DEPARTAMENTO DE MINAS Y PETRÓLEO
DEL MINISTERIO DE FOMENTO

11(430-13)pZ.

Observaciones petrográficas y mineralógicas en el distrito minero de Pichidegua

por

JORGE MUÑOZ CRISTI

IMPRENTA NASCIMENTO
SANTIAGO 1936 CHILE

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

DEPARTAMENTO DE MINAS Y PETRÓLEO
DEL MINISTERIO DE FOMENTO

Observaciones petrográficas y mineralógicas en el distrito minero de Pichidegua

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCIÓN CONTROL

por

JORGE MUÑOZ CRISTI

IMPRENTA NASCIMENTO
SANTIAGO 1936 CHILE

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

N.º 1608

Impreso en los talleres de
Editorial Nascimento
— Ahumada 125 —
Santiago de Chile. 1936.

SUMARIO:

A.—Introducción.
B.—Situación.
C.—Formación geológica:

a) Generalidades;
b) Petrografía.
α La Granodiorita,
β Inclusiones básicas,
γ Filones de minette.
c) Petrología.

D.—Las vetas auríferas:

a) Veta Litre;
b) Veta Dos Amigos;
c) Mineralización;
d) Distribución de los clavos mineralizados; y
e) Origen del yacimiento.

INTRODUCCION

Las vetas auríferas de Pichidegua tienen una gran importancia geológica por tratarse de yacimientos auríferos con minerales sulfurados, en los cuales no se ve la gran variabilidad de leyes como en la mayoría de los depósitos piritosos que se explotan en el país. Por este motivo, emprendimos una investigación detallada de las rocas en que arman las vetas y de su relleno, lo mismo que de las alteraciones de las rocas encajadoras. El resultado de esta investigación demostró que la arsenopirita, a la cual está ligado el oro, pertenece a las primeras etapas de mineralización, o sea cuando las temperaturas eran mayores y los minerales depositados subsecuentemente son pobres en este metal. Esto último en realidad no se ha comprobado directamente, pero todos los hechos que se conocen justifican tal suposición. Tal resultado está completamente en desacuerdo con la opinión tan difundida de que en Chile—las vetas de oro disminuyen sus leyes en profundidad.—Lo observado en Pichidegua demuestra que no es posible adelantar ninguna opinión si no se conocen perfectamente los procesos a que debe su origen el yacimiento, pues habrá casos en que las leyes disminuyan y otros en que ellas aumenten.

Muy interesante habría sido estudiar la marcha de la diferenciación magmática en un área relativamente grande para establecer la relación que existe entre ella y los procesos metalogénicos, pero desgraciadamente esto habría demandado un tiempo mucho mayor del que podíamos dedicar a este estudio.

El carácter bastante alcálico de la granodiorita en que arman las vetas nos parece que no corresponde a la composición normal del macizo y debió producirse por lo tanto una diferenciación bastante avanzada por efecto de un magma residual de carácter pegmatítico llevado posiblemente por agentes gaseosos.

La dilucidación de este problema tiene gran importancia práctica, porque ello podría dar un criterio para juzgar depósitos minerales que se encuentren en el mismo batolito.

SITUACION

El Mineral de Pichidegua está ubicado en los cerros que quedan al S. del pueblo de este nombre y que bordean por este mismo lado el valle del río Cachapoal, frente a la Estación Codao, del ramal de Pelequén a Las Cabras. Dista de Codao 12kms. por camino carretero.

Las minas principales que están abiertas son: Litre, Aída, Socavón Pichidegua y Dos Amigos, las que aparecen en el Plano N.° 1.

Fisiográficamente la región no presenta ningún fenómeno de importancia y consiste sólo en una planicie a la altura de 200 mts. sobre el mar, sobre la cual está situado el pueblo de Pichidegua, que corresponde a una terraza de denudación fluvial, y los cerros mencionados con pendientes relativamente abruptas, que se elevan hasta 700 mts. sobre el nivel del mar, en la división de aguas con el valle Almahue. Todas las minas quedan en la vertiente que mira al Cachapoal.

FORMACION GEOLOGICA

GENERALIDADES

Los cerros en que aparecen las vetas auríferas de Pichidegua están constituídos en su totalidad por granodioritas con diferentes grados de diferenciación. Esta granodiorita tiene una gran extensión a lo largo del valle del río Cachapoal. Su contacto oriental con la Formación Porfirítica aparece cerca de San Vicente de Tagua Tagua. Los otros límites no los conocemos, pero deben estar bastante alejados de Pichidegua.

Este macizo eruptivo probablemente pertenezca a la intrusión que tuvo lugar en el Cretáceo Superior y que predomina en la parte central de la Cordillera de la Costa.

PETROGRAFÍA

La granodiorita mencionada no tiene un carácter muy homogéneo y presenta diversas facies originadas por la mayor o menor influencia que han tenido en ella los

magmas residuales de carácter pegmatítico (ortoclasa y cuarzo). Además, participan en este conjunto petrográfico algunas inclusiones más básicas y ciertos filones lamprofíricos.

La granodiorita.—A esto grupo pertenecen casi todas las muestras estudiadas en la vecindad de las vetas, pero sus grado de alcalinidad es diferente. Indudablemente se han originado por la acción de los magmas residuales sobre una diorita o granodiorita normal. Son rocas de color blanco rosáceo, grano medio. En la muestra manual, pueden distinguirse plagioclasa de color blanco, ortoclasa rosácea, cuarzo gris, anfíbola negra verdosa y biotita negra. Al microscopio se ve un agregado de cristales de diferentes tamaños, hipidiomorfos, con los mismos minerales ya mencionados, a los cuales es necesario agregar apatita y zircón. (Fig. 1. Lám 1).

La plagioclasa aparece en dos formas diferentes. Hay algunos cristales largos de 2,5×0,5 mm. maclados según la ley de Albita y Carlsbad, cuya composición corresponde a la andesina $Ab_6\ An_4$ y que encierran otros más pequeños, con igual orientación, de la composición $Ab_7\ An_3$. También la mayoría de los cristales dispersos corresponden a esta especie y casi siempre tienen estructura zonar llegando con las periferias a tener la composición $Ab_8\ An_2$. Por estos caracteres, se puede deducir que los plagioclasas más antiguos son los $Ab_6\ An_4$. Casi todos los plagioclasas más ácidos son de menor tamaño, siendo la dimensión más frecuente 0,5 mm. En ciertos casos la plagioclasa, en contacto con la ortoclasa, desarrolla un borde más ácido, lo que puede notarse por la diferente orientación óptica con el resto del cristal y por su menor refringencia. No se podría suponer que esta transformación sea debida simplemente a una estructura zonar, porque la transición se produce bruscamente y no gradualmente como es el caso cuando se producen desarrollos zonares. Fuera de las dos generaciones de plagioclasas mencionadas, hay que citar todavía una tercera, de un plagioclasa bastante ácida, cuya composición no se ha podido determinar con exactitud, porque no presenta maclas y el único indicio para considerarlo como tal es una estructura zonar poco acentuada y su birrefringencia casi igual al bálsamo de Canadá. De modo que es difícil distinguirlo de la ortoclasa y probablemente contenga la molécula de ortoclasa en proporción relativamente grande. Casi siempre cerca de sus bordes muestra myrmekita por inclusiones de cuarzo, en disposición cuneiforme, los que encierran también pequeñas partículas de un feldespato que probablemente sea ortoclasa. Por estos caracteres, se podría suponer que del último residuo magmático se depositó un plagioclasa rico en albita y ortoclasa, casi simultáneamente con cuarzo y ortoclasa.

La ortoclasa aparece siempre en individuos relativamente grandes, alrededor de 2 mm., sin contornos idiomorfos por lo general, pues cuando limita con la plagioclasa ésta conserva sus caras, cuando limita con el cuarzo, este último lo penetra en forma de bahías; pero raras veces suelen encontrarse sus contornos propios contra el cuarzo. Casi siempre la ortoclasa abarca grandes zonas y encierra poikilíticamente a la plagioclasa y minerales ferromagnesianos. Esta característica se debe posiblemente a la propiedad del ortoclasa de formar sólo núcleos aislados de cristalización (1). En la superficie se presenta algo turbio por la formación de caolín y tal vez una pequeña

(1) B. Auskulund.—Petrological Studies in the Neighbourhood of Stavsjo at Kolmarden. Ars bok 17, 1923, 73.

MINERAL DE PICHIDEGUA

DTO. SAN VICENTE - PROV. ~~COLCHAGUA~~ O'Higgins.

Ampliación de la Plancheta Pichidegua del Inst. Geografico Militar

cantidad de óxidos de fierro en partículas sub-microscópicas que le comunican el color rosáceo que se puede observar a la simple vista. En la mayoría de los casos muestra la macla de Carlsbad.

Por las relaciones mutuas entre la plagioclasa y la ortoclasa no cabe ninguna duda de la mayor antigüedad de la primera.

El cuarzo abarca grandes playas, hasta de 2 mm. de diámetro, pero en tales casos no aparece sólo sino encerrando a los otros minerales, pero conservando la misma orientación. Cuando está puro los individuos tienen sólo 0,5 mm. Casi nunca presenta contornos idiomorfos, sino que penetra en forma de bahías en los otros minerales.

Las relaciones paragenéticas entre el cuarzo y la ortoclasa no aparecen claras, porque ambos tienen contornos bien delimitados y no se observan guías que penetren en uno u otro mineral. En ciertos casos hay inclusiones de cuarzo dentro de la ortoclasa, las que probablemente provengan de reemplazos por procesos deutéricos y en tal caso quedaría comprobado el orden de precedencia del ortoclasa respecto al cuarzo. Pero también podría ocurrir que este cuarzo corresponda a la fase hidrotermal que produjo las alteraciones en la vecindad de las vetas. Nos inclinamos a creer que el ortoclasa y cuarzo se hayan formado simultáneamente o precediendo ligeramente el primero. Para hacer esta suposición nos basamos en el hecho de que hablaremos más adelante, referente a la inyección de venillas pegmatíticas en las inclusiones. Esto sugiere la presencia de un magma residual de carácter pegmatítico después que toda la masa anterior de plagioclasas se había solifidificado. También podríamos citar el hecho que en casos raros aparece myrmekita de ortoclasa y cuarzo, la que posiblemente podría deberse a un reemplazo del ortoclasa por el cuarzo, aunque algunos autores consideran la myrmekita como un producto de depositación simultánea de ambos minerales bajo condiciones eotécticas.

La anfíbola se encuentra en los espacios entre los plagioclasas, conservando éstos sus contornos idiomorfos, pero también aparece en el interior de ellos, de modo que no es claro el orden de precedencia. A veces presenta maclas según (100). El tamaño de los cristales es alrededor de 0,8 mm. En las secciones de la zona vertical, tiene un aspecto algo fibroso y en las transversales muestra los clivajes característicos a 120°. Las constantes ópticas determinadas con la mesa Fedoroff son las siguientes:

$$2V = -76°$$
$$Z - X = 0.021$$
$$Z \wedge c = 22°$$

El valor de $2V$ no se determinó directamente. pues sólo uno de los ejes ópticos podía llevarse a coincidir con el eje del microscopio y fué necesario deducirlo del diagrama de las secciones principales.

El pleocroísmo es:

X = verde amarillento
Y = verde oliva
Z = verde pasto obscuro.

y la absorción:

$$Z > Y > X$$

Según estas características es una hornblenda cercana a pargasita.

Dentro de la hornblenda se suelen encontrar manchitas de clorita

La anfíbola por alteración se ha transformado muchas veces a clorita y epidota que se presentan juntas en un mismo individuo. Esta clorita aparece obscura entre nicoles. cruzados. En otros casos se ha formado una clorita pleocroica entre verde obscuro y café amarillento que presenta colores anormales de polarización que corresponde a peninita. Un mineral igual aparece con frecuencia en crecimiento paralelo con la biotita y aun encerrándola por algún extremo. (Fig. 2. Lam. I). Por este motivo, nos inclinamos a creer que la biotita procede de la anfíbola, siendo la etapa intermedia la clorita pleocroica de colores anormales de polarización.

Dentro de la anfíbola es frecuente encontrar granitos de zircón con aureolas pleocroíticas y otros de apatita.

