

## GEOLOGIA DE LA VETA INDIO SUR 3.500; UNA ESTRUCTURA TIPO BONANZA DEL YACIMIENTO EL INDIO

RAYMOND JANNAS R.

RAMON ARANEDA G.

Compañía Minera el Indio, Casilla 123, Las Serena, Chile.

Compañía Minera San José, Casilla 183, La Serena, Chile.

### RESUMEN

En el yacimiento El Indio, ubicado en la Cordillera de los Andes de la IV Región, se está explotando una espectacular estructura vetiforme (Indio Sur 3.500). Esta veta tiene una corrida máxima de 130 m y un ancho medio de tres. Su rumbo es noreste y su manteo varía entre 60° y 70° NW. Las rocas encajadoras son tobas líticas piritizadas, afectadas por alteración cuarzo-sericitica y argílica avanzada. Indio Sur 3.500 es una veta de relleno, con texturas de brechización, bandeamiento y depositación coloidal. La ganga principal es sílice, en forma de cuarzo, que aparece junto a tipos amorfos tales como calcedonia, ópalo y jaspe. La veta incluye fragmentos de las rocas de caja silicificadas, con alunita, caolín y pirofilita.

La mineralización económica está compuesta por sulfuros y sulfosales (enargita, tenantita, tetraedrita, piritita, luzonita, calcopiritita, digenita, galena, esfalerita). Los minerales de oro son: oro nativo, auricuprita, calaverita y krennerita. Entre los minerales de plata se encuentran hessita, petzita y estromeyerita. La zona de oxidación está poco desarrollada y en ella es común la presencia de teluratos, arseniatos y sulfatos (emmonsita, beudantita, escorodita y osarizawaite). Las leyes medias alcanzan 1-4% Cu; 50-10 gr/t Ag y 150-200 gr/t Au, siendo frecuente encontrar leyes de oro con valores mayores a un kilogramo por tonelada.

### ABSTRACT

In El Indio mine (Andean Range, IV Region, Chile) a conspicuous gold vein (Indio Sur 3,500) is being mined. The vein has a northeastern strike and dips sixty to seventy degrees to the northwest. It reaches 130 m in length and a width of 3 m. The host rocks are lithic tuffs with disseminated pyrite, and quartz-sericitic or advanced argillic alteration assemblages. Indio Sur 3,500 is a fracture filling structure with hydrothermal breccias, ribbon or banded quartz, and coloidal deposition textures. The principal gangue mineral is silica, mainly as quartz but amorphous types such as chalcedony, opal and jasper are also common. Silicified tuff fragments with alunite, caolin and pyrophyllite are also found in the vein.

The ore minerals are mainly sulfides and sulfosalts (enargite, tetrahedrite, tennantite, pyrite, luzonite, chalcopryite, digenite, galena, sphalerite). Gold minerals are native gold, auricupride, calaverite and krennerite. They occur associated with silver minerals (hessite, petzite and stromeyerite). The oxidation zone is poorly developed, and telurates, arseniates and sulfates (emmonsite, beudantite and osarizawaite) have been found in it. The average grade is 1-4% Cu; 50-150 gr/ton Ag; 150-200 gr/ton gold, while assays with more than one kilogram of gold per ton are not uncommon.

### INTRODUCCION

La mina El Indio está localizada en la Alta Cordillera de la IV Región (29°45' Lat. S; 69°59' Long. W). Corresponde a una serie de cuerpos vetiformes, que ocupan una superficie cercana a los 5 km<sup>2</sup> (Fig. 1), emplazados en rocas volcánicas ácidas del Miembro Tilito de la Formación Doña Ana, del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Maksaev *et al.*, 1984). La mineralización está

controlada estructuralmente. Dos fallas mayores de orientación NE/SW y manteo al NW, limitan un bloque mineralizado, cuyas dimensiones alcanzan 500 por 150 m (Fig. 2). En su interior se reconocen estructuras sigmoidales, en cola de caballo y en escalones, que controlaron la depositación de metales (Araneda, 1982, 1984).

