identificación mineralógica detallada.

---

Todas estas menas están íntimamente asociadas a los sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) y se encuentran en granos cuyo tamaño fluctúa alrededor de las 20 micras (fotos 17, 33, 37 y 39), a excepción de la molibdenita (foto 35) que alcanza tamaños mayores.

La flotación de estas menas, salvo la molibdenita, no requiere el establecimiento de ningún parámetro especial, pues por su tamaño y asociación se espera que floten conjuntamente con los sulfuros de cobre. La molibdenita, en cambio, presenta un comportamiento físico-mecánico diferente frente a la molienda, que le permite disgregarse a lo largo de su clivaje basal, liberándose de las especies minerales asociadas, requiriendo, por esto, flotarla independientemente. En Tintaya, la molibdenita no está afectada por los procesos de oxidación que, cuando se presentan, constituyen un factor negativo para el tratamiento -

(\*)

Gangas : En la Tabla 24 puede encontrarse las gangas más importantes identificadas en Tintaya que interven drán en el proceso de flotación. La influencia de las gangas en el proceso metalúrgico depende, además de su - abundancia, de la frecuencia, tipo y granulometría de sus intercrecimientos con las menas.

En el caso del pórfido monzonítico, las plagiocla - sas, ortosa, cuarzo, anfíboles y arcillas no presentan intercrecimientos intrincados o complejos con los sulfuros, por lo cual la liberación de éstos dependerá únicamente de la granulometría de las menas (ver acápite 5.2. 3.). Se espera que las mencionadas gangas serán facil - mente eliminadas en el proceso.

\* Al respecto nos referiremos al texto de Sutulov (1975) que dice: "En el Teniente, por ejemplo, fue una creencia común por varios años que el depósito contenía dos tipos de molibdenita: una muy bien cristalizada, brillante y flotable, y otra mate, amorfa e inflotable. Nunca fue mineralógicamente probado si la observación de esta aparente diferencia fué verdadera. Por otro lado, sólo recientemente se descubrió que la llamada molibdenita "mate" es una molibdenita normal pero cubierta por una capa de oxidación conteniendo powellita ( $\text{CaMoO}_4$ )."



GRUPO DE ROCAS	ROCAS IGNEAS		SKARN	
Abundancia	15%	15%	15%	15%
Zonas				
Zona de Mineralización Primaria	PGLs, ort, cz	ANFs, ARCs, CLOs, ep , MCs, cac, - mt, hm, rt, efn, py, - LCX, ats, - il, PXs, - clz, mc, po,	GRNS, mt* , PXs, cac , ANFs, ep , PGLs.	cz, py, ep, wol, mus,dol, CLOs, hm, - ARCs, ort,tal, efn, rt, sid, il, clz, mc , po, ves, zir, mck, cub, ap
Zona de Alteración Supergénica	PGLs, ort, ARCs, cac, cz	CLOs, MCs , ep, ANFs,hm, mt, rt, efn, py, LCX,ats, il, clz, mc, po	cac, GRNs , mt* . PXs , ANFs, ep , PGLs.	cz, py, ep , ARCs, sid, - CLOs, wol,mus, dol, hm, ort, tal, ys, rt , efn, il, clz, mc, po, vez , zir, mck,cub, ap.

\* La magnetita (mt) es considerada como ganga pues su importancia económica no ha sido aún establecida definitivamente para nuestros yacimientos en skarn.

TABLA 24 GANGAS MAS IMPORTANTES IDENTIFICADAS EN TINTAYA

En el skarn, los sulfuros están predominantemente en "nidos" y venillas relativamente gruesas que no presentan problemas de liberación. Debemos mencionar sin embargo - que los intercrecimientos, felizmente no muy extendidos, de calcopirita emplazada siguiendo algunas "zonas" de los granates (foto 20 y 21), de reconocida resistencia a la molienda dificultará la liberación del sulfuro. Mayor importancia, para la liberación de los sulfuros, tiene los frecuentes y finos intercrecimientos de los sulfuros con los cristales aciculares de piroxenos y anfíboles (foto 19).