La biotita existe casi en igual cantidad que la anfíbola en individuos alargados hasta de 2 mm. Tiene fuerte pleocroísmo entre café amarillento y café obscuro casi negro, y está casi siempre en la vecindad del cuarzo o dentro de éste, por lo que parece que en su formación hubieran intervenido los últimos fenómenos magmáticos que introdujeron los feldespatos alcalinos y el cuarzo. Al producirse la transformación a biotita se ha segregado algo de magnetita.

En algunos cortes aparecen pequeños granos de una piroxena monoclínica, que por su pequeño ángulo de los ejes ópticos correspondería a Pigeonita. Ella está intersticial entre los feldespatos, pero parece probable un origen anterior a la plagioclasa. Su presencia es bastante rara y no se puede establecer ninguna relación genética con la anfíbola. Este mineral en gran parte se ha transformado a una clorita verde sin pleocroísmo y aun cuando está fresca se puede observar en su interior abundante magnetita que parece haberse segregado de ella, y algunos granos de apatita.

Fuera de la alteración a clorita, ya mencionada, que muestran los minerales ferromagnesianos, hay también otro tipo de alteración que ha afectado principalmente a los plagioclasas y a veces también en pequeño grado al ortoclasa y al cuarzo.

Este tipo de alteración consiste en la formación dentro de los plagioclasas de agujitas de epidota, actinolita, calcita, sericita y a veces también cuarzo, aunque esta última probablemente no corresponda a la misma etapa de alteración que ha tenido por resultado la formación de minerales ricos en cal. Esta transformación a productos cálcicos probablemente produjo una liberación de albita que tal vez pudo ser la causal de la formación de periferias más alcalinas en el borde de los plagioclasas.

En algunos individuos de cuarzo se ve una gran cantidad de agujitas de actinolita. Igual alteración puede observarse en algunos individuos de ortoclasa. Participan también en este agregado de alteración algo de sericita, clorita débilmente pleocroica y bastita.

Esta alteración que condujo a la formación de minerales ferromagnesianos parece que no tiene ninguna relación con la mineralización de las vetas, pues ella es igual, tanto en distancias alejadas de las vetas como junto a ellas.

Un análisis de la muestra X-8, obtenida en las cercanías del socavón Pichidegua, hecho por el señor Jorge Westman, dió el siguiente resultado:

Constituyente	%	proporción molecular
SiO_2	64.20	1.070
Al_2O_3	19.83	0.194
Fe_2O_3	3.52	0.022
Fe O	1.65	0.023
Mg O	0.36	0.009
Ca O	3.75	0.067
Na_2O	3.13	0.050
K_2O	3.60	0.038

Calculando las normas según el sistema de los petrógrafos norteamericanos (C. I. P. W.) y los parámetros de Niggli obtenemos:

(cuarzo)	23.9%	si	248
(ortoclasa)	21.1%	al	45
(albita)	26.2%	fm	19
(anortita)	18.6%	c	16
		al k	20
(corindon)	4.0%	k	0.43
(hiperstena)	1.3%	mg	0.01
(magnetita)	5.1%	c/fm	0.83
		qz	67.7

Con el análisis micrométrico no se pueden conseguir resultados satisfactorios porque es difícil en muchos casos distinguir la ortoclasa de la plagioclasa. Englobando los feldespatos hemos obtenido el siguiente resultado:

Feldespato	70%
Cuarzo	19%
Anfíbola	5%
Clorita	4%
Biotita	2%

Comparando este análisis con la norma puede deducirse que el corindon, la hiperstena y magnetita forman la anfíbola, clorita y biotita. La suma de cuarzo y feldespato coinciden en el modo y norma, de modo que las diferencias que se presentan en cada uno de estos minerales por separado pueden atribuirse a las pequeñas cantidades de cuarzo que están incluídas en los feldespatos.

Considerando la norma esta roca corresponde según la clasificación de Shand (1) a una *Granodiorita*.

En la clasificación de Niggli (2) cae en el grupo de magmas Granodioríticos, como puede verse a continuación:

---

(1) SHANDI.—Igneous Rocks.—London, 1927.

(2) NIGGLI.—Gesteins und Mineralprovinzen.—Berlín, 1923.

	Si	al	fm	c	alk	k	mg	Corte
Magma Granodiorítico	270	39	23	17	21	0,43	0,40	5
Roca X-8	249	45	19	16	20	0,43	0,10	5

El valor de mg discrepa bastante del correspondiente al magma tipo; pero estimamos que ello no es razón suficiente para colocar X-8 en otro grupo.

Un análisis de la muestra X-5, tomada en el Nivel 3 de la veta Litre, hecho por el señor Westman, dió el siguiente resultado:

Constituyente	%	Proporción molecular
SiO_2	72.20	1.203
Al_2O_3	15.04	0.147
Fe_2O_3	2.20	0.014
FeO	1.76	0,024
MgO	0.58	0.015
CaO	2.05	0.037
Na_2O	3.13	0.050
K_2O	3.46	0.037

Norma:		*Modo*	
Cuarzo	34.2%	Cuarzo	33%
Ortoclasa	20.57%	Feldespato	49%
Albita	26.20%	Anfíbola	3%
Anortita	10.29%	Biotita	3%
Corindón	2.35%	Clorita	2%
Hiperstena	2.82%		
Magnetita	3.25%		

Según la clasificación de Shand esta roca también corresponde a *Granodiorita*.

Según Niggli esta roca corresponde al magma Yosemítico del magma Granítico de la serie calci-alcálica. A continuación anotamos los parámetros de X-5 y del magma yosemítico típico.

	si	al	fm	c	alk	k	mg	Corte
Magma Yosemítico	350	43	14	13	30	0.45	0.33	5
X-5	354	43	20	11	26	0.43	0.22	4

Comparando esta roca con X-8 se ve que aumenta el k y si, y disminuye c, es decir, la tendencia de la diferenciación es hacia la serie de los granitos.

Las inclusiones.—En la parte alta de la quebrada que sigue cerca del afloramiento de la veta Litre aparecen numerosas inclusiones dentro de la granodiorita. Ellas tienen, por lo general, formas redondeadas y su tamaño es muy variable; pero casi nunca alcanzan grandes dimensiones, llegando las mayores a algunas decenas de centímetros. Son de grano fino, de color gris verdoso, destacándose en la masa algunos cristalitos de plagioclasa hasta de 5 mm. y una anfíbola verdosa.

Cerca del contacto con la granodiorita tienen un aspecto granitizado por el gran aumento de ortoclasa de color blanco rosáceo, el que se introduce también en vetillas hacia el interior y provocan las modificaciones que se describirán más adelante.

Al microscopio presenta textura holocristalino hipidiomórfica compuesta de plagioclasa, ortoclasa, cuarzo, anfíbola, piroxena, biotita y apatita, con algo de magnetita y titanita. (Fig. 3. Lám. 2).

La plagioclasa tiene muchas veces los núcleos turbios por alteración (sasuritización) y los bordes claros y bien transparentes. La macla de la albita es poco frecuente, más común es la de Carlsbad. El largo más corriente es entre 0,2 y 0,5 mm., pero en ciertos casos, como en X-2, aparece un cristal mayor de $1 \times 0{,}8$ mm. correspondiente a Ab_5An_4. Los otros cristales tienen una composición análoga; $2V = +84°$.

La augita existe en pequeña cantidad y se distingue de la anfíbola por la falta de pleocroísmo y el ángulo de extensión $Z \wedge c = 40°$. Casi la totalidad de la augita ha sido transformada a anfíbola y en los pocos individuos en que se conserva aparece sólo el centro sin pleocroísmo, es decir, formado por augita y la periferia es anfíbola. Por este motivo, tanto la augita como la anfíbola, forman cristales poco homogéneos, lo que impide determinar sus constantes ópticas con certeza. En algunos cristales que se examinaron en la mesa Fedoroff, aunque no se pudo medir el ángulo de los ejes ópticos se vió que éste era positivo.

La anfíbola existe en gran cantidad en granos cuyo tamaño más frecuente es 0,2 mm; pero a veces se forman manchas hasta de 1 mm. por la agrupación de varios individuos con diferentes orientaciones. A veces están maclados según (100). El pleocroísmo se presenta en la siguiente forma:

X = Amarillo verdoso
Y = Verde obscuro
Z = Verde pasto claro
$Y > Z > X$

Por estas características es diferente de la anfíbola de la granodiorita.

La Biotita aparece en poca cantidad y proviene de la transformación de la anfíbola. Los cristales son poco definidos y se pueden reconocer por su fuerte absorción en la dirección paralela a la elongación y la extinción recta. La biotita está casi siempre encerrada poikilíticamente dentro de la ortoclasa.

En algunas partes del corte, aparecen grandes playas ocupadas por ortoclasa y dentro de ella están incluídas poikilíticamente los cristales de augita, anfíbola, biotita y plagioclasa, en dimensiones de 0,2 mm. aproximadamente. (Fig. 4. Lám. II). La ortoclasa tiene un aspecto relativamente fresco y está maclada según la ley de

Carlsbad. La composición de una de estas zonas encerradas por ortoclasa es la siguiente:

Ortoclasa	63%
Anfíbola (incluyendo la augita)	17%
Biotita	9%
Plagioclasa	11%

Donde no existe ortoclasa los minerales de plagioclasa, Augita y Anfíbola forman un agregado confuso y todo el conjunto hace la impresión de una cristalización más o menos simultánea, pues faltan los contornos idiomorfos. Allí los plagioclasas tienen estructura zonar bien marcada.

El cuarzo es relativamente escaso en aquellas partes donde ha sido insignificante la influencia de la ortoclasa. Pero la apatita aparece en cantidad apreciable.

El análisis de una muestra de esta roca (X-2) efectuado por el señor J. Westman, en la cual se eliminaron en lo posible las guías pegmatíticas dió:

Constituyente	%	Proporción molecular
SiO_2	58.00	0.967
Al_2O_3	22.16	0.218
Fe_2O_3	0.72	0.004
Fe O	1.72	0.024
Mg O	4.24	0.106
Ca O	6.47	0.115
Na_2O	3.12	0.050
K_2O	3.67	0.039

Resulta la siguiente norma:

Cuarzo	4.62
Ortoclasa	21.68
Albita	26.20
Anortita	31.97
Corindon	1.43
Hiperstena	13.24
Magnetita	0.93

En la clasificación de Shand corresponde a *diorita calcica*.

En la clasificación de Niggli no se encuentra ningún magma que se aproxime, como puede deducirse del siguiente cuadro, en el que se indica además de los parámetros de X-2, los correspondientes a los magmas dioríticos de la serie calci-alcálica.

	si	al	fm	c	alk	k	ng	c/fm	Corte
X-2.....	180	41	26	21	17	0,44	0,76	0.82	5
Trondhgemítico ..	350	42	12	11	35	0,23	0,27	0.92	5
Plagioclasgranítico	310	42	16	16	26	0,22	0,47	1.00	5/6
Cuarzo diorítico .	220	31	31	19	19	0,25	0,48	0,61	4
Tonalítico.....	200	33	33	22	12	0,40	0,50	0,55	4
Peleítico.....	180	33	33	23	11	0,20	0,40	0.67	4/5
Normal diorítico .	155	29	35	22	14	0,28	0,48	0,63	4
Gabbro diorítico..	135	24.5	42.5	23	10	0,28	0,50	0.57	4

Esta gran discrepancia de composición con los magmas normales hace suponer que se trate de una roca híbrida producida por la acción de un magma alcalino residual (potásico) sobre una roca de carácter bastante básico. Igual cosa se puede deducir del examen microscópico, especialmente del hecho de aparecer grandes zonas de ortoclasa que encierra poikilíticamente los otros constituyentes de la roca.

Casos análogos ha observado W. A. Deer en las inclusiones que encierra la tonalita de Cainsmore, en Escocia (1) quien dice lo siguiente: «The basic xenoliths in the « tonalite show the greatest divergence from the normal linear variation. This is co- « rrelated with the action of a partial magma rich in potash felspar and quartz which « is responsible for part of the far reaching effects of the hybridization».

El resultado completamente anormal que han producido los magmas residuales sobre estas inclusiones se debe probablemente a que ambas fases están bastante alejadas en la serie de reacción de Bowen (2). Su acción que originó las granodioritas es menos anormal porque se trata de fases más cercanas.