La veta Indio Sur 3.500 es una de las estruc-

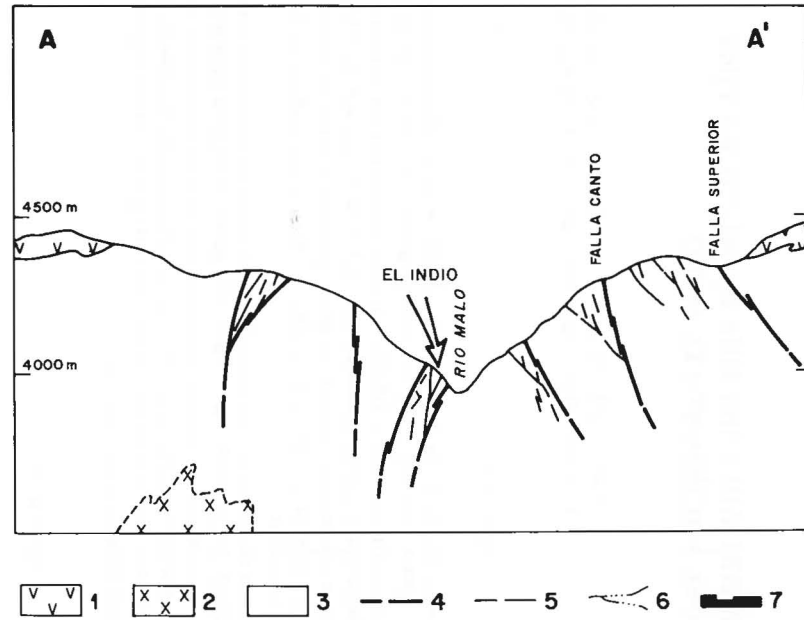
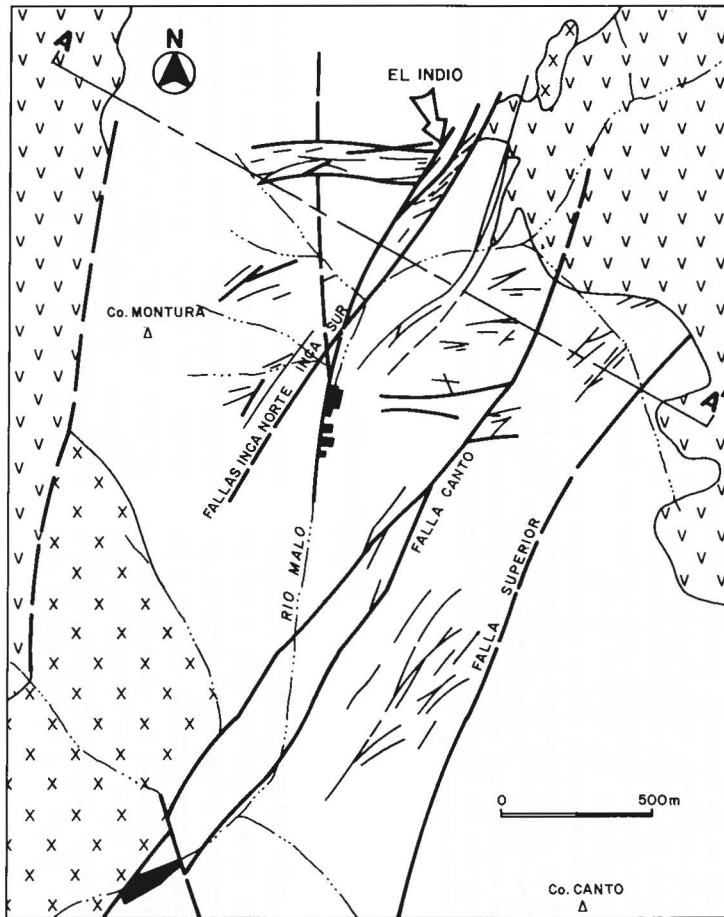


FIG. 1. Plano geológico generalizado y sección transversal. Distrito El Indio, Coquimbo, Chile. 1: rocas volcánicas andesíticas del Terciario; 2: granodioritas terciarias; 3: tobas dacíticas con intensa alteración argílica avanzada (Terciario); 4: fallas; 5: vetas; 6: drenaje; 7: instalaciones.

