

**MINERALOGIA, ALTERACION HIDROTHERMAL E INCLUSIONES FLUIDAS  
DEL YACIMIENTO AURIFERO DE MINAS DEL PRADO, REGION DEL BIOBIO,  
SUR DE CHILE**

S. Collao\* y J. Frutos\*

### Introducción

El yacimiento aurífero de Minas del Prado se caracteriza por varias vetas y cuerpos de brecha hidrotermal de baja ley de oro, emplazados en una serie de rocas volcánicas-piroclásticas del Terciario.

La alteración hidrotermal consiste en una fuerte silicificación de los cuerpos de brechas y sectores centrales de las vetas con alteración argílico-sericítica más marginal. De extensión más distal y con carácter distrital, domina una alteración propilítica compuesta por epidota, clorita, calcita y albita.

La mineralización metálica está caracterizada por una facies sulfurada en que predomina la pirita en relación a escasa y ocasional ocurrencia de arsenopirita, pirrotita, marcasita, calcopirita, tetraedrita, covelina y antimonita. La mineralización oxidada es pobre, destacándose limonita y rutilo en relación a magnetita y hematita. La mineralización de oro consiste en electrum, asociado a una segunda facies paragenética de pirita-cuarzo.

Inclusiones fluidas del tipo líquido-vapor presentes en cristales de cuarzo asociado a la mineralización de oro-pirita en las vetas, tienen un intervalo de temperatura de 182-255°C y salinidad de 2,4-5,8% en peso de NaCl. Estos intervalos son levemente inferiores al detectado en cristales de cuarzo, como oro-pirita de un cuerpo de brecha cuyos valores de temperatura oscilan entre 225-337°C y los de salinidad entre 3,0-8,5% en peso de NaCl.

En consideración de esta evidencia, el yacimiento

de Minas del Prado puede considerarse como un clásico depósito epitermal de oro precipitado con minerales que reflejan una sulfidación alta en una facies silicatada, generados bajo condiciones de baja temperatura y salinidad.

El yacimiento de Minas del Prado, ubicado a 45 km al este de la ciudad de Chillán, en la Región del Biobío, ha sido objeto de estudio de varios autores y compañías mineras (Ambrus y Araya<sup>1</sup>; Ambrus<sup>2</sup>; B.R.G.M.<sup>4</sup>; Bronkhorst<sup>3</sup>; Ferraris *et al.*, 1987; CEDIMIN S. A., 1989, y otros.), con la finalidad de evaluar fundamentalmente su potencial económico aurífero. Este potencial ha sido estimado en unas 200.000 t de reservas con una ley de 2,3 g/t de Au<sup>1</sup>.

En esta investigación, el yacimiento ha sido estudiado desde el punto de vista científico-aplicado, para mejorar el conocimiento de la petrografía, minerales de alteración y metálicos y características microtermométricas que conduzcan a determinar algunas condiciones de formación del yacimiento.

El trabajo ha estado enmarcado en los Proyectos DI U. de C. No. 20.34.22 y Fondecyt No. 697/89. Este último pretende comparar las condiciones de formación de sistemas geotérmicos actuales (El Tatio, Puchulliza y Campanario), con yacimientos auríferos conocidos, dentro de los cuales figura el depósito de Minas del Prado.

### Metodología

El muestreo y levantamiento geológico del yacimiento se efectuó entre Mayo y Septiembre de 1989.

En la investigación de laboratorio se estudiaron numerosas secciones microscópicas (35) para definir la

\* Departamento de Geociencias, Universidad de Concepción, Casilla 4107, Concepción 3, Chile.

petrografía y minerales de alteración, mineralización metálica y las características microtérmicas de las inclusiones fluidas. En la investigación fueron utilizados un microscopio Zeiss Universal (con Monocromador y microfotómetro para medidas de reflectividad), un microdúrmetro Akashi modelo D, un microscopio Nikon Optiphot-Pol y una platina calentadora-enfriadora Linkam TH-600.

Para definir algunos minerales problemáticos, que se presentan como pequeñas inclusiones de tamaños micrométricos ( $10\text{-}75\mu$  de diámetro) y conocer la composición cuantitativa del oro, se utilizó una microsonda electrónica JEOL Super Probe JXA-8600.

Las condiciones de operación de la microsonda electrónica fueron 20 kv de aceleración de voltaje y corriente de  $5,6 \times 10^{-8}\text{A}$ . Los estándares utilizados fueron oro, plata, aluminio y marcasita sintética.