Los FILONES LAMPROFÍRICOS.—Estas rocas son relativamente escasas. En la única parte donde la hemos podido estudiar es en la mina Litre. Allí el filón sigue paralelamente a la veta. Por tal motivo, está completamente alterado por una carbonatización intensa, de modo que no se pueden obtener datos exactos acerca de su composición petrográfica y química original.

Este lamprofiro es una roca bastante homogénea, afanítica de color gris plomizo. Bajo el microscopio. (Fig. 5 Lám. III) aparece compuesto por un agregado de feldespatos, correspondientes a albita, tal vez con pequeñas cantidades de anortita, en su mayor parte idiomorfos, de 0,3 mm. de largo, maclados según la ley de Carlsbad. En los intersticios entre los feldespatos aparece algo de cuarzo. Tanto el cuarzo como la ortoclasa están llenos de agujitas de apatita. Los productos de alteración que ocupan una gran p roporción de la roca son: calcita, siderita y hematita. Más adelante damos un análisis de esta roca.

Por la composición de los feldespatos nos inclinamos a clasificar esta lamprofiro como *Minette sodica*.

---

(1) W. H. DEER.—The Cairnsmore of Corpashairn Igneous Complex. The Quartely Journal of the Geological Society of London. Vol. XCI. Par. I. March 1935. P. 72.

(2) BOWEN.—The Evolution of igneous rocks, 1828,

También existen algunos filones de aplita, en el camino de la mina Litre a la mina Aída, cerca de esta última; pero no se estudió microscópicamente su naturaleza. Son rocas de color blanco, holocristalinas, de grano fino, compuestas casi exclusivamente de ortoclasa y cuarzo.

PETROLOGÍA

Las pocas investigaciones petrográficas y químicas no permiten abordar el estudio petrológico de la región en toda su amplitud; pero ellas dan algunas indicaciones que pueden servir de pauta para estudios más a fondo.

La granodiorita que se observa actualmente proviene de la acción de un magma residual pegmatítico sobre una diorita, pues aunque no hemos encontrado verdaderas dioritas, se ve que algunas granodioritas tienden a tomar este carácter.

Las inclusiones básicas serían restos de la facies marginal de primera consolidación del batolito.

Los filones lamprofíricos representan seguramente los magmas residuales alcalinos sódicos producidos por la consolidación de la diorita.

LAS VETAS AURIFERAS

En los cerros de Pichidegua afloran varias vetas auríferas con rumbo N. 25 E. verticales o con pequeño manteo al E. o al O. Hasta ahora se conocen los afloramientos de seis de ellas, pero es probable que su número sea superior, porque debido a su escasa potencia podrían pasar desapercibidas en un terreno bastante encapado por el maicillo proveniente de la destrucción de la granodiorita y por la vegetación que es relativamente abundante, sobre todo en las faldas de las quebradas. Las vetas conocidas son: Litre, Boldo, Emilia, Dos Amigos, Santa Ana y Juana, pero sólo en la Litre y Dos Amigos se han realizado trabajos de importancia. Las otras tienen sólo pequeños reconocimientos.

Todas estas vetas son vetas de fractura, aunque a veces ha tenido lugar un pequeño reemplazo, pero en estos casos la mineralización aurífera pierde bastante en importancia. El tipo corresponde a vetas meso-termales, con mineralización distribuída en fajas. La potencia varía entre 5 y 20 cms. pero sólo se explotan las que tienen potencias superiores a 7 cms.

Las fracturas a veces son continuas en un largo de más de 2 Kms. como en la veta Dos Amigos, pero en otras aparecen lenticulares, como en la veta Litre, en estos casos la ligazón de uno y otro lente se efectúa por una zona de reemplazo. Cuando no existe la fractura, las soluciones mineralizadoras han seguido generalmente el contacto de un filón lamprofírico, como pasa en la veta Litre.

En la vecindad de las vetas la granodiorita ha sufrido una alteración intensa, pero sólo en una faja de pocos centímetros, la que alcanza hasta 1 m. y más, en las zonas de reemplazo.

VETA LITRE

En esta veta cuyas labores aparecen en el plano N.° 2 se ha formado la mina del mismo nombre. Aflora al pie del cerro, frente al pueblo de Pichidegua, distando la bocamina sólo 500 mts. de dicho pueblo.

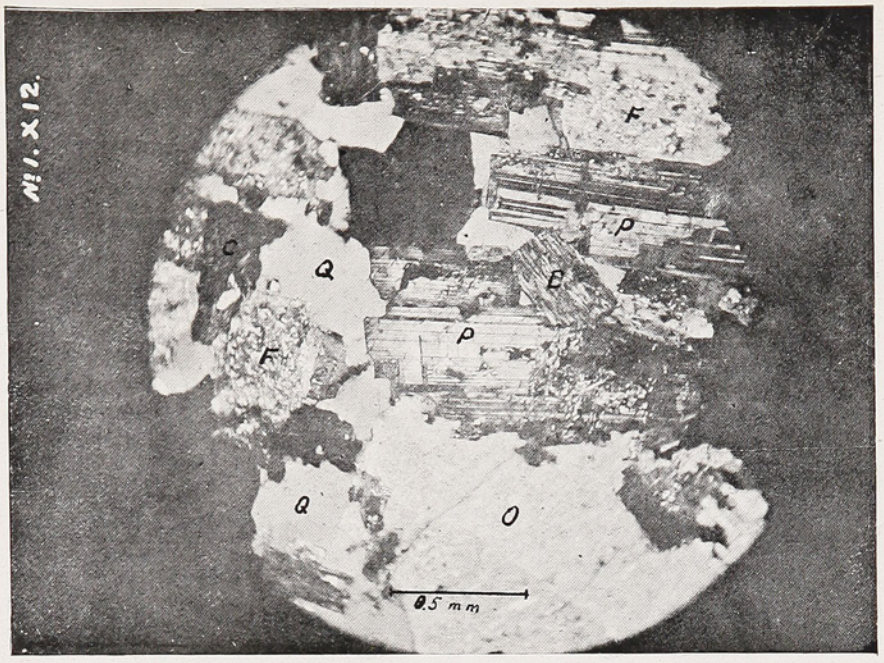


Fig. 1

Granodiorita X—12.—Socavón Dos Amigos, frente Norte cerca de la veta.—Con analizador *P* = plagioclasa; *F* = plagioclasa sasuritizado; *O* = ortoclasa; *B* = biotita en crecimiento paralelo con clorita; *C* = clorita; *Q* = cuarzo.

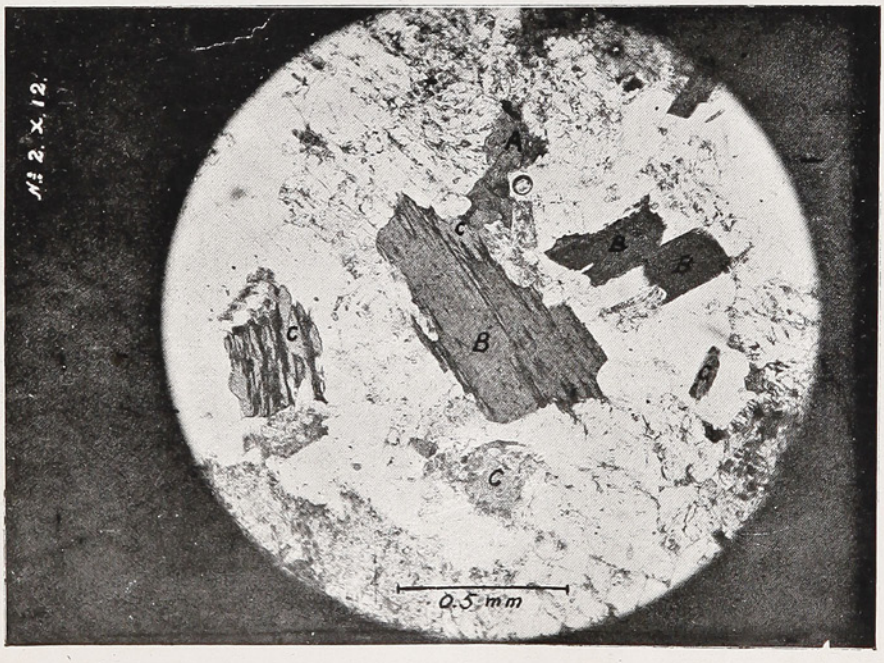


Fig. 2

Granodiorita X—12.—Socavón Dos Amigos; frente Norte cerca de la veta.—Sin analizador: *A* = anfíbola; *B* biotita; *G* = clorita.

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

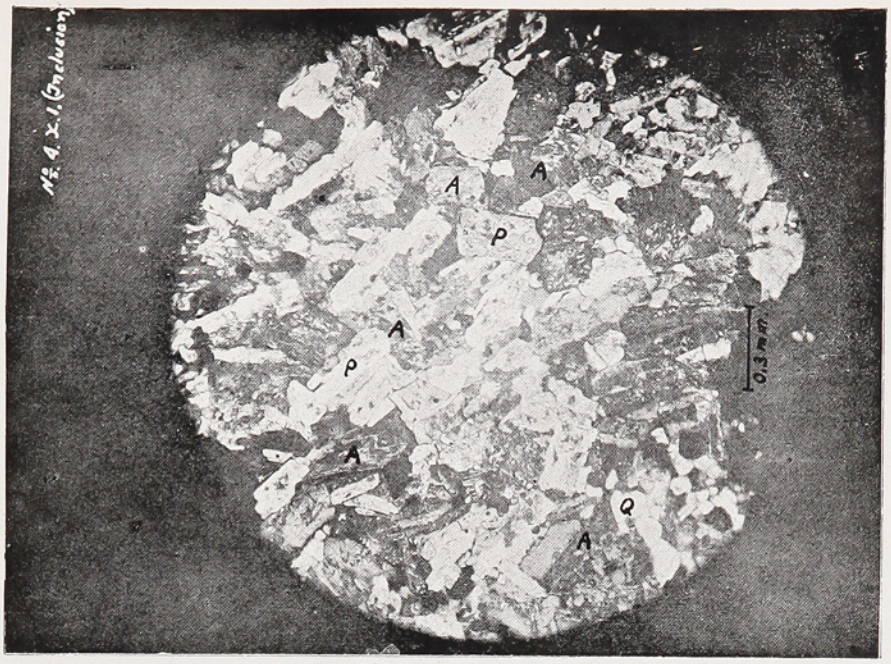


Fig. 3

Inclusión básica X—1.—Con analizador. *P* = plagioclasa; *A* = anfíbola; *Q* = cuarzo.

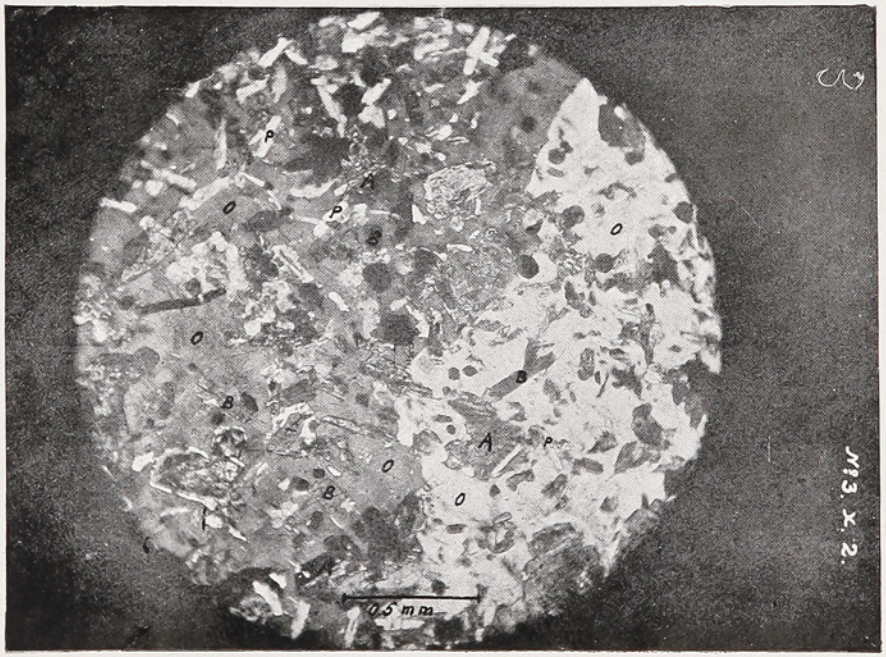


Fig. 4

Inclusión básica X—1.—Con analizador: *O* = gran cristal de ortoclasa que encierra poikiliticamente los otros minerales. *A* = anfíbola; *B* = biotita; *P* = plagioclasa.