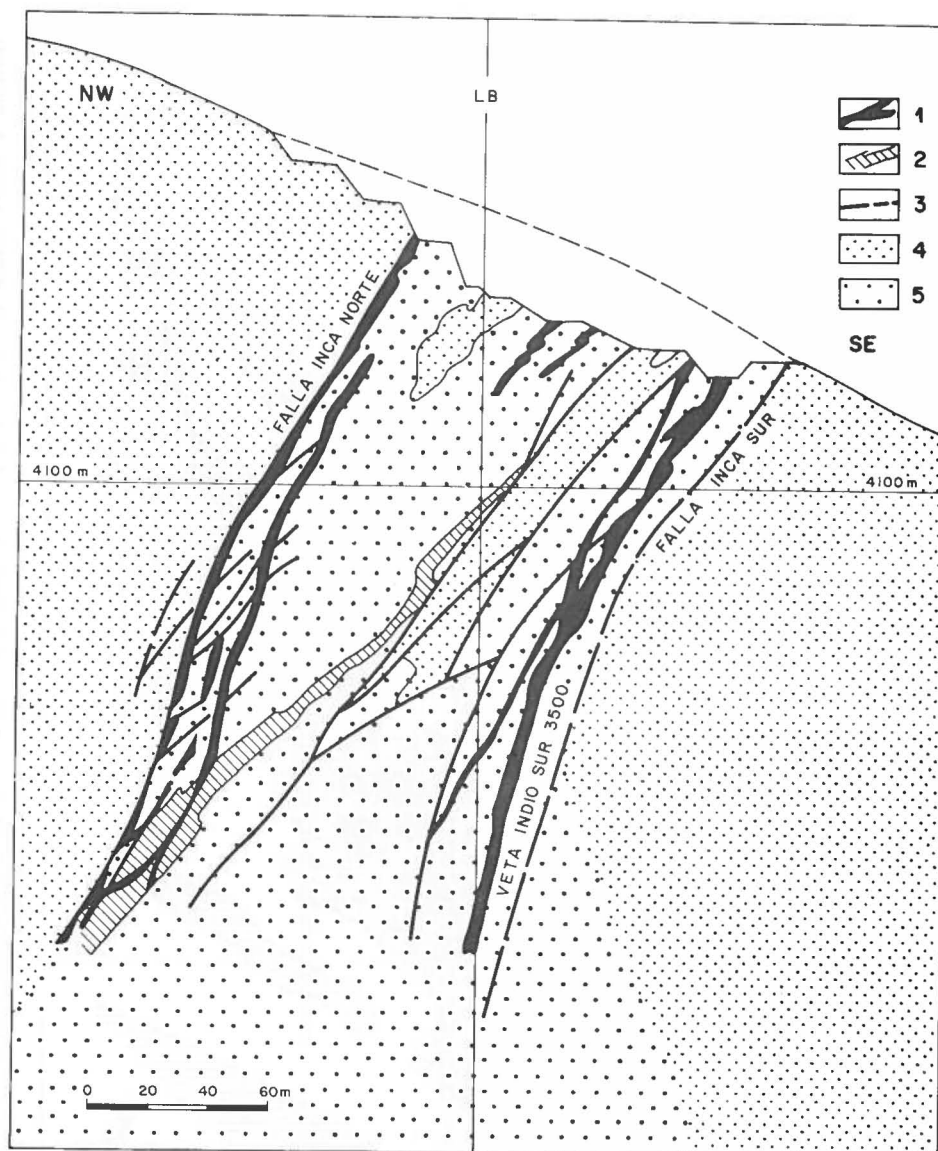


FIG. 2. Sección transversal generalizada del yacimiento El Indio, mostrando la veta Indio Sur 3.500 y su relación con otras estructuras. 1: veta de cuarzo-oro; 2: veta maciza de sulfuros; 3: falla principal; 4: falla secundaria; 5: alteración argílica avanzada; 6: alteración propilítica.