## 5.2.2 TIPOS DE INTERCRECIEMIENTOS

Teniendo en cuenta la gran importancia que tienen los diferentes intercrecimientos sobre el grado de liberación que es posible conseguir para una recuperación óptima de las menas, se ha realizado un registro detallado de todos los tipos de intercrecimientos, según la clasificación de modelos básicos de Amstutz (1954, 1960). El resumen de los intercrecimientos entre menas y entre menas y gangas para cada tipo de roca está consignado en las tablas 6 a 21.

## 5.2.3 DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LAS MENAS

En las figuras 11 y 12, se presentan los histogramas de frecuencia granulométrica para la calcopirita y borni-

ta diseminadas en el pórfido monzonítico y en las rocas - metasomáticas (skarn), cuyas mediciones se realizaron en el estudio microscópico de secciones pulidas.

De estos cuadros podemos anotar lo siguiente

- a) Considerando separadamente cada uno de los grupos de rocas, se nota una clara coincidencia en los rangos - granulométricos predominantes de calcopirita y bornita.
- b) Los límites de los rangos predominantes de granulometría en calcopirita y bornita, son menores para el pórfido monzonítico (20 - 100  $\mu$ ) que para las rocas - del skarn (40 - 160  $\mu$ ). El mismo fenómeno se observa para las modas mayores de cada grupo de roca : 40 - 50  $\mu$  en el pórfido monzonítico y 80 - 100  $\mu$  para el skarn.
- c) Para el caso del pórfido monzonítico notamos que se - pueden alcanzar valores significativos de liberación de calcopirita y bornita, por debajo de la malla 200 (A.S.T.M.).
- d) Para el caso de rocas metasomáticas, los valores significativos de liberación de calcopirita y bornita se alcanzarían por debajo de la malla 120 (A.S.T.M.).

HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA GRANULOMETRICA  
 para  
 Sulfuros diseminados en el Pórfido marzonitico  
 TINTAYA