### Marco Geológico

El yacimiento de oro de Minas del Prado está emplazado en una serie de rocas volcánico-piroclásticas (Fig. 1), constituidas principalmente por tobas de composición dacítico-andesíticas, tobas de lapilli, intercalaciones menores de flujos de andesitas y aglomerados y brechas volcánicas. Este conjunto litológico corresponde a las denominadas series Piernas Blancas (Superior e Inferior), asignadas al Terciario inferior a medio<sup>1</sup>. Cuerpos de brecha hidrotermal subvolcánica de formas irregulares (Fig. 1) y diques andesíticos se disponen discordantemente a la serie volcánico-piroclástica.

Sobreyaciendo a los conjuntos litológicos ya descritos se disponen conglomerados semiconsolidados con escaso oro de tipo placer y flujos volcánicos andesíticos y piroclásticos, correlacionables con la Formación Cola de Zorro. A esta secuencia se le ha asignado una edad cuaternaria (0,5-1,5 Ma), según datación de estudio convenido por M.M.A.J. JICA/Instituto de Investigaciones Geológicas<sup>6</sup>.

### Control Estructural y Cuerpos Mineralizados

La mineralización en vetas (San Lorenzo, Rudemil

Pérez, Pedernales y otros (Fig. 1) se orienta según un sistema preferente de rumbo  $N65^\circ E$  con manto subvertical de  $70^\circ E$  al sureste, en tanto que algunos cuerpos de brecha mineralizados tienden a orientarse según ejes NNW. Este patrón estructural ya apreciado en estudios anteriores<sup>3, 5</sup>, habría controlado la circulación de los fluidos responsables de la alteración hidrotermal y de la mineralización metálica. Los cuerpos de brecha en el sistema, corresponderían a una fase más temprana que la generación de las vetas, lo cual es corroborado por los resultados del estudio de inclusiones fluidas que se detalla más adelante.

### Alteración Hidrotermal y Mineralización Metálica

La alteración y mineralización metálica en el Yacimiento de Minas del Prado está relacionada con tres eventos o pulsaciones paragenéticas que se han evidenciado principalmente mediante la ocurrencia asociada de pirita-sílice.

El primer evento paragenético consiste en pirita, finamente diseminada en la matriz de algunas rocas volcánicas. A este evento suele asociarse calcopirita, arsenopirita, magnetita y rutilo, los cuales están ocasionalmente diseminados o a nivel de trazas principalmente en la matriz de rocas volcánicas, del entorno de los cuerpos mineralizados.

Un segundo evento paragenético comprende venillas de agregado de cuarzo, ocasionalmente amatista (sólo en brechas hidrotermales) y cristales idiomórficos cúbicos de pirita (cristales gruesos de hasta 200 micrones de diámetro), los cuales cortan al primer evento paragenético. Esta asociación predomina en las vetas y en los cuerpos de la brecha, y a ella pueden acoplarse arcillas (principalmente caolín) y limonita (jarosita y goetita), los cuales son más dominantes hacia las cajas de las vetas.

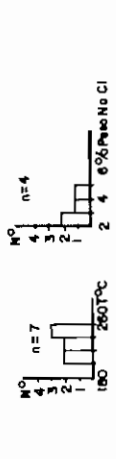
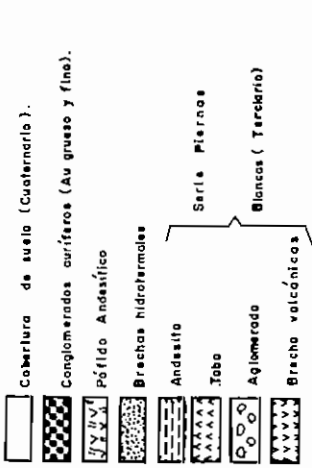
A este evento paragenético se asocia la mineralización de oro, la que ocurre en partículas laminares menores de 25 micrones de largo de sección, incluido en cuarzo, ocasionalmente acompañado de tetraedrita, hematita y antimonita. El oro analizado corresponde a la variedad de «electrum» según se desprende del estudio con la microsonda electrónica, en la que se determinó