turas mayores del sistema de vetas de El Indio y se ubica al yacente de dicho sistema (Fig. 2). Su nombre se deriva del hecho que, durante la etapa de exploración, se recolectó, en ella, una muestra que entregó 3.500 ppm de Au. La veta se ha explotado durante los últimos seis años, produciendo, durante este período, alrededor de 25 toneladas de oro, estimándose que sus reservas superan las 30 toneladas de oro. La veta tiene rumbo y manto variable entre N30-35° E/60-90° NW. Su mayor elon-

gación en planta alcanza a los 200 metros y la potencia varía desde 0,5 hasta 6 metros. Se expone con una diferencia de cota de 270 metros, habiéndose reconocido, con sondajes, los últimos 25 metros. No se ha determinado su límite inferior.

El registro geológico que se lleva a cabo para el control de la explotación es extremadamente detallado. En las cámaras de producción se efectúan mapeos 1:100, con muestreos de canal en el techo cada 2 m, siguiendo el rumbo de la veta. El ciclo se

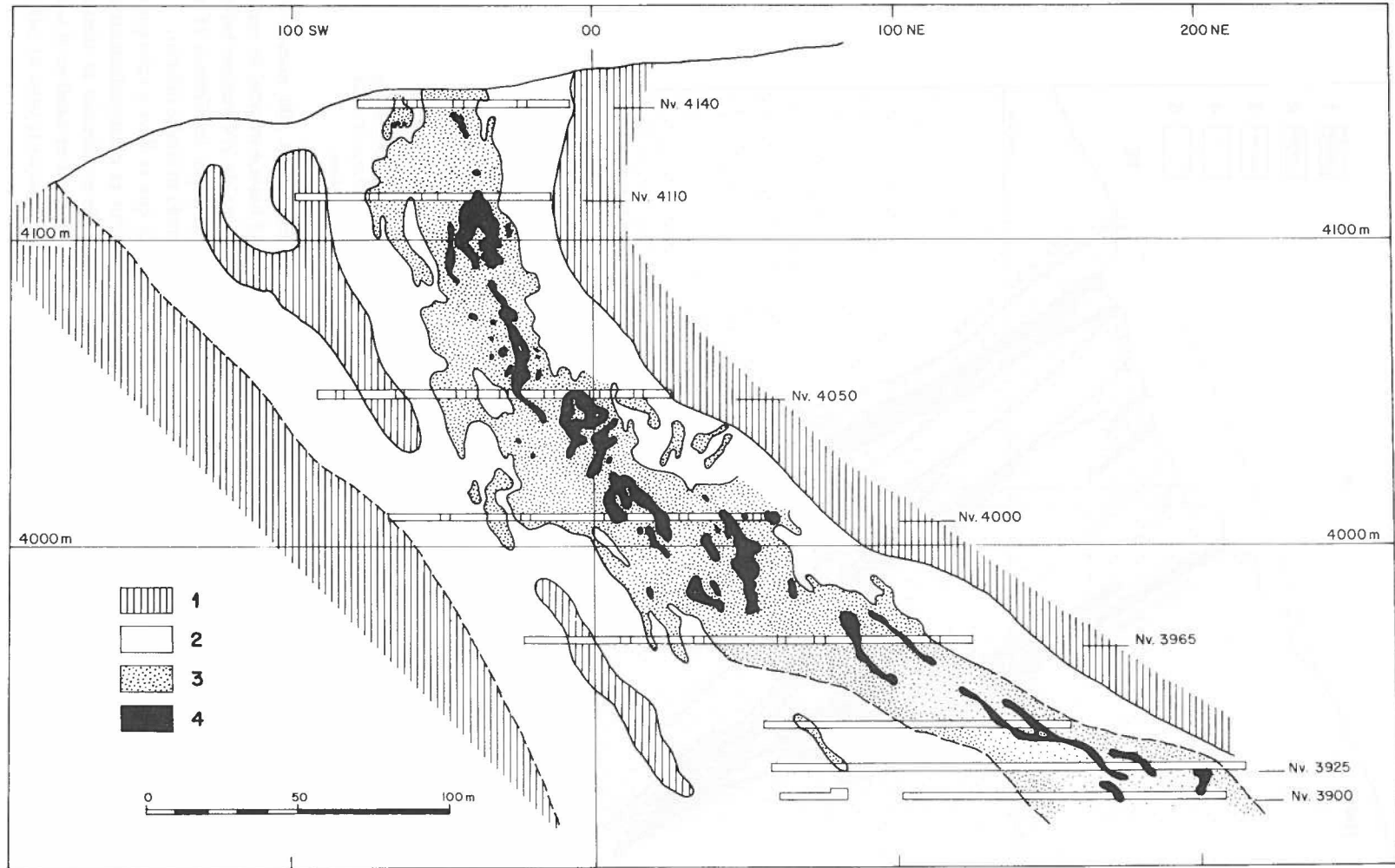


FIG. 3. Sección longitudinal del clavo mineralizado en la veta Indio Sur 3.500, mostrando la distribución de las leyes de oro. 1: 0-2 gr Au/tm; 2: 2-80 gr Au/tm; 3: 80-1000 gr Au/tm; 4: mayor que 1000 gr Au/tm.

repite en cada uno de los cortes de explotación de 3 m de altura. Esta densidad de información permite mantener un estricto control de calidad sobre los cuerpos de alta ley de oro, de geometría irregular, que se extraen gracias a un minado selectivo, de baja productividad pero de alto beneficio. En la figura 3, se muestra la distribución de estas zonas, calificadas como marginal (0-2 gr Au/t), baja ley (2-80 gr Au/t) y alta ley (mayor que 80 gr Au/t).