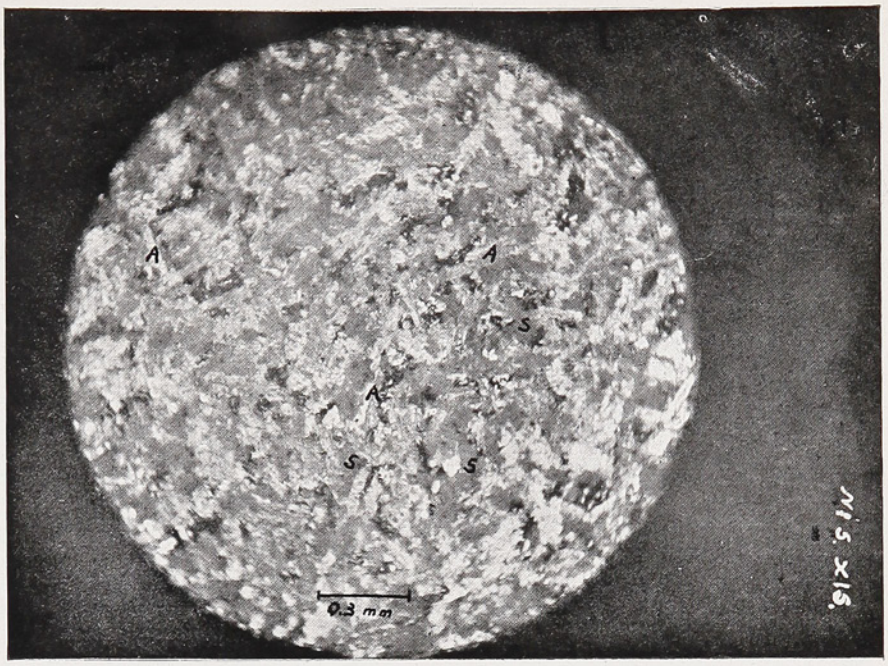


Fig. 5

Filón de minette en mina Litre.—Con analizador: *A* = albita; *S* = siderita.

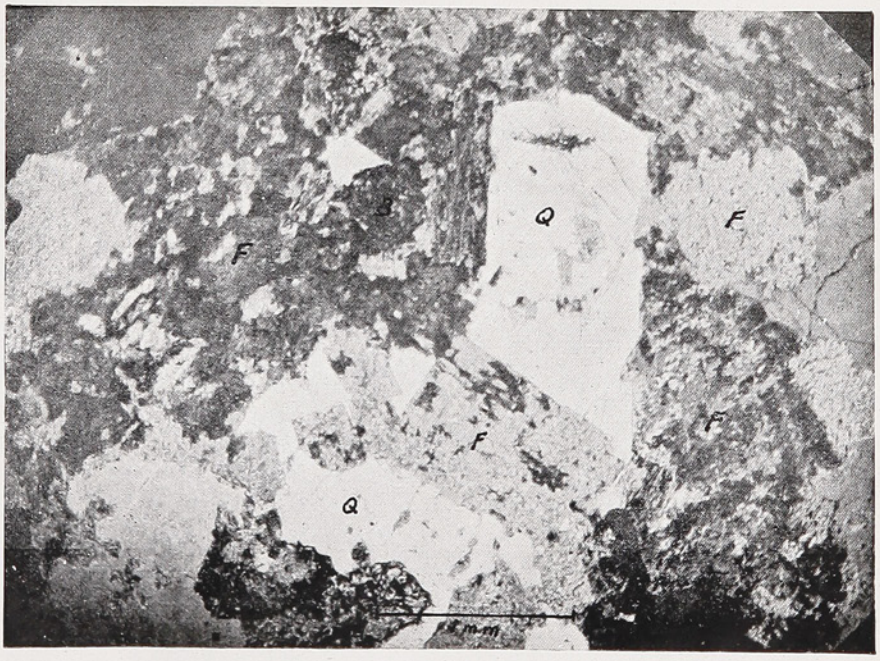


Fig. 6

Granodiorita sericitizada en contacto con la veta.—Con analizador: *Q* = cuarzo; *F* = feldespato sericitizado; *B* = bastita con agujas de rutilo.

Fig. 7

Mineral de la veta Litre.—Corte pulido. Fajas *a* y *b* = cuarzo gris con pirita, fajas *d* pirita bastante destrozada; faja *c* = cuarzo blenco. *A* = arsenopirita; *P* = pirita; *Q* = cuarzo. Aproximadamente tamaño natural.

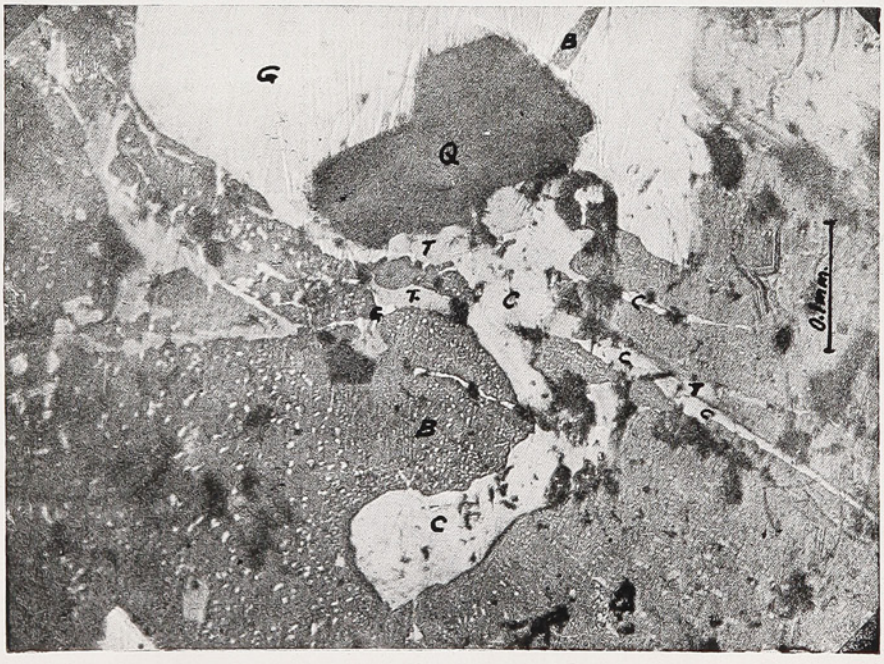


Fig. 8

Sección pulida, mineral de la veta Litre. *B* = blenda con segregaciones de calcopirita; *C* = calcopirita; *G* = galena; *T* = tetrahedrita; *Q* = cuarzo.

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

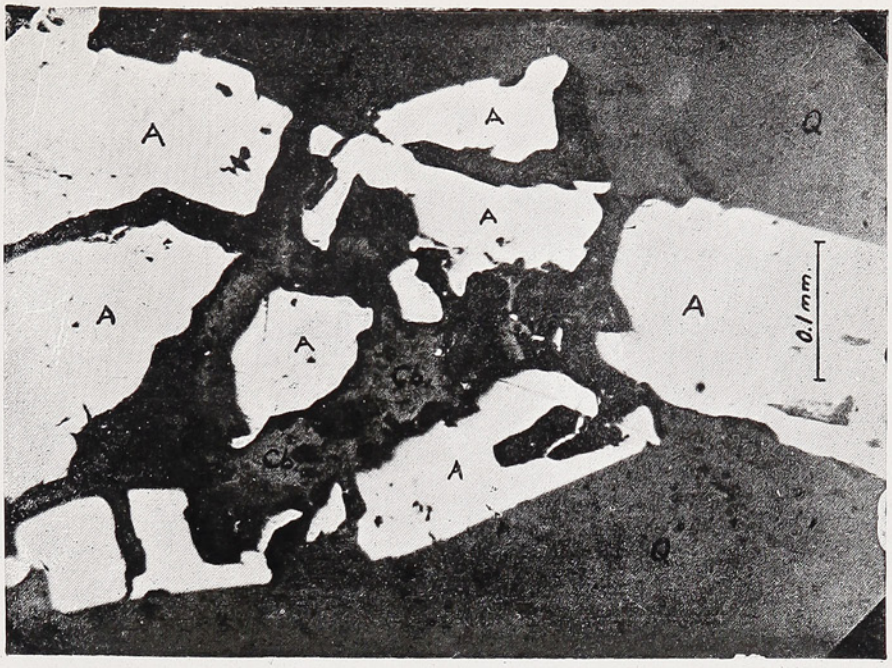


Fig. 9

Sección pulida, mineral de la veta Litre. *A* = arsenopirita; *Cb* = carbonatos (siderita); *Q* = cuarzo.—Puede verse que las guías de carbonatos no penetran en el cuarzo.

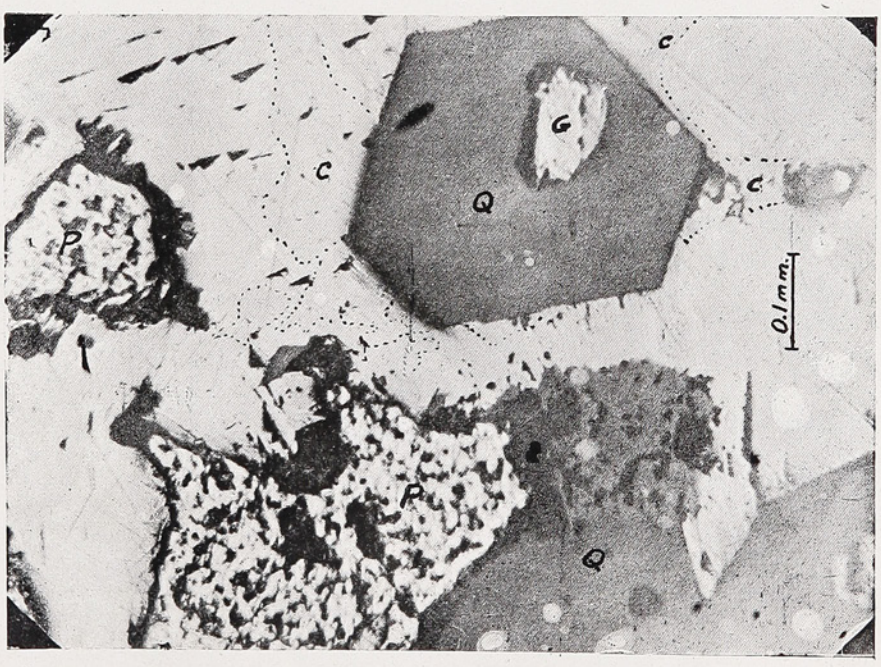


Fig. 10

Sección pulida, mineral de la veta Litre. *P* = pirita; *C* = calcopirita; *G* = galena; *Q* = cuarzo.

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

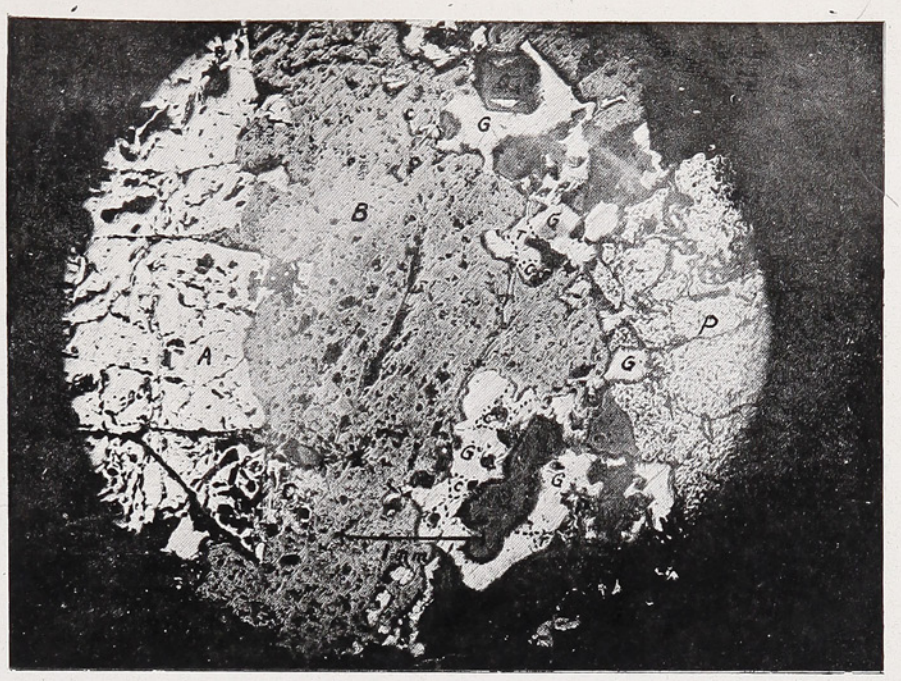


Fig. 11

Sección pulida del mineral de la veta Litre. *A* = arsenopirita; *P* = pirita; *G* = galena; *C* = calcopirita; *T* = tetrahedrita; *Q* = cuarzo.