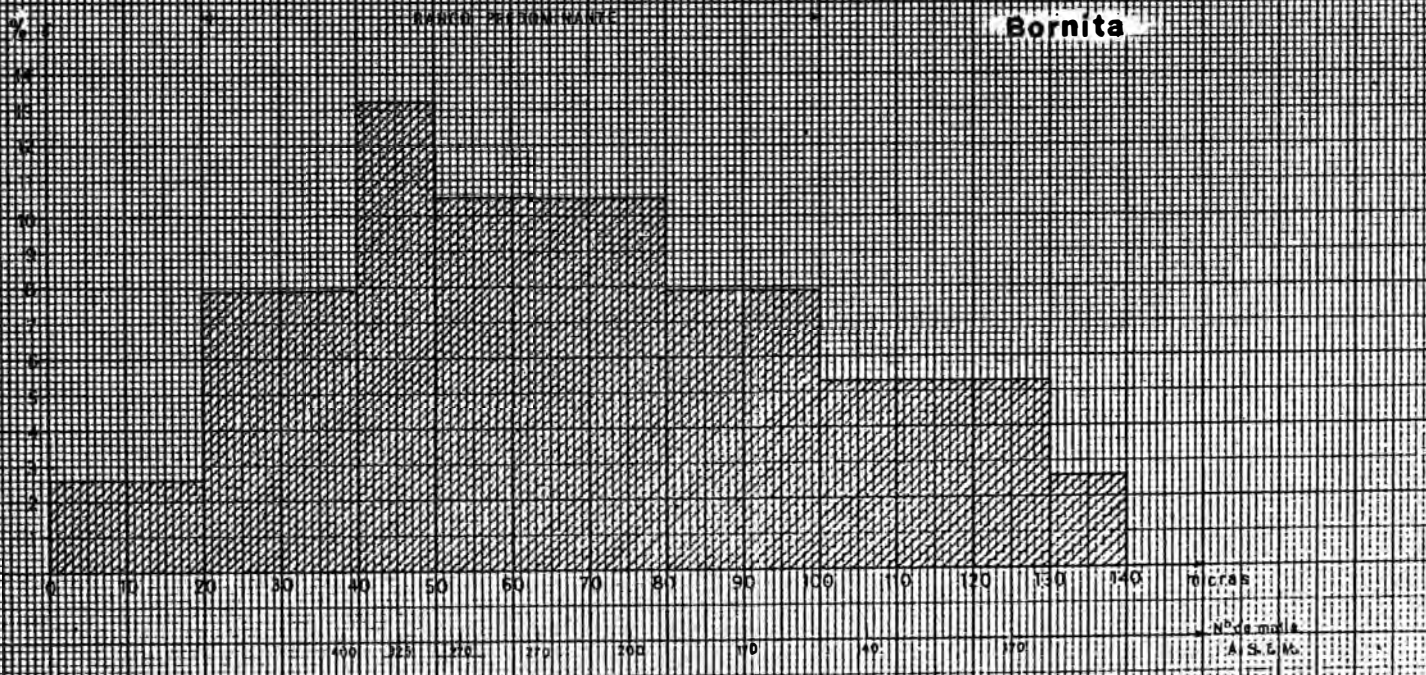
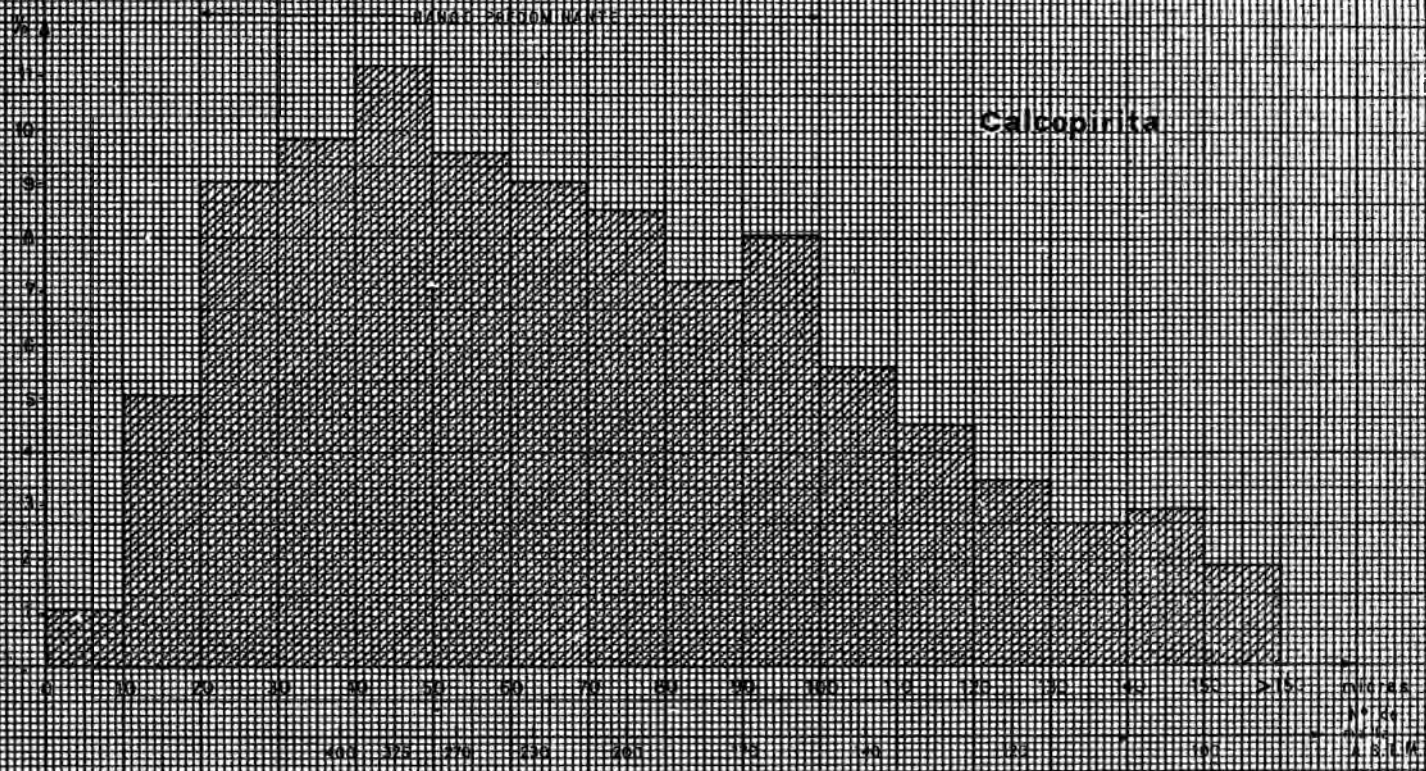