## CONTROL ESTRUCTURAL

El emplazamiento de la veta se produjo a través de un sistema de fallas y fracturas preminerales, que formaron los canales por donde circularon las soluciones causantes de la mineralización y alteración. El fracturamiento continuó durante la formación de la veta, produciéndose la reapertura y resquebrajamiento de las vetas tempranas (principalmente vetas de enargita y "cobres grises") y la inclusión, en ellas, de fragmentos de las rocas de caja. Este proceso estuvo acompañado por la formación de notables texturas de relleno de espacios abiertos. A pesar de ello, no se observa brechización de la roca de caja (sólo un pequeño "stock-work" de cuarzo, aparece en las cercanías). Las fallas postminerales no tienen importancia, ya que sólo un sistema de fracturas subparalelo a la veta, con pequeño desplazamiento horizontal, ha sido observado en su extremo suroeste. Un rasgo geométrico sobresaliente de la veta Indio Sur 3.500 es la inclinación al noreste, que presentan los ejes mayores de los cuerpos de mena (Fig. 3), especialmente el clavo de alta ley de oro, lo cual indicaría que esa es la dirección desde donde circularon las soluciones hidrotermales.

## ROCAS DE CAJA Y ALTERACION

Las rocas huéspedes de la veta Indio Sur 3.500 son tobas soldadas, tobas de lapilli y tobas fragmentales, con una mineralogía de alteración constituida por cuarzo, sericita, pirofilita, caolinita, y diásporo.

Las rocas originales corresponden a tobas dacíticas (tobas soldadas, fragmentales) y, en menor proporción, a tobas riolíticas y andesitas. Las tobas dacíticas están constituidas por un 30-60% de fragmentos de cristales, entre los cuales destacan cuarzo engolfado, plagioclasa, escasa biotita

y minerales opacos, que aparecen junto a fragmentos líticos de tobas y andesitas. La matriz es fina, alcanzando entre 40 y 70% en volumen, y presenta rasgos de fluidez. Está constituida por un agregado microcristalino de cuarzo, arcillas y sericita, "shards" y fragmentos pumíceos desvitrificados. Es característica la presencia de clorita, producto de alteración de cristales de biotita.