MAPA GEOLOGICO Y ESTRUCTURAL

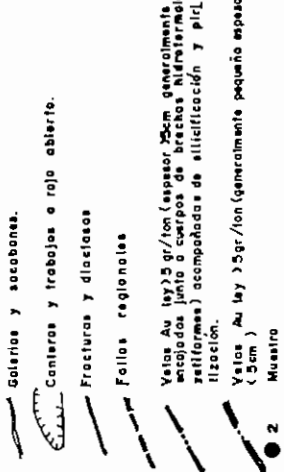
Parí: Santiago Collao



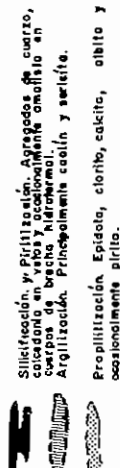
LEYENDA



Histogramas de frecuencia (Nº de inclusiones) versus Temperatura de homogenización (°C) o salinidad (% PwNaCl)

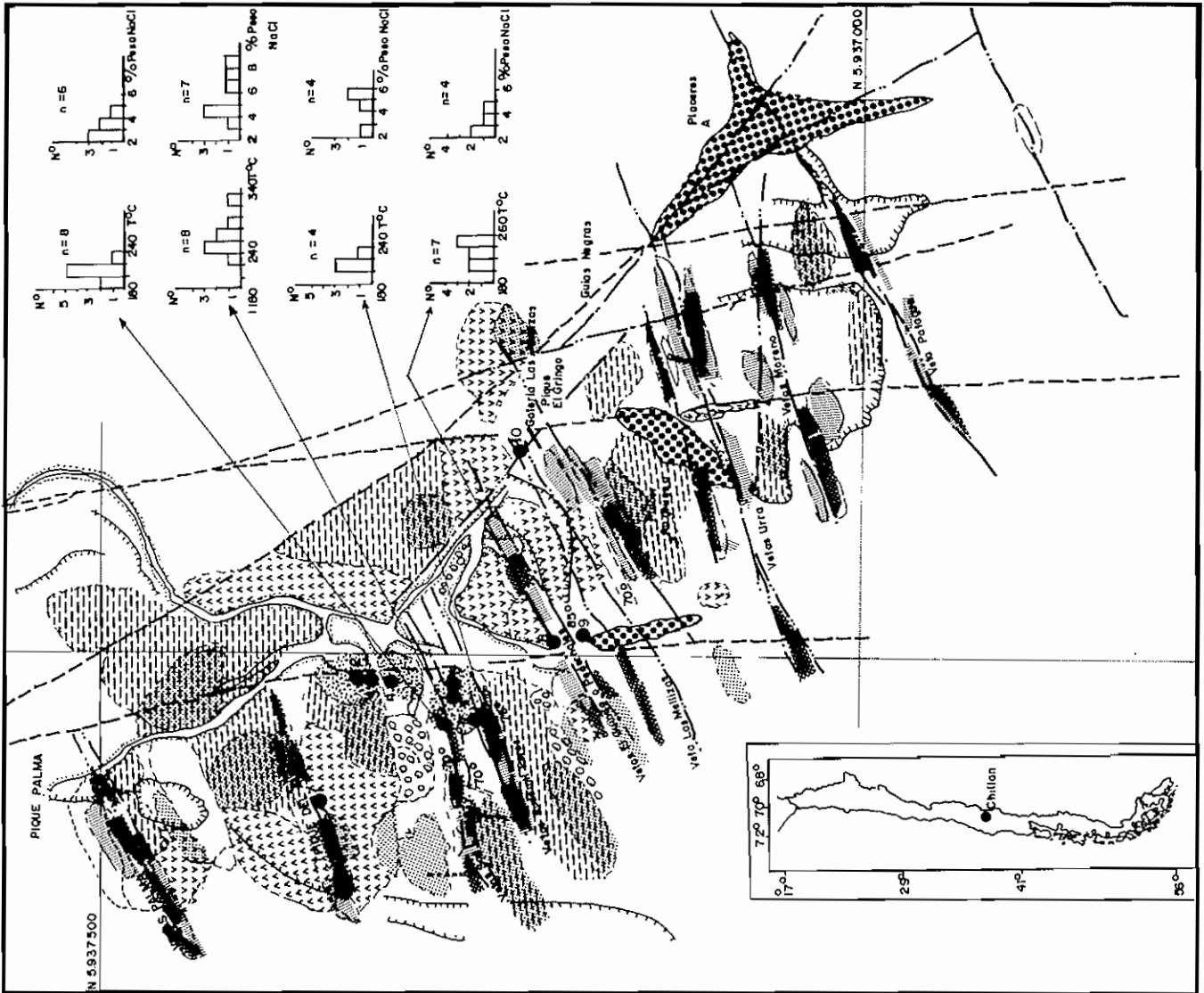


ALTERACION HIDROTHERMAL



REFERENCIAS

Ambros, J. y Aroyo, M., 1961  
 Brankhorst, D. 1964  
 Frutos, 1969



una composición cuantitativa promedio de 78,5%, 18,5% y 0,15% en peso de Au, Ag y Al, respectivamente (Tabla 1).