Figura 13

DE FRECUENCIA GRANULOMETRICA  
 Sulfuros diseminados en rocas metamorficas  
 TINYA

RANGO PREDOMINANTE

Calcopirita

Bornita

RANGO PREDOMINANTE

RANGO PREDOMINANTE

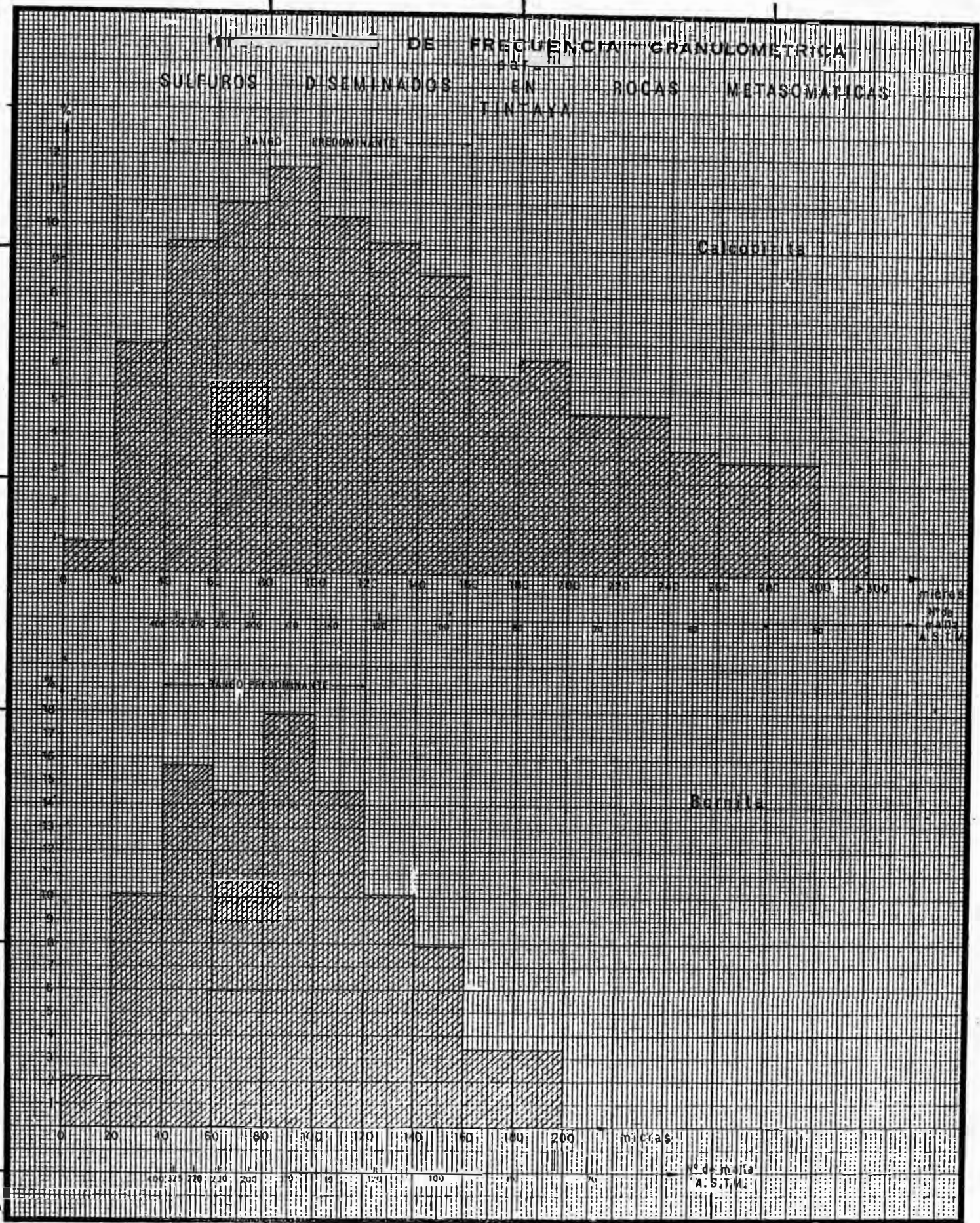


Figura 14

P A R T E   V

C O N S I D E R A C I O N E S   F I N A L E S

## C A P I T U L O VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 REFERIDAS A LAS CARACTERISTICAS GEOLOGICAS, MINERALOGICAS Y METALOGENETICAS DEL YACIMIENTO