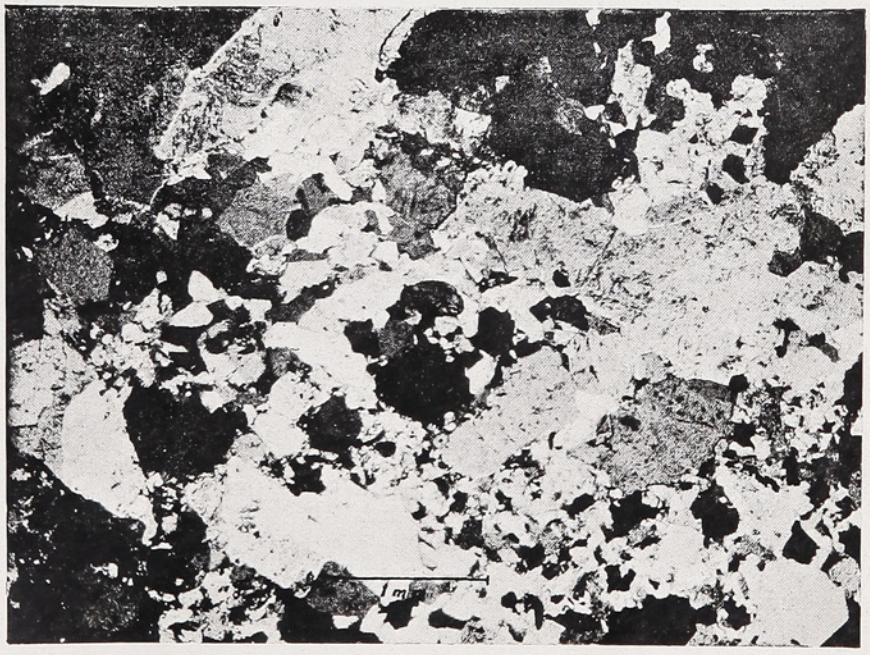


Fig. 12

Mineral de la veta Litre.—Sección transparente.—Se vé el agregado granular fino de cuarzo reemplazado en parte por el agregado grueso.—Las manchas negras son de pirita y arsenopirita.

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE

El rumbo es N. 12° E. y la inclinación 80° al E. La corrida se conoce en un largo de 1,000 mts.

Se han corrido en ella tres socavones: el Nivel 1 con 150 mts. de longitud armado en el mismo plan; el Nivel 2 a 14 mts. verticales sobre el anterior con 65 mts. de longitud y el Nivel 3 a 27 mts. sobre el Nivel 2, con 40 mts. de longitud. Este último parece que estuviera sobre una veta diferente. Por debajo del Nivel, 1 se ha seguido un pique de 13 mts. verticales, y en el fondo frontones a ambos lados, en corta extensión.

Entre los Niveles 1 y 2 se ha explotado un macizo continuo de 100 mts. de largo por 10 de alto, del cual sólo quedan pequeñas áreas vírgenes.

Los afloramientos fueron trabajados por los antiguos hasta pequeña profundidad.

La veta va generalmente en el contacto O. de un filón de minette con el granito y su anchura varía entre 10 cms. y 30 cms. En ciertos casos la veta no está pegada al dique, como ocurre por ejemplo en el corte del Nivel 1, donde la veta tiene 30 cms. en fajas de cuarzo alternadas con otras de pirita y arsenopirita de 3 cms. de espesor, y separadas del filón por una faja de granodiorita sericitizada de 50 cms. con guías angostas de pirita.

En un rajo antiguo que hay a la entrada del Nivel 2 en la superficie, puede verse perfectamente la estructura de la veta, que aparece en el perfil siguiente:

a = 0,20 m. veta cuarzo
b = 0,50 m. de granodiorita
c = 3,00 m. filón de minette.

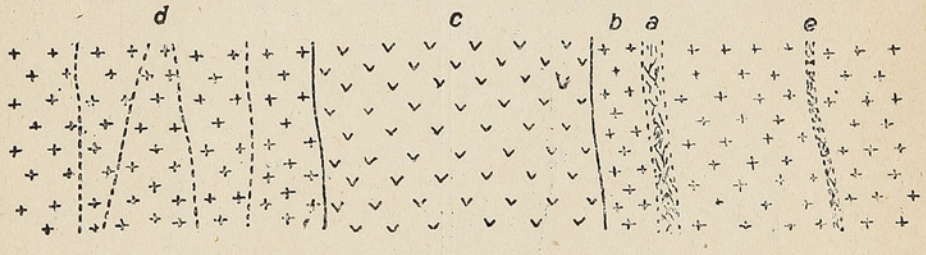
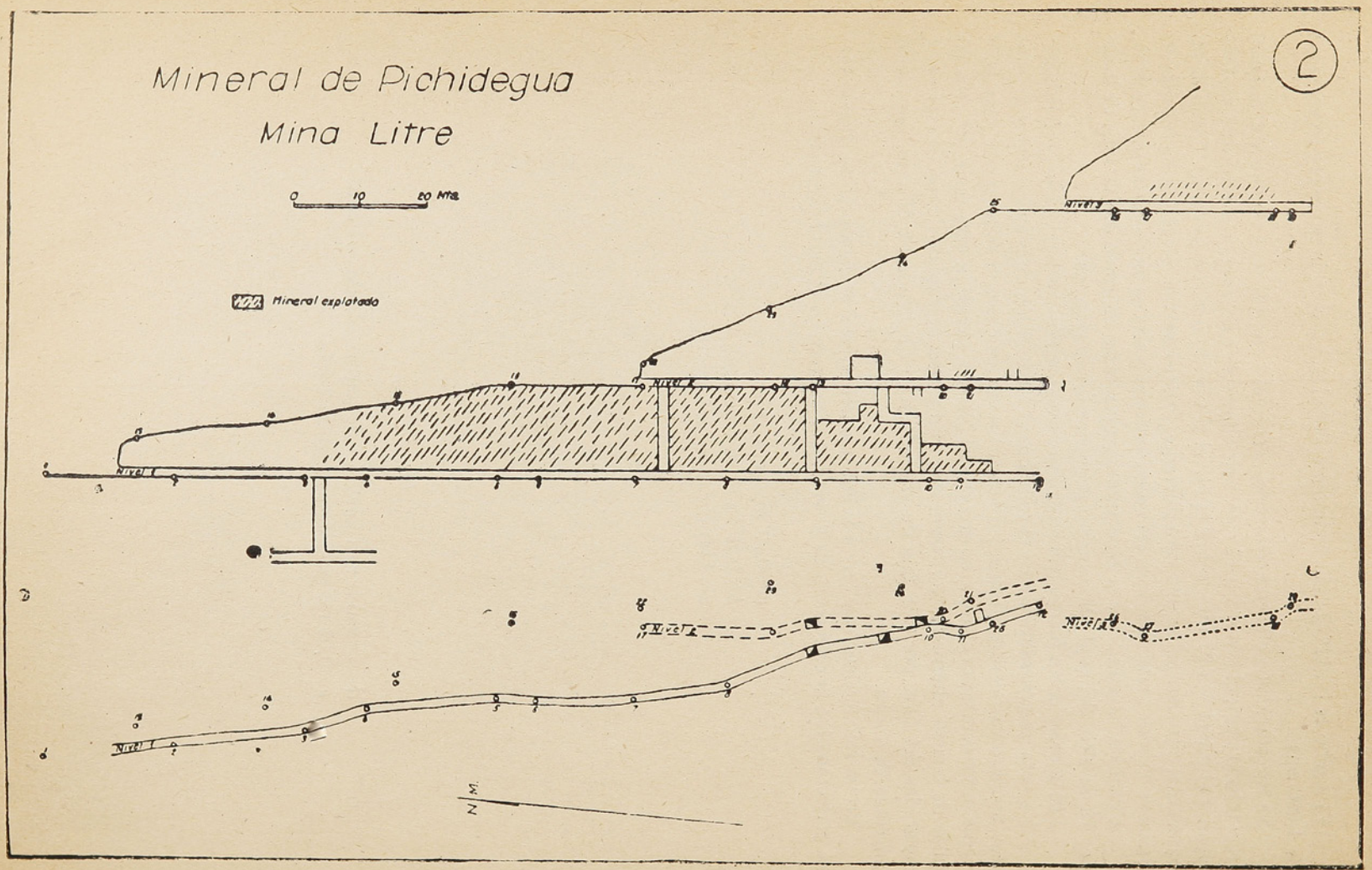


Fig. 1.

d = Granodiorita con guías de cuarzo y óxido de fierro
e = 0,02 m. guía de cuarzo de 2 cms.

Mineral de Pichidegua

Mina Litre



Llama la atención, tanto en este caso como en el descrito anteriormente, que la veta no se haya abierto en el contacto mismo del filón que sería un plano de menor resistencia. Ello se debe tal vez a que la caja de dicho filón no es un plano perfecto, sino que tiene muchas dobladuras y la veta tenía la tendencia a continuar en línea recta. Esto se puede ver más claro en la figura siguiente, que representa la curva del Nivel 2:

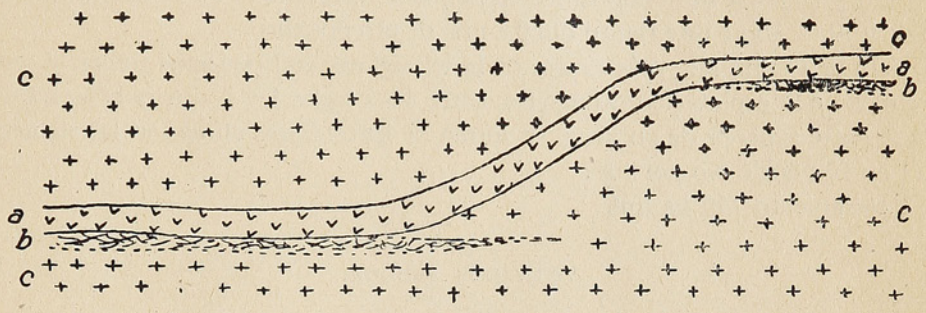


Fig. 2

a=filón de minette; *b*=veta mineralizada; *c*=granodiorita.

La transición entre la veta y la zona rameada se puede observar cerca del frente del Nivel 2 que está presentada esquemáticamente en la figura 3.

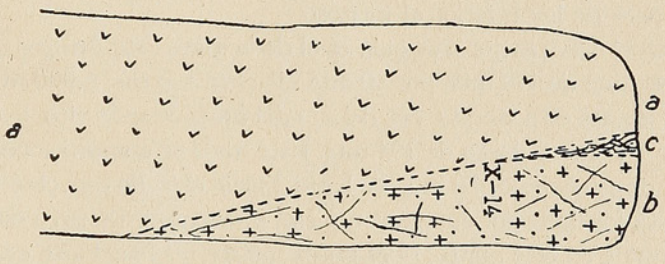


Fig. 3

a=filón de minette;
b=granodiorita sericitizada, con guías de cuarzo y pirita;
c=veta de cuarzo con fajas de pirita y arsenopirita.

Del punto X-14 hacia adelante se empieza a formar la guía en el contacto del filón con el granito y en el frente alcanza un espesor de 15 cms. con una guarda de 1 cms. a cada lado, compuesta por pirita, arsenopirita y blenda. En el piso la guía tiene 5 cms. de los mismos minerales compactos; pero esta guía rica llega sólo hasta la mitad de la labor.