**Tabla 1. Composición cuantitativa de minerales en muestras de Minas del Prado**

Electrum			
Muestras El. % peso	SL.1	Br.1	R.P.1
Au	78,009	78,181	79,211
Ag	18,576	18,564	18,880
Al	0,059	0,047	0,850
<b>Total</b>	96,645	96,792	97,850
Pirrotita		Marcasita	
Fe	59,825	46,094	
S	89,112	58,658	
<b>Total</b>	98,937	99,752	

### Inclusiones Fluidas

Las inclusiones fluidas investigadas son de pequeño tamaño (5-36 micrones) y se presentan exclusivamente en cuarzo, en abundancias que no sobrepasan los 150 individuos.

La selección de inclusiones fluidas para representatividad de los resultados se restringió esencialmente a aquellas paragenéticamente ligadas a venas de cuarzo asociado a pirita con oro dentro de la vetilla y de características primarias y pseudosecundarias en el cuarzo que las hospeda. Las inclusiones fluidas son bifásicas del tipo líquido-vapor, ricas en la fase líquida (80-95% en volumen), en relación a la fase vapor. Sólo excepcionalmente la relación de proporción de fase se observó invertida.

### Resultados microtermométricos y Consideraciones de condiciones de la formación del yacimiento

La temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas en cristales de cuarzo de los cuerpos mine-

ralizados de Minas del Prado varía entre 182° y 337°C. La salinidad-calculada sobre la base de la depresión del punto de congelamiento utilizando las ecuaciones de Potter *et al.*<sup>7</sup> fluctuó entre un intervalo de 2,4-8,5% en peso de NaCl equivalente. De estos intervalos pueden diferenciarse subintervalos más bajos para las vetas y más altos para el cuerpo de brecha. Para el conjunto de muestras provenientes de las vetas el intervalo de temperatura de homogeneización oscila entre 182° y 255°C con variación de la salinidad entre 2,3% y 5,8% en peso de NaCl equivalente. En el el cuerpo de brecha el intervalo de temperatura varía entre 225-337°C y la salinidad entre 4,2% y 8,5% en peso de NaCl equivalente. Los valores, graficados en histogramas de frecuencia (Fig. 1), expresan para las vetas, una moda entre los 200° y 220°C, en tanto que en el cuerpo de brecha la moda tiende a ubicarse entre los 240° y 280°C.

Los valores de temperatura como de salinidad aquí obtenidos, indican que el yacimiento de Minas del Prado corresponde a un típico depósito epitermal de oro, precipitado a bajas temperaturas y salinidad. Un evento térmico y de salinidad de los fluidos más alto en el cuerpo de brecha que en las vetas, estaría corroborando la idea que el emplazamiento de las soluciones en los cuerpos de brecha estaría relacionado a condiciones más tempranas y subvolcánicas que las que habrían dado lugar a las vetas.

### Referencias

1. Ambrus, J.; Araya, M. 1981. Notes on the geology of Minas del Prado, Chile. (Informe inédito).
2. Ambrus, J. 1981. Geoquímica de drenajes Minas del Prado. (Informe inédito).
3. Bronkhorst, D. 1981. Evaluación Geológico-Minera de Minas del Prado. Minera Phelps-Dodge. (Informe inédito).
4. B.R.G.M. 1981. La Mine de Minas del Prado. Programa de Desarrollo de Minas del Prado. (Informe inédito).
5. Frutos, J. 1989. Informe geológico-económico preliminar de Minas del Prado. (Informe inédito).
6. I.I.G.-M.M.A.J. 1981. Informe del reconocimiento geológico de la región andina situada al este de la ciudad de Concepción. (Informe Consolidado).
7. Potter, R.W. II; Clynne, M.A.; Brown, D.L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 284-285.