- 1.- Tintaya es un yacimiento cuprífero en skarn, generado por rocas hipabisales monzoníticas al contacto con una secuencia de rocas calcáreas, correlacionable con la Formación Ferrobamba del Cretáceo Medio, la misma que constituye colgajos o bloques remanentes dentro del intrusivo.
- 2.- La intrusión tuvo un carácter "pasivo", siendo predominantes los fenómenos de "stopping", asimilación y reemplazamiento de las rocas encajonantes.
- 3.- La evolución genética del yacimiento guarda concordancia con los principios enunciados por la teoría de difusión-infiltración de Korzhinskii y esta caracterizada por los siguientes estadios (figura 10):
  - a) Intrusión monzonítica con la consiguiente asimilación, metamorfismo, cambio de volumen y fracturamiento de las rocas encajonantes.
  - b) Solidificación parcial del intrusivo y extensión del fracturamiento.

- c) Skarnización, con importante adición de Fe y Si por parte del intrusivo y la formación de los minerales silicatados anhidros en el endo y exoskarn.
- d) Estadio hidrotermal tardío, que comprende las numerosas alteraciones retrógradas que afectaron a los silicatos previamente formados y la deposición de la mineralización metálica.

4.- La secuencia de deposición de los minerales metálicos presenta el mismo patrón, tanto en el pórfido monzonítico como en el skarn, distinguiéndose las siguientes etapas :

- a) En el proceso de diferenciación magmática, se formó ilmenita, esfena, rutilo, pirrotita y parte de la magnetita-hematita, que se encuentran distribuidos en las rocas ígneas y constituyen minerales remanentes en el endoskarn.
- b) Durante la skarnización la magnetita conformó apreciables acumulaciones en el exoskarn.
- c) En el estadio hidrotermal tardío se depositaron - primero los sulfuros de Fe y Cu (pirita, calcopirita, bornita), seguidos de cantidades subordinadas de otros sulfuros y sulfosales (esfalerita, galena, molibdenita, sulfosales de Bi) e incluso oro y "electrum". Esta etapa culminó con los



minerales hidrotermales de menor temperatura de formación (hematita, rutilo, esfena, marcasita).

- 5.- La deposición de menas se produjo en un estadio tardío, por la acción de las soluciones hidrotermales correspondientes a la fase de "cuarzo-carbonatos-sulfuros" de Korzhinskii, traslapándose con la parte final de la etapa de formación de silicatos hidratados. El yacimiento corresponde al tipo de "Mineralización Suprapuesta" de Abdullajev.
- 6.- Las mayores acumulaciones de menas están relacionadas a la zona de Granates (add) - Piroxenos (hed) del exoskarn (figura 6).
- 7.- Las condiciones físico-químicas y el tectonismo, favorecieron la extensión del proceso metasomático sobre las rocas encajonantes, restringiendo y debilitando el autometasomatismo del intrusivo monzonítico, pero desarrollando en su borde exterior, principalmente, una alteración-mineralización característica de un "pórfido de cobre" de baja ley promedio.
- 8.- La presencia, en pequeñas cantidades, de molibdenita, oro nativo, "electrum" y sulfosales de Bi, asociados a calcopirita y/o bornita, hace conveniente realizar análisis por Mo, Au, Ag, Bi y Re en las muestras de los taladros donde se ha reportado estos minerales.

fin de conocer exactamente su distribución y potencial.

- 9.- Se recomienda al personal técnico que trabaje en el beneficio mineral, poner especial atención en las características mineralógicas de las menas presentadas en el capítulo 5 y en los cuadros de minerales metálicos y sus intercrecimiento (tablas 6 a 21).

## 6.2 REFERIDAS A LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO MICROSCOPICO EN EL DESARROLLO DE UN YACIMIENTO MINERAL

- 10.- Los análisis mineralógicos en general, proporcionan invaluable información acerca de las características reales de los depósitos minerales, permitiendo optimizar su evaluación y lográndose consecuentemente un mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales no renovables. Estos estudios constituyen una herramienta tecnológica que debe ser utilizada durante la exploración y todas las demás etapas de desarrollo de un proyecto minero, mediante una adecuada concepción de sus particularidades y posibilidades de aplicación.