En general se puede decir que la guía rica explotable llega sólo hasta el Nivel 2, porque más arriba se empobrece y ramifica. El ancho medio se puede estimar en 15 cms.

En el Nivel 1, la guía ha sido mucho más firme y la explotación que se ha hecho en un macizo continuo de 100 mts. demuestra esta uniformidad. Igual cosa ocurre en los frontones del pique del Nivel 1. En el corte que se explota actualmente la veta tiene 30 cms. con ley de 25 grs. de oro por ton.

El Nivel 3 parece que está en una veta diferente por la posición en que aparece en el plano. Además allá no existe el filón de minette, y la veta está formada por numerosas guías angostas de cuarzo con pirita. La roca intermedia está fuertemente sericitizada y en parte lleva impregnación de pirita. La muestra X-4 tomada en un ancho de 0,60 m. sobre este rameo dió 0,8 grs. de oro por ton.

Para tener una idea más exacta de la ley del mineral podemos tomar la que ha provenido de la explotación del macizo, entre los niveles 1 y 2, que es prácticamente toda la parte superior de un clavo en forma de lente. Estas cifras son las siguientes:

Ley 50 grs/de oro por ton.

Rendimiento 250 ks./m².

VETA DOS AMIGOS

Esta veta ha sido la más intensamente explotada por la mina Dos Amigos. (Plano N.° 3). Sobre la misma veta están las minas Valentina, al N. de Dos Amigos y Pichidegua al S.

La veta tiene rumbo N. 23 E. y 80° de inclinación al Poniente. Arma en granodiorita. Es una veta formada por el relleno de una fractura de rumbo muy constante. La potencia entre 5 y 10 cms. siendo el término medio 7 cms.

El relleno de la veta consiste en pirita, arsenopirita, blenda galena y calcopirita con ganga de cuarzo, distribuído en fajas. En la parte superior de la veta existía mineral oxidado, pero de ley inferior al piritoso.

En esta veta el clavo mejor conocido es el de la mina Dos Amigos que se explotó con un largo continuo de 150 mts. por 40 mts. de altura, o sea, 6,000 m².

El nivel de planes está 40 mts. por debajo del socavón más alto, a 400 mts. sobre el nivel del mar y tiene un largo de 194 mts. Este nivel se comunica con la superficie por un socavón de estocada de 70 mts. de largo. Hacia el S. de este clavo, la veta tiene sólo 4 cms. y está formada por cuarzo con pirita y arsenopirita, pero esto no significa que el clavo termine en este punto, pues pocos metros más adelante está la mina Valentina donde ha sido explotado. Por el N. al final del macizo explotado, sigue una zona de broceo de 10 mts. de largo en que la veta tiene 10 cms. de potencia con una impregnación muy difusa de pirita, en seguida hay 10 mts. de beneficio que han sido explotados hasta cierta altura y por último, 7,50 mts. de broceo. En este frente la veta tiene 5 cms. de potencia y lleva una débil impregnación de pirita. De esto se deduce que todo el largo de 176 mts. se puede considerar como un clavo continuo, y agregando los 80 mts. que se conocen en la mina Valentina, tendríamos un largo reconocido en beneficio de 250 mts.

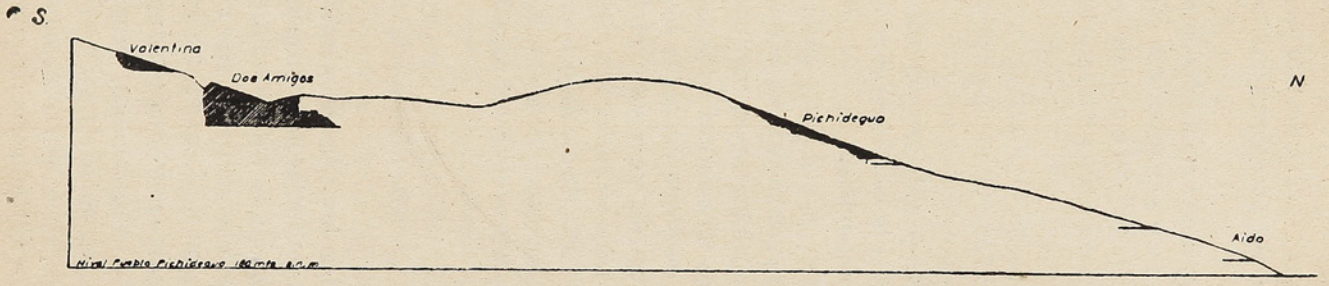
Los pisos del nivel de planes han tenido una pequeña explotación hasta los 50 a 80 cms. de hondura.

La ley de este macizo la podemos estimar por el mineral vendido proveniente de este macizo que es de *875 tons. de 51,69 grs.* de oro por tonelada, lo que hace un rendimiento de 160 Kgs. por metro cuadrado de veta.

Mineral de Pichidegua

Perfil Veta Dos Amigos

0 100 200 mts.



Explotado

BIBLIOTECA NACIONAL SANTIAGO DE CHILE SECCION CHILENA

Una muestra tomada en el piso del socavón, frente al cruce con la estocada dió 90 grs. de oro sobre 7 cms.

En esta mina parece que, en general la ley aurífera aumenta hacia profundidad, paralelamente con el aumento de la proporción de arsenopirita.

A 700 mts. al N. del frente N. del socavón Dos Amigos está la mina Pichidegua sobre la misma veta, que se presenta con las mismas características que en Dos Amigos.

Hace algún tiempo se corrieron varios socavones sobre esta veta y se hicieron en ellas pequeñas explotaciones, pero actualmente se conserva hábil sólo el inferior, que está a la cota 350 mts. sobre el nivel del mar y tiene un largo de 40 mts. En el frente la veta tiene 5 cms. de pirita, arsenopirita y blenda bastante pura y 2 cms. de inferior calidad.

La ley de estos 5 cms. resultó 135,4 grs. de oro por tonelada y en una muestra más escogida 187,5 grs/ton. En esta última la proporción de arsenopirita era bastante fuerte.

Tomando en cuenta las diversas labores tendríamos que aquí se conoce un clavo de 100 mts. de largo en el cual la veta tiene altas leyes y pequeñas potencias, pero quedan sobre el límite de rentabilidad..

Llama la atención en esta veta que la ley aurífera guarda una estrecha relación con los minerales metálicos, especialmente con la arsenopirita, lo que se debe probablemente a una depositación simultánea del oro con este mineral.

A 400 mts. al Norte de la entrada del socavón Pichidegua, está la mina Aída, sobre una veta que aparece en forma de vetilla en el socavón Dos Amigos.

En la mina Aída se han corrido tres socavones. En el N.° 2 que está 210 metros sobre el nivel del mar, la veta tiene un ancho de 6 a 10 cms. de cuarzo, pirita y blenda, y en el frente el ancho es sólo 5 cms. 40 metros más arriba está el socavón N.° 3 donde aparece la veta con 5 cms. de espesor, y de ley de 15 grs/ton. En este nivel se ha explotado un corte pequeño, pero la explotación seguramente no la continuaron por la baja ley y pequeña potencia.

MINERALIZACIÓN

Por lo general el mineral en las vetas estudiadas presenta una estructura en fajas bien marcada, algunas constituídas por un agregado granular fino formado por granos de cuarzo, pirita y arsenopirita y otras por cristales mayores de cuarzo blanco dispuestos perpendicularmente a las salbandas, que a veces encierran drusas. El agregado fino también está atravesado por estas guías. La pirita es menos abundante en las guías claras. En ciertos casos, a ambos lados de una guía de cuarzo blanco hay fajas de cuarzo gris con abundante arsenopirita, blenda, galena y pirita, lo que indica una introducción posterior de las guías claras.

En la mayoría de los casos, existe una sola guía de cuarzo con las fajas grises mineralizadas en contacto con las salbandas, pero a veces hay una alternación de estas distintas fajas y entonces la veta adquiere mayor anchura como ocurre en la veta Litre.

En el socavón Pichidegua se pueden diferenciar:

a=Cuarzo gris criptocristalino con poca impregnación de pirita blanca;
b=Guía de sericita y cuarzo;
c=Guía de calcita;
d=Guía muy fina de pirita y arsenopirita;
e=Guía de cuarzo blanco con cristales transversales y drusas;
f=Guía de arsenopirita, pirita amarilla y poca blenda.

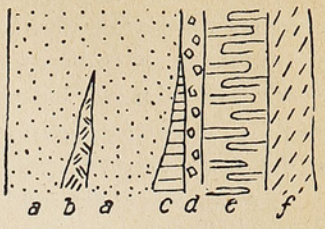


Fig. 4

En la mina Litre se puede observar una distribución análoga. Aquí aparecen las fajas obscuras que llevan la arsenopirita, pirita, blenda y galena alternadas con las de cuarzo puro.

En un corte del nivel 2 de la mina Litre la veta tiene 30 cms. y está formada por una alternación de fajas de arsenopirita con cuarzo, pirita con cuarzo, y cuarzo. La veta está separada del filón de minette por una faja de 50 cms. constituída por el granito sericitizado con numerosas guías de pirita.

La (Fig. 7, Lám. IV) muestra claramente la disposición de las fajas que constituyen la veta.

En la faja *a* hay una matriz de cuarzo gris penetrada por cristales aciculares de arsenopirita hasta de 1 cm. dispuestos perpendicularmente a la salbanda y por lo general forman agrupamientos paralelos, pero también existen aislados. Estos cristales casi siempre parten de una fajita muy delgada formada por cuarzo gris y pirita blanca, análoga a la que existe en la faja sericitizada. La misma pirita puede verse en ciertos casos dentro de la arsenopirita.

La arsenopirita está atravesada comúnmente por una red de guías y cavidades rellenas con siderita y calcita, las que no se continúan hasta el cuarzo, sino que terminan abruptamente en el límite, salvo casos excepcionales (Fig. 9, Lám. V).

En el contacto de la arsenopirita con el cuarzo aparecen algunas manchas de blenda que encierra una infinidad de puntitos de calcopirita dispuestos irregularmente, pero que tienden a concentrarse en la periferia (Fig. 8, Lám. IV) que limita con el cuarzo, quedando el centro libre de ellos; esta concentración es menos marcada o falta casi totalmente en los bordes que limitan con la pirita o arsenopirita. Las grietas rellenas con siderita que atraviesan la arsenopirita, penetran también en la blenda y parece que las nuevas periferias formadas por esta razón tienen el mismo efecto de agrupar las inclusiones de calcopirita en torno de ellas, indicando que el desmezclamiento se produjo con posterioridad a su formación. La blenda existe también en granos aislados irregulares dentro del cuarzo, y siempre llevan la segregación de calcopirita.

Dentro del cuarzo pueden observarse algunos cristales destrozados de pirita y de galena con calcopirita, cuando esto ocurre el cuarzo tiene un aspecto blanco lechoso y no gris como es la masa principal, lo que se debe probablemente a que pertenece a otra generación.

El cuarzo que aparece en esta faja está formado por granos alotriomorfos, cuyo tamaño oscila entre 0,03 y 0,15 mm. La arsenopirita se superpone a este agregado, pero también se presenta el caso que este último penetra en la arsenopirita, de modo

que se upede admitir que ambos minerales sean contemporáneos. El agregado de cuarzo fino se ha transformado en parte en otro más grueso, con granos de 0,5 a 1 mm. que muestran generalmente una estructura zonar por el agrupamiento de inclusiones obscuras en fajas más o menos paralelas a la periferia (Fig. 12, Lám. VI). Este cuarzo más grueso correspondería al cuarzo blanco lechoso que hemos mencionado más arriba y es análogo al que aparece en la faja *c*.

La faja *b* es análoga a la *a*. Tienen también los cristales alargados de arsenopirita dentro del cuarzo gris. La arsenopirita está fracturada y lleva cavernas tapizadas, lo mismo que las fracturas, por drusas de cuarzo pirita, siderita, calcita y galena, las que frecuentemente aparecen rellenas con cuarzo que ha tapado los minerales depositados en las paredes. La arsenopirita casi siempre está en contacto con pirita. En esta faja se nota un efecto de destrozamiento más marcado que en la *a* y mayor cantidad de cuarzo blanco lechoso.