A ambos lados de la veta Indio Sur 3.500 se desarrollan halos de alteración, de ancho variable entre 2 y 30 m, en los cuales gran parte de las rocas están desde parcial a totalmente alteradas. Las rocas alteradas presentan colores claros, con tonalidades grises, amarillas y rosadas, y moderado a intenso fracturamiento. Los límites entre los halos de alteración y otras unidades de roca son abruptos. Las rocas alteradas mantienen, en general, su textura primaria, pero los minerales originales, con excepción del cuarzo, han sido transformados. La mineralogía de estos halos está dominada por la asociación de cuarzo, sericita, pirofilita, caolinita, diásporo, alunita, piritita y jarosita, con predominancia de los tres primeros. Esta asociación es típica de una alteración de tipo **argílica avanzada** (Hemely y Jones, 1964), producida por una hidrólisis intensa (metasomatismo de hidrógeno) de las rocas en condiciones ácidas (White, 1981).

Los filosilicatos ocupan entre un 20 y 30% en volumen de las rocas alteradas, habiéndose determinado, por difracción de Rayos X, un predominio de la pirofilita sobre la sericita. Ambos minerales se presentan como reemplazo de fragmentos de plagioclasa y líticos, diseminados en la matriz y formando ventillas entrecrecidas con cuarzo. El cuarzo constituye, en general, agregados microcristalinos formando, en parte, estructuras de mosaico, especialmente en la matriz. También forma vetillas hidrotermales, que se distinguen fácilmente del cuarzo original de las rocas. La caolinita está presente en pequeña cantidad, como diseminación en la matriz silíceas. El diásporo es escaso, pero está presente en la mayoría de las muestras estudiadas, formando pequeños agregados microcristalinos y cristales aislados en la matriz. La alunita está subordinada y sólo aparece ocasionalmente en la matriz. La piritita tiene una distribución irregular, aumentando su volumen en profundidad. A menudo se observa, macroscópicamente, un reemplazo de fragmentos líticos por piritita que está, a su vez, reemplazada por jarosita.

## MINERALOGIA

Los minerales observados en la veta Indio Sur 3.500 se presentan en la Tabla 1. De ellos, los más

comunes son tenantita, enargita, pirita y oro nativo. No se han observado formas cristalinas de gran tamaño, siendo frecuente encontrar pequeñas drusas con cristales de algunos milímetros de largo.

**TABLA 1. MINERALES DE LA VETA INDIO SUR 3500**

### Minerales de Oro

Oro nativo Au  
Calaverita Au Te<sub>2</sub>  
Sylvanita (Au, Ag) Te<sub>4</sub>

Oro cuprífero (Au, Cu)  
Krennerita (Au, Ag) Te<sub>2</sub>

### Minerales de Plata

Estromeyerita Cu Ag S  
Petzita Ag<sub>3</sub> Au Te<sub>2</sub>

Hessita Ag<sub>2</sub> Te

### Minerales de Cobre

Cobre nativo Cu  
Enargita Cu<sub>3</sub> As S<sub>4</sub>  
Calcopirita Cu Fe S<sub>2</sub>  
Luzonita Cu<sub>3</sub> As S<sub>4</sub>  
Bornita Cu<sub>5</sub> Fe S<sub>4</sub>  
Calcosina Cu<sub>2</sub> S

Tenantita Cu<sub>3</sub> As S<sub>3</sub>  
Tetraedrita Cu<sub>3</sub> Sb S<sub>3</sub>  
Famatinita Cu<sub>3</sub> Sb S<sub>4</sub>  
Idaita Cu<sub>3</sub> Fe S<sub>4</sub>  
Digenita Cu<sub>2</sub> S  
Covelina Cu S