- 11.- La correlación de la información geológica de campo con la obtenida en los trabajos de laboratorio, contribuye a diseñar modelos genéticos con mayor sustento científico y por lo tanto más cercanos a las ca-

racterísticas reales del yacimiento. Esta es una importante experiencia obtenida durante la exploración del yacimiento Tintaya y constituye el primer y eficaz ensayo realizado en el país bajo esta concepción.

12.- Es tarea nuestra elevar el nivel científico de estas especialidades en nuestro país y propiciar una amplia difusión de los beneficios que brinda su utilización sistemática.

\*\*\*\*\*

## BIBLIOGRAFIA

- AUDEBAN, E. - PECHO V. - VARGAS L. (1973) : Geología Cuadrángulos de Sicuani y Ocongate.  
Bol. Serv. Geol. Min. del Perú, N° 25.
- BELLIDO E. (1969) : Sinopsis de la Geología del Perú.  
Bol. Serv. Geol. Min. del Perú N° 22, 57 p.
- BURT, D. (1972) : Mineralogy and Geochemistry of Ca-Fe-Si Skarn Deposits.  
Tesis de Grado Ph.D., Harvard University, Cambridge, Mass. EE.UU.
- BURT, D - PETERSEN, U. (1974) : Características generales de yacimientos en skarn.  
Bol. Soc. Geol. del Perú, Tomo XLIV, p. 42-79.
- DEER, W. A - HOWIE, R.A. - ZUSSMAN, J. (1967) : An introduction to the rock-forming minerals.  
John Wiley and Sons Inc., New York, 5 t.
- ERNST, W. G. (1968) : Amphiboles.  
Springer - Verlag - New York Inc.
- FREUND, H. (Editor), (1966) Applied Ore Microscopy ,  
Theory and Technique.  
The Mac Millan Co., New York and London.
- JENKS, W. F. Geology of the Arequipa Quadrangle.

Inst. Geol. del Perú, Bol. N° 9.

- JENKS, W F (1951) : Reporte de viaje a Ferrobamba  
No publicado.
- KEYES, C R (1909) : Garnet Contact deposits of copper  
and the depths at which they are formed.  
Econ. Geol. v. 4, p. 365 - 372.
- KIHIEN, A. (1975) : Alteración y su relación con la mi-  
neralización el pórfido de cobre de Cerro Ver-  
de.  
Bol. Soc. Geol. del Perú, t-46, p. 103-126.
- KORZHINSKII, D. S. (1970) : Theory of metasomatic zo-  
ning. Translated by Jean Agrell.  
Clarendon Press, Oxford, 162 p.
- LINDGREN, W. (1912) : The nature of replacement.  
Econ. Geol. v. 7, p. 521 - 535.  
(1922) : A suggestion for the terminology of  
certain mineral deposits.  
Econ. Geol., v. 17, p. 292-294.
- LOWELL D. - GUILBERT J. (1970) : Lateral and vertical -  
Alteration - Mineralization zoning in Porphyry  
Ore Deposits.  
Econ. Geol., v. 65, p. 373-408.
- MIRANDA C. (1977) : Estudio preliminar del metamorfismo

y metasomatismo de rocas mesozoicas producidas por plutones sincrónicos del Perú.

Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

MIRANDA C. - CARDOZO M. (1976) : Petrología de Tintaya.  
XIII Conv. de Ing. de Minas.

PARK, CH. - MAC DIARMID, R. (1970) : Ore Deposits.  
W. H. Freeman and Co., Sn. Francisco, 522 p.

PETERSEN, U - GARCIA Y GARCIA M. (1959) : Geología del yacimiento de Antamina, Ancash.  
V. Conv. de Ing. de Minas del Perú, Secc. Geol. y Yac., Anales, p. 12-24.

PETERSEN U. (1965) : Regional Geology and ore deposits of central Perú.  
Econ. Geol., v. 60, p. 407-476.

PETERSEN U. (1958) : Estructura y levantamiento de los Andes del Perú, Bolivia, Chile y partes adyacentes de Argentina.  
Bol. Soc. Geol. del Perú, t. 33, p. 145-218.  
(1958) : Plutones y mineralización de los Andes del Perú, Bolivia y Chile.  
Bol. Soc. Geol. del Perú, t. 33, p. 219-339.