Examinada esta faja en secciones delgadas puede verse que el cuarzo constituye un agregado de granos alotromórficos de 0,05 mm. con inclusiones de pirita, siderita y calcita. Los carbonatos forman una red de guías alrededor de los granitos de cuarzo, envolviéndolos. La siderita tiene color blanco opaco vista directamente y en luz transmitida se presenta gris. Entre nicoles cruzados aparece isótropa, salvo algunas manchas que reaccionan débilmente a la luz polarizada dando colores de interferencia gris azulejos; también se presenta rodeando con una faja angosta los granos de pirita.

El agregado granular fino de cuarzo está sustituído en gran parte por otro cuyos granos tienen alrededor de 0,5 mm.

La faja *c* está formada por un cuarzo lechoso en cristales alargados en dirección perpendicular a las salbandas. Encierra algunos cristales de pirita arrastrados de las fajas piritosas por efecto de un fracturamiento, pues ellos muchas veces son fragmentos de cubos. Hay algunas drusas tapizadas con carbonato y en una de ellas se observó un cristal de pirita en cuyas caras se habían depositado aglomerados de galena, probablemente de depositación simultánea con el carbonato.

En la sección delgada puede notarse que hay algunas fajas dentro de cuarzo, paralelas a las salbandas, en las que se han desarrollado maclas de presión transversales. Estas existen también a veces en los bordes de los granos de cuarzo. Entre dos cristales consecutivos aparecen con frecuencia manchas formadas por un cuarzo granulado con pirita y calcita, que correspondería a las drusas. Por lo tanto, el mosaico de cuarzo de grandes cristales es el que rellena las drusas mencionadas más arriba.

La existencia de fajas con gemelos de presión está indicando que las presiones actuaron en la veta aun después de formada la última generación de cuarzo, pero no alcanzaron a producir un fracturamiento. El cuarzo de esta faja lleva muchas inclusiones obscuras, especialmente en las partes cercanas a los bordes., las que no se pueden determinar por su pequeño tamaño, pero a lo menos en parte parecen corresponder a siderita.

En el límite entre las fajas *c* y *b*, y *c* y *a* existen dos fajas *d* rellenas con pirita de color blanco amarillento, penetrada por cuarzo en manchas irregulares, que lleva también cavidades tapizadas con cuarzo, calcita y pirita, las que posteriormente han sido cubiertas por el cuarzo de la faja *c*. En esta faja la pirita está destrozada en parte, pues hay fragmentos esquinados sumergidos en el cuarzo. Tanto la pirita como el

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
DE CHILE

cuarzo llevan blenda y galena en granos irregulares. Esta última, a veces, aparece en trozos triangulares cuyos bordes coinciden con los de los granos hexagonales del cuarzo. La blenda siempre lleva las inclusiones de calcopirita.

De las observaciones anteriores se deduce que el mineral original y tal vez contemporáneo con la sericitización de la roca encajadora fué la pirita, cuyos restos in situ se conservan en las fajas *d*, la que fué seguida por la arsenopirita y el cuarzo gris, y tal vez la blenda. En seguida penetraron soluciones más básicas que depositaron siderita, calcita y calcopirita y, por fin, galena y tetrahedrita. Durante toda esta etapa, no se habían producido movimientos de importancia. Pero más adelante se volvió a abrir la veta y entró el cuarzo de la faja *c* que envolvió los trozos de los minerales ya consolidados.

En la generalidad de los casos, la arsenopirita, pirita, blenda, galena, calcopirita y tetrahedrita forma un conjunto en los cuales puede predominar ya sea la pirita, la arsenopirita, la blenda o la galena. Calcopirita y tetrahedrita aparecen siempre en cantidades muy subordinadas. El conjunto de estos minerales puede verse en la (Fig. 11, Lám. VI).

La (Fig. 8, Lám. IV) muestra las relaciones entre la blenda, galena, calcopirita, tetrahedrita y cuarzo. Se ve claramente que en esta asociación el mineral más antiguo es la blenda, que lleva siempre las inclusiones características de calcopirita, que tienden a concentrarse en las periferias. La calcopirita aparece en guías dentro de la blenda, las que salen de una mancha que está entre el cuarzo y la blenda. Esta calcopirita ha sido reemplazada en gran parte por la galena, que ocupa una gran área y un poco más afuera de la fotografía lleva restos redondeados de la calcopirita. La tetrahedrita aparece en el contacto del cuarzo con la galena y en una vetilla que interrumpe otra de calcopirita. Las relaciones entre el cuarzo y la galena no están muy claras, porque tanto podría ocurrir que fuera anterior como posterior a ella.

Donde la veta tiene menos mineralización metálica, como ocurre, por ejemplo, en el comienzo del clavo del nivel 1 de la mina Litre, la veta se compone de cuarzo gris con bastante sericita, calcita y pocos súlfuros. El cuarzo forma un agregado muy fino, análogo al que se produce cuando las rocas experimentan una silicificación. Este agregado granular está atravesado por numerosas guías de sericita. Tanto el cuarzo fino, como la sericita están sustituídos en parte por un agregado de cuarzo, al que siguió la formación de calcita.

En la veta Dos Amigos, la roca encajadora está alterada en unos pocos centímetros, de modo que aparece compuesta por cuarzo, sericita, muscovita. Esta transformación es igual a la descrita más arriba. Dentro de esta roca de sericita penetran algunas guías delgadas de cuarzo gris con arsenopirita.

En el contacto de la roca encajadora con la veta, hay generalmente una faja de pirita y arsenopirita que emite prolongaciones hacia el centro de la veta.

La veta se compone de un agregado granular muy fino de cuarzo y sericita, en el cual la sericita está entrelazada con el cuarzo y en partes llega a formar manchas mayores. Dentro de este agregado hay pirita y arsenopirita diseminadas—y al parecer superponiéndose las menas al cuarzo y sericita—. Este agregado forma fajas longitudinales de más o menos 2 mm. de espesor las que alternan con otras constituídas por cristales de cuarzo alotriomórficos de formas muy irregulares que alcanzan hasta 2 mm. de largo. En el contacto de ambas guías aparecen fajas discontinuas de

arsenopirita de la cual avanzan los primas de arsenopirita hacia el centro de las guías de cuarzo grueso. La separación de estas fajas es poco nítida, pues el cuarzo grueso penetra dentro del agregado fino, llevando consigo cristales de arsenopirita.

La sericita es posterior a la primera generación de cuarzo, porque a veces aparecen manchas formadas por hojitas de sericita que interrumpen el contacto de los granos de cuarzo.

Entre las menas, pueden distinguirse además de la pirita y arsenopirita, galena, blenda, calcopirita y tetrahedrita, cuyas relaciones mutuas son análogas a las descritas para la veta Litre, aunque aquí su proporción respecto a la arsenopirita es muy inferior. En la blenda de esta mina, se puede observar a veces que las inclusiones de calcopirita siguen ciertas líneas bien definidas, las que suelen juntarse para dar lugar a guías; pero no se encontró cruzamientos de estas guías que pudieran dar alguna indicación más segura respecto a su origen.

El oro.—En todas las muestras estudiadas mineragráficamente no hemos podido observar absolutamente nada de oro libre, a pesar de ser estas vetas ricas en este metal, al que deben totalmente su valor práctico. Esto indica que el oro se encuentra en un estado de división muy fino dentro de los otros súlfuros. Aunque no hemos hecho ensayes por oro de las diversas especies mineralógicas que aparecen, sino en su conjunto, puede deducirse que la mayor riqueza en oro guarda relación con la abundancia de arsenopirita. Así una muestra del socavón Pichidegua que tenía más o menos el 40% de arsenopirita y el resto cuarzo, dió 180 gramos de oro por tonelada, mientras que un mineral de la veta Litre compuesto casi exclusivamente de blenda, galena y pirita con muy poca arsenopirita dió solamente 80 gramos por tonelada. La diferencia de ambas leyes no podría atribuirse a la cantidad de cuarzo, pues éste cuando está puro tiene muy escasa ley, ni tampoco a que se trata de dos vetas diferentes, porque para ambas rigen las mismas relaciones. Este fenómeno está comprobado también en la práctica, pues se ha visto que mientras mayor es la cantidad de arsenopirita en el mineral que se explota más alta es la ley que se obtiene.

De estos hechos, se puede deducir que la mayor parte del oro debe estar dentro de la arsenopirita y que entre ambos hay una relación bastante constante.

DISTRIBUCIÓN DE LOS CLAVOS MINERALIZADOS

Por el desarrollo, relativamente pequeño que tienen las minas en las zonas de broceo, es difícil llegar a concretar las leyes que rigen la distribución de los clavos mineralizados. Pero desde luego, se puede decir que ellos se deben a dos factores: estructurales y mineralógicos.

Los factores estructurales influyen porque la veta no ocupa en todas partes una fractura bien definida, y a veces ésta se cierra casi totalmente, quedando sustituída por una zona débil en la cual han predominado las acciones de reemplazo. Como resultado de este hecho se forma una zona de granodiorita fuertemente sericitizado, cruzada por numerosas guiecillas rellenas con cuarzo y súlfuros. Tal fenómeno se observa especialmente donde el filón de minette experimenta desviaciones de su rumbo o inclinación normal. A veces no llega a cerrarse totalmente la veta sino que sufre un angos tamiento que la hace prácticamente inexplotable.

Los factores mineralógicos ejercen su influencia por la disminución en súlfuros

metálicos y predominio del cuarzo gris, sericita y calcita. Esto podría ocurrir por una precipitación escasa de dichos súlfuros o bien porque ellos han sido reemplazados posteriormente por la ganga, aunque parece más probable la primera suposición, pues en las partes pobres hay gran abundancia de cuarzo gris y sericita que son los minerales anteriores a los súlfuros. Posiblemente ha contribuído a este empobrecimiento en súlfuros la naturaleza de la roca encajadora, que a pesar de ser siempre una granodiorita ha tenido modificaciones de mayor o menor importancia ocasionadas por los procesos que precedieron a la mineralización.

La persistencia de los clavos, tanto en el sentido de la corrida como de la profundidad es una cuestión sobre la cual no hay ningún antecedente que permita avanzar opiniones y lo único que se puede afirmar, es que no hay razón ninguna para suponer que las vetas necesariamente tendrán que cerrarse a poca distancia de los puntos ya conocidos por los trabajos mineros. Naturalmente que las probabilidades están más a favor hacia una persistencia relativamente grande por tratarse de grietas formadas bajo gran presión y a profundidades considerables.

Respecto a la profundidad a que podrían persistir tenemos un antecedente aunque de poco valor, en la comparación entre las alturas de los planes de la mina Litre y la de Dos Amigos. Aquéllos están a 250 mts. más bajo que los de esta última, lo que estaría indicando que a la cota 200 mts. las acciones que produjeron las grietas tuvieron su acción; pero esto no permite asegurar con certeza que la veta Dos Amigos deba llegar a esa profundidad en todo su recorrido.

La cuestión de la persistencia a grandes profundidades en realidad tiene poca importancia práctica, pues creemos que dada la pequeña potencia de las vetas primero se llegará a la zona de rentabilidad límite por los costos de producción que por la disminución del mineral.

ORIGEN DEL YACIMIENTO

No entraremos a considerar aquí el origen de las fracturas que pasaron a constituir las vetas, ni la profundidad probable a que se formaron, pues para ello es menester tener antecedentes acerca de la geología regional, estudio que aun no se ha hecho. Mencionaremos solamente que por las características morfológicas y mineralógicas las vetas de Pichidegua corresponden a los yacimientos meso-termales de Lindgren.

Los procesos que condujeron a la mineralización del yacimiento aurífero pueden clasificarse en las siguientes etapas:

1.° Silicificación y sericitización;
2.° Silicificación e introducción de pirita, arsenopirita, blenda y oro;
3.° Carbonatos, calcopirita, galena, tetrahedrita; y
4.° Cuarzo.