### Otros

Pirita Fe S<sub>2</sub>  
Marcasita Fe S<sub>2</sub>

Arsenoripita Fe As S  
Pirrotina Fe<sub>1-x</sub> S

Marcasita Fe S<sub>2</sub>  
Estibnita Sb<sub>2</sub> S<sub>3</sub>  
Galena Pb S  
Telurito Te

Pirrotina Fe<sub>1-x</sub> S  
Esfalerita Zn S  
Hubnerita Mn WO<sub>4</sub>  
Rutilo Ti O<sub>2</sub>

### Minerales de Ganga

Cuarzo (y variedades criptocristalinas) SiO<sub>2</sub>  
Caolinita Al<sub>4</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub>  
Beudantita Pb Fe<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>)(OH)<sub>6</sub>  
Jarosita K Fe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>  
Diásporo Al O(OH)

Pirofilita Al<sub>2</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>  
Emmonsita Fe<sub>2</sub> Te<sub>3</sub>O<sub>9</sub> 2H<sub>2</sub>O  
Osarizawaita Pb Cu Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>  
Alunita K Al<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>  
Escorodita Fe AsO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O

### Minerales de Oro

La veta se caracteriza por la presencia de oro nativo, visible macroscópicamente, que se concentra, de preferencia en el cuarzo, formando una

fina disseminación, cúmulos irregulares o vetillas de hasta 5 mm de ancho. Las partículas de oro tienen una granulometría variable entre 1 y 300 micrones, con tamaño promedio de 14 micrones (Fig. 6); las leyes más altas de oro se encuentran en