PITCHER, W. S. (1972) : The Coastal Batholith of Perú

Some Structural Aspects.

XXIV Int. Geol. Congr., Sect. 3, p. 156-163.

PITCHER, W. (1974) : The Mesozoic and Cenozoic Batholiths of Perú.

Pacific Geol. N° 8, p. 51-62, Japan.

RAMDOHR, P. (1969) : The Ore Minerals and their Intergrowths.

Transl. 3a. Ed., Pergamon Press, Germany, 1174 p.

SCHOUTEN C. (1962) Determination Tables for Ore Microscopy.

Elsevier Publishing Co., Netherlands, 242 p.

SCHWARTZ, G. M. (1931) Intergrowths of bornite and chalcocopyrite.

Econ. Geol., 26, p. 186-201.

(1938) : Review of the application of microscopic study to metallurgical problems.

Econ. Geol., vol. 33, p. 440-453.

(1932) : Microscopic criteria of hypogene and supergene origin of ore minerals.

Econ. Geol. v. 27, p. 533-553.

(1935) : Relations of chalcocite-stromeyerite-argentite.

Econ. Geol. v. 30, p. 128-146.

(1939) : Significance of bornite-chalcocite micro

textures.

Econ. Geol. v. 34, p. 399-418.

(1951) : Classification and definitions of textures and mineral structures in ores.

Econ. Geol. v. 46, p. 578-591.

SILLITOE R. (1973) : The tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits.

Econ. Geol., v. 68, p. 799-815.

SMIRNOV, V.I. (1970) : Geologic der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 563 p.

SUTULOV, Alexander (1974) Cooper Porphyries

The University of Utah Printing Service Salt Lake City, Utah 1974, 200 p.

TERRONES, A.J. (1958) : Structural Control of Contact Metasomatic Deposits in the Peruvian Cordillera.

Min. Eng. p. 365-372.

TITLEY, S.R. - HICKS, C.L. (Editores), (1966) : Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America.

Univ. of Arizona Press, Tucson, 287 p.

TURNER, F.J. - VERHOOGEN, J. (1963) : Petrología ígnea y



metamórfica.

Ed. Omega

UYTENBOGAARDT, W. - BURKE E. A. J. (1971) : Tables for  
microscopic identification of Ore Minerals.  
2da. Ed., Elsevier Publishing Co. Notherlands  
430 p.

-----

I

A N E X O

ABREVIATURAS PARA LOS GRUPOS Y MINERALES PRESENTES EN TIN  
TAYA

ABREVIATURAS PARA LOS GRUPOS MINERALES

ANFIBOLES	ANF <sub>S</sub>
ARCILLAS	ARC <sub>S</sub>
CARBONATOS	CB <sub>S</sub>
CLORITAS	CLO <sub>S</sub>
COBRES GRISES	CGR <sub>S</sub>
ELEMENTOS NATIVOS	ELN <sub>S</sub>
FELDESPATOS	FP <sub>S</sub>
FELDESPATOS POTASICOS	FPK <sub>S</sub>
GANGAS	GG <sub>S</sub>
GRANATES	GRN <sub>S</sub>
HIDROXIDOS	HOX <sub>S</sub>
LEUCOXENO	LCX
LIMONITAS	LIM <sub>S</sub>
MICAS	MC <sub>S</sub>
OPACOS	OP <sub>S</sub>
OXIDOS	OX <sub>S</sub>
PIROXENOS	PX <sub>S</sub>
PLAGIOCLASAS	PGL <sub>S</sub>
SULFATOS	SPT <sub>S</sub>
SULFOSALES	SFS <sub>S</sub>
SULFUROS PRIMARIOS	SUL <sub>S</sub> - Pr
SULFUROS SECUNDARIOS	SUL <sub>S</sub> - Sec