El proceso de silicificación se puede apreciar, tanto dentro de las vetas como en la roca adyacente, pero su acción se produjo principalmente en las vetas. Por tal motivo el primer relleno de éstas consiste en un agregado granular muy fino de individuos de cuarzo con contornos indecisos, muy análogo al que resulta cuando una roca ha sufrido la silicificación. En ningún caso hemos podido observar este fenómeno en su naturaleza simple, porque los minerales de las otras etapas se han mezclado inti-

mamente con el cuarzo produciendo agregados más heterogéneos, ya sea por la introducción de sericita, de calcita o de un cuarzo más moderno. Las vetas así formadas presentan generalmente una transición brusca con la roca encajadora.

El agregado granular de cuarzo está atravesado por numerosas guías de sericita, por lo general fuertemente caolinizadas, y llégan a abarcar en ciertos casos áreas relativamente grandes. Su introducción es indudablemente posterior al cuarzo de la primera generación, pero anterior a la segunda, aunque a veces este hecho podría ponerse en duda por presentarse prolongaciones de estas manchas de sericita dentro de los cristales grandes de cuarzo; sin embargo, cuando ocurre esto, puede verse que alrededor de dichas prolongaciones el cuarzo tiene una ligera diferencia de orientación con el resto del cristal, la que estaría indicando que esa parte pertenece al primer agregado granular de cuarzo.

La sericitización ha penetrado intensamente en las cajas, sobre todo en aquellas partes donde la veta ha desaparecido casi totalmente, quedando reducida a vetillas, como ocurre, por ejemplo, en el Nivel 3 de la mina Litre. Este hecho se debe indudablemente a que las soluciones al no encontrar un camino expedito hacia arriba han estado sometidas a mayor presión y así han podido propagarse lateralmente de un modo más intenso.

Cuando la granodiorita ha experimentado la sericitización en un grado intenso se ha convertido en rocas formadas principalmente por sericita y cuarzo. La textura original de dichas rocas se conserva en cuanto lo permite la existencia de sólo dos minerales, como se puede ver en (Fig. 6, Lám. III). Aquí los feldespatos sericitizados conservan sus contornos idiomorfos casi perfectamente y sólo aparecen pequeños apófisis penetrando en el cuarzo, los que a veces se ensanchan para formar algunas manchas irregulares.

La sericita que ha producido el reemplazo de los feldespatos no se presenta homogénea, sino que la constituye un agregado de innumerables laminitas fibrosas. En la fotografía puede verse también que hay cristales de muscovita mejor definidos, éstos seguramente provienen del reemplazo de cristales de biotita, pues entre las láminas se observan algunas inclusiones de mineral de fierro que se habría liberado durante la transformación. Como productos de alteración existe también pequeñas cantidades se bastita con agujas de rutilo.

Las rocas donde se observa la transformación descrita están atravesadas por venillas rellenas con el agregado granular fino de la primera silicificación.

A continuación anotamos, los análisis correspondientes a las rocas X-5 y X-6 hechos por el señor Westman; la primera en su condición original y la segunda sericitizada. Ambas del Nivel 3 de la veta Litre.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
X-5	72.20	15.04	2.20	1.76	0.58	2.05	3.13	3.46
X-6	72.80	18.59	0.11	0.70	0.58	2.70	1.08	3.18

Comparando ambos análisis puede verse que la sílice permanece constante, lo mismo que la cal, magnesia y potasa; el fierro disminuye y la alúmina aumenta. Pero, a pesar de ser el cambio químico de relativamente poca importancia, la composición normal es bastante diferente para ambas rocas:

	X—5	X—6
Cuarzo	34.2%	48.1%
Ortoclasa	20.6%	18.9%
Albita	26.2%	8.9%
Anortita	10.3%	13.3%
Corindón	2.4%	8.5%
Hiperstena	2.8%	1.5%
Magnetita	3.2%	0.1%
	99.7%	99.3%

Por el estudio petrográfico se llega a la conclusión que los minerales que constituyen la roca alterada son: cuarzo, sericita, muscovita, zoizita bastita, rutilo, clorita y magnetita. Parte de la sericita corresponde tal vez a paragonita. Esta composición mineralógica indica que para este proceso de alteración, son perfectamente aplicables las reacciones establecidas por Clarke (1).

a) $3\ K\ Al\ Si_3O_8 + H_2O = K\ H_2Al_3\ Si_3O_{12} + K_2\ Si\ O_3 + 5\ Si\ O_2$

Ortoclasa — Sericita — Cuarzo

b) $Na\ Al\ Si_3O_8 + 4Ca\ Al_2\ Si_2O_8 + H_2O = 2\ Ca_2H\ Al_3\ Si_3O_{13} + H_2Na\ Al_3\ Si_3O_{12} + 2\ Si\ O_2$

Albita — Anortita — Zoizita — Paragonita — Cuarzo

Ambas ecuaciones no nos dan ninguna luz acerca de la disminución de soda, pero ella puede explicarse suponiendo que la albita haya reaccionado de un modo análogo a la ortoclasa, formándose paragonita y $Na_2\ Si\ O_3$ que habría desaparecido por lixiviación.

Por lo tanto, la sericitación se habría producido exclusivamente por el acceso de vapor de agua.

La relación cronológica entre la apertura de las vetas y la sericitización de la roca encajadora la podemos deducir del hecho que donde existe la veta bien formada la zona sericitizada es de poco espesor, mientras que en aquellas partes donde la veta está reducida a pequeñas venillas la sericitización abarca áreas mayores. Esto nos indica que la sericitización es posterior a la apertura de la veta, pues ella está relacionada con la mayor o menor facilidad de escurrimiento que tuvieron las soluciones. Estas mismas soluciones habrían sido las que depositaron el cuarzo gris criptocristalino en las vetas.

La presencia de sericita dentro de las vetas mismas se podría explicar por un intercambio de material con la roca encajadora, según procesos químicos bastante complicados.

A esta primera etapa siguió indudablemente la venida de los súlfuros, pirita, arsenopirita, blenda, galena calcopirita y tetrahedrita junto con cuarzo. Las relaciones paragenéticas serían las siguientes:

---

(1) CLARKE.—Data of Geschemistri. P. 604-606, US. G. S. Bull 770, 1924.

Pirita,
Arsenopirita,
Blenda con calcopirita,
Calcopirita,
Galena,
Tetrahedrita.

Las relaciones entre pirita y arsenopirita puede deducirse de la forma en que aparecen los contactos de ambos minerales. A veces estos contactos son lisos, pero en otras, la arsenopirita penetra en forma de bahías dentro de la pirita o bien está incluída en esta última. Además, es frecuente el caso en que los cristales de arsenopirita partan de una faja de pirita. Estos hechos se pueden interpretar suponiendo que el primer mineral que se depositó fué la pirita y en seguida la arsenopirita. Esta última en parte reemplazó a la pirita ya formada. El oro seguramente se depositó inmediatamente después que la arsenopirita o simultáneamente con ella. La última suposición es más probable, por el hecho que no aparece oro libre en el cuarzo.

Después de consolidada la veta con los minerales mencionados se ha debido producir cierto agrietamiento, lo que tuvo por consecuencia el acceso de las soluciones que depositaron la blenda, pues ésta penetra en guías a la arsenopirita. Dichas guías no se pueden considerar como simple relleno de grietas porque ambas paredes no son paralelas y debieron intervenir seguramente procesos de reemplazo.

Las inclusiones de calcopirita dentro de la blenda las consideramos como productos de desmezclamiento, es decir, a la época en que se consolidó la blenda contenía calcopirita en solución sólida, y después por efecto del cambio de las condiciones de presión y temperatura, tal solución no era estable y se habría producido la segregación de calcopirita. En realidad en todas las secciones pulidas examinadas no se encontraron las texturas características para esta clase de desmezclamiento, pero el hecho de que nunca aparezca la blenda sin las inclusiones, ya sea que esté en contacto con calcopirita o no, nos parece razón suficiente para atribuir las inclusiones a este proceso.

La presencia de inclusiones de calcopirita dentro de blenda, de un modo análogo al que aparece en Pichidegua, es general en casi todos los yacimientos de este tipo, y por eso ha sido ampliamente discutido el origen de tales texturas. Los resultados más concluyentes a este respecto son los obtenidos por N. W. Buerger en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, EE. UU. (1). Este investigador hizo una serie de experiencias calentando la blenda con inclusiones de calcopirita a diversas temperaturas. En seguida las enfriaba rápidamente por una corriente de aire. Como resultado de estas experiencias llegó a la conclusión que existe una solución sólida de calcopirita en blenda, la cual se separa a una temperatura que varía de 350° a 400°.

La temperatura de desmezclamiento obtenida por Buerger es indudablemente muy superior a la temperatura del ambiente en que se produjo tal fenómeno en la veta; pero hay que considerar que las condiciones de presión eran totalmente diferentes.

---

(1) Buerger.—The Unmixing of Chalcopyrite from Sphalerite.—American Mineralogist. Vol. 19. N.° 11. Nov. 1934.

Otro hecho que nos induce a considerar la calcopirita como producto de desmezclamiento es la circunstancia de que sus inclusiones aparecen más concentradas en las periferias que limitan con los minerales de depositación posterior. La concentración de las inclusiones de calcopirita cerca de los bordes, como producto del desmezclamiento tendría cierta analogía con la segregación del oro en las piritas auríferas que obtuvo Bürg (1) cuando transformó la pirita en magnetopirita. Según este investigador, las egregación se produce en mayor abundancia cerca de los planos de discontinuidad, porque hay fuerzas moleculares no equilibradas.

Después de la blenda con inclusiones vino la calcopirita que aparece en guías dentro de la blenda o formando manchas más o menos grandes. Posiblemente parte de esta calcopirita fué suministrada por el desmezclamiento.

No se ha podido establecer una relación precisa entre la época en que entraron los carbonatos (siderita) y los súlfuros depositados después de la blenda y lo único que sabemos es que aquella corroe la blenda. Por lo tanto, es probable que la venida de los carbonatos haya sido simultánea con los demás súlfuros y posterior a la época en que se produjo el desmezclamiento de la blenda-calcopirita correspondiendo este cambio en la composición de las soluciones a nuevas condiciones de temperatura.

Las relaciones morfológicas descritas para la calcopirita, galena y tetrahedrita indican que han penetrado unos en otros, en el orden enumerado, a lo largo de grietas, por procesos de relleno y reemplazo.

Las soluciones carbonatadas no han tenido al parecer ninguna acción de importancia en las rocas encajadoras cuando ellas corresponden a granodiorita, pero si en los filones lamprofíricos, los que llevan una gran cantidad de siderita y algo de calcita, desarrolladas seguramente por la acción del anhidrido carbónico sobre los minerales ferromagnesianos. El siguiente análisis efectuado por el señor Westman corresponde al filón de minette que se encuentra cerca del frente del Nivel 2 de la mina Litre.

SiO_2	55.80
Al_2O_3	16.00
Fe_2O_3	3.52
Fe O	5.72
Mg O	1.09
Ca O	4.37
Na_2O	4.60
K_2O	1.00
CO_2	8.10

Calculado todo el fierro ferroso en forma de carbonato, lo mismo que la magnesia y la cal resulta:

Siderita	9.2%
Dolomita	2.7%
Calcita	7.7%
Hematita	3.5%

(1) G. Bürg.—Natur des in den Pyriten nich sichtbar enthaltenen Galdes. Zeitschrift für praktische Geologie.

Ortoclasa	6.1%
Albita	38.2%
Corindon	7.4%
Cuarzo	22.0%

Esta composición, aunque no corresponde exactamente a la real, da una idea de la alteración que ha sufrido la roca. La alúmina expresada en forma de corindón debe corresponder a sericita, lo mismo que gran parte de la ortoclasa.

Después de formados los súlfuros y carbonatos las vetas sufrieron una reapertura y ascendieron soluciones silicosas que depositaron fajas de cuarzo blanco lechoso, bien características, como puede verse en (Fig. 7, Lám. IV). Este cuarzo se ha depositado especialmente en una grieta, pero también avanzó hacia las fajas laterales, donde produjo reemplazos de los otros minerales, los que se caracterizan por las formas idiomórficas de las secciones transversales. Un caso de estos reemplazos aparece en (Fig. 10, Lám. V).

La oxidación ha tenido lugar solamente en las cercanías a la superficie y minerales que se puedan atribuir a la zona de cementación no existen, de modo que debemos considerar todos los súlfuros metálicos como formaciones hipógenas.

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCIÓN CONTROL

BIBLIOTECA NACIONAL
SECCION CHILENA
SANTIAGO DE CHILE