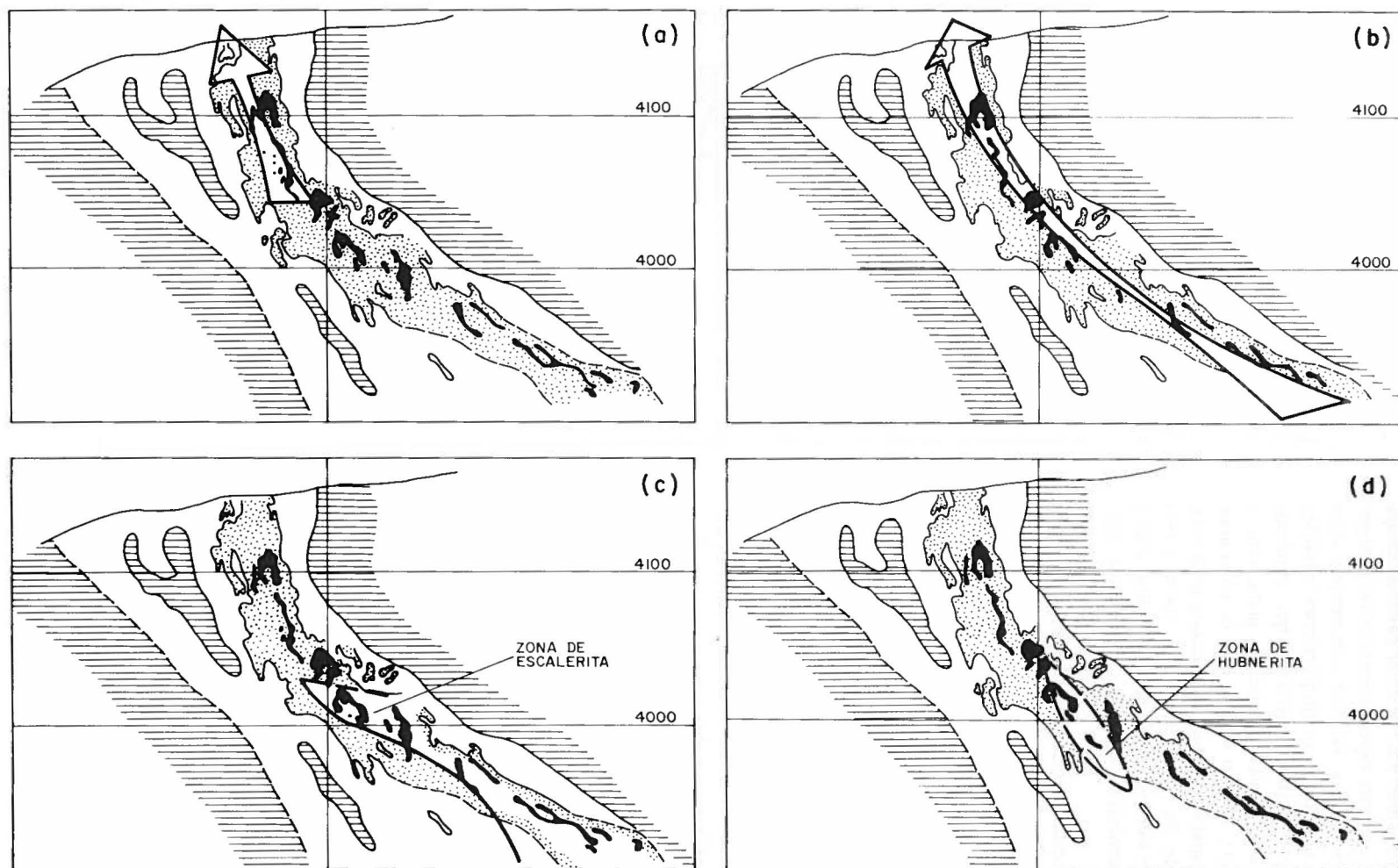


FIG. 4. Corte longitudinal veta Indio Sur 3.500, mostrando las zonas de alta ley y su relación con: a: distribución oro pardo-anaranjado y minerales verdes (emmenita, beudantita, osarizawaita); b: distribución oro amarillo típico; c: distribución esfalerita; d: distribución hubnerita.

el yacente de la veta.

En terreno, es posible discriminar entre dos tipos de oro visible, uno de color **pardo-anaranjado**, que se concentra especialmente entre la superficie y el N-4050 (Fig. 4a). Este corresponde a una aleación de oro/cobre, en proporciones variables, entre 4/6 y 7/3 (oro cuprífero), que contiene, además, una pequeña cantidad de plata, cinc y hierro (Fig. 5). El otro tipo de oro, de color **amarillo típico**, aparece en toda la extensión de la veta. Su contenido de Au es cercano al 100% y está acompañado sólo por trazas de plata, cobre, cinc y hierro, determinados mediante microsonda electrónica.

Los principales minerales presentes, junto al oro nativo, son cuarzo, pirita y tenantita; subordinadamente se observa el oro relacionado con esfalerita, hubnerita y calcopirita, y rara vez se encuentra este metal asociado con enargita, galena o digenita. En las zonas de alta ley, al yacente de la veta (donde las leyes alcanzan hasta 2,5% Au), el oro muestra una notable asociación con minerales de color verde "manzana", identificados como emmonsita, beudantita y osarizawaita. También en esos sectores, el oro, de color pardo-anaranjado, está asociado con telururos (hessita, sylvanita, petzita, calaverita, krenerita y telurio nativo). Debido a su localización en las partes superiores de la veta (Fig. 4a), a su relación con minerales oxidados complejos (arseniato, teluratos y sulfatos) y a ciertas texturas de depositación, estas zonas de alta ley se interpretan como el resultado de una concentración de oro, debido a procesos secundarios (Boyle, 1979). En los niveles más profundos de la veta, el oro está asociado principalmente con cuarzo, pero también se ha observado cierta afinidad con esfalerita, hubnerita y galena. Las principales asociaciones de minerales que acompañan al oro y su distribución porcentual se muestran en la figura 7.

#### Minerales de Plata

El contenido medio de plata en la veta Indio Sur 3.500 es de 60 g/t. Este valor es comparativamente bajo con respecto al de otras vetas del yacimiento, observándose un aumento paulatino de la ley en profundidad, hasta alcanzar, en el nivel inferior, a 90 g/t. Concentraciones anormalmente altas (1 kg/t) se relacionan con zonas de alta ley de oro.