II

ABREVIATURA PARA LOS MINERALES

<u>NOMBRE (ESPECIE)</u>	<u>FORMULA QUIMICA</u>	<u>ABREVIATURA</u>
"A"		
ACTINOLITA	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	act
ALBITA	$\text{NaAlSi}_3\text{O}$	ab
ANATASA	$\text{TiO}_2$	ats
ANDESINA	$\text{An}_{30-60}$	and
ANDRADITA	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	add
ANORTITA	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	an
APATITA	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$	ap
ATACAMITA	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	atc
AUGITA	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	aug
"B"		
BARITINA	$\text{SO}_4\text{Ba}$	bar
BIOTITA	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	bt
BORNITA	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	bn
BOURNONITA	$\text{PbCuSbS}_3$	bnn
BYTOWNITA	$\text{An}_{70-90}$	by
"C"		
CALCANTITA	$\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	cct
CALCEDONIA	$\text{SiO}_2$	ccd
CALCITA	$\text{Ca}_3\text{Ca}$	cac
CALCOPIRITA	$\text{CuFeS}_2$	cp
CALCOSITA	$\text{Cu}_2\text{S}$	cc

III

CAOLINITA	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	kao
CLINOCOLORO	$(Mg, Fe^{+2}, Al)_6(Si, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	clc
CLINOZOISITA	$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$	clz
COBRE NATIVO	Cu	Cu
COVELITA	SCu	cv
CRISOCOLA	$Cu_2H_2Si_2O_5(OH)_4$	crc
CUARZO	$SiO_2$	cz
CUBANITA	$CuFe_2S_3$	cb
CUPRITA	$Cu_2O$	cup
	"D"	
DIGENITA	$Cu_9S_5$	dg
DIOPSIDO	$CaMgSi_2O_6$	dp
DOLOMITA	$CaMg(CO_3)_2$	dol
	"E"	
ELECTRUM	(Au, Ag)	el
EPIDOTA	$Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	ep
ESFALERITA	(Zn, Fe)S	ef
ESFENA	$CaTiSiO_5$	efn
	"G"	
GALENA	PbS	gn
GLAUCONITA	$KMg(Fe, Al)(SiO_3)_6 \cdot 3H_2O$	glc
GOETHITA	$\alpha - FeO \cdot OH$	goe
GROSULARIA	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	grs

IV

	"H"	
HEDENBERGITA	$\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$	hed
HEMATITA	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	hm
HORNBLENDA	$(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Al})_5(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	hor
	"I"	
ILMENITA	$\text{FeTiO}_3$	il
	"J"	
JAROSITA	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	jar
	"L"	
LABRADORITA	$\text{An}_{50-70}$	lab
	"M"	
MACKINEAWITA	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	mck
MAGNETITA	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$	mt
MALAQUITA	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	mlq
MARCASITA	$\text{FeS}_2$ (aprox)	mc
MOLIBDENITA	$\text{MoS}_2$	mb
MONTMORILLONITA	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	mmt
MUSCOVITA	$\text{KA1}_2(\text{AlSi}_3)_{10}(\text{OH})_2$	mus
	"O"	
OLIGOCLASA	$\text{An}_{10-30}$	olg
OPALO	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	opl

## V

ORO NATIVO	Au	Au
ORTOCLASA	$KAlSi_3O_8$	ort
	"p"	
PENNINA	$(Mg, Fe, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	pnn
PIGEONITA	$(Mg, Fe, Ca)(Mg, Fe)Si_2O_6$	pig
PIRITA	$FeS_2$	py
PIROLUSITA	$MnO_2$	prl
PIRROTITA	$Fe_{1-x}S$	po
PROCLORITA	$(Mg, Fe^{+2}, Al)_6(Si_{2-5}, Al_{1-5})O_{10}(OH)_8$	pcl
	"R"	
RUTILO	$TiO_2$	rt
	"S"	
SERICITA	(muscovita muy fina)	ser
SIDERITA	$FeCO_3$	sid
	"T"	
TALCO	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	tal
TENNANTITA	$(Cu, Fe)_{12}As_4S_{13}$	tnn
TENORITA	$CuO$	ten
TETRAEDRITA	$(Cu, Fe)_{12}Sb_4Si_2$	td
TREMOLITA	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	tre
TURMALINA	$(Na, Ca)(Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3}, Al, Li)_3$ $Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$	tur

VI

"γ"

VESUBIANITA  $\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$  vsb

"κ"

WOLLASTONITA  $\text{SiO}_3\text{Ca}$  wol

"γ"

YESO  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ys

"z"

ZIRCON  $\text{SiO}_4\text{Zr}$  zir

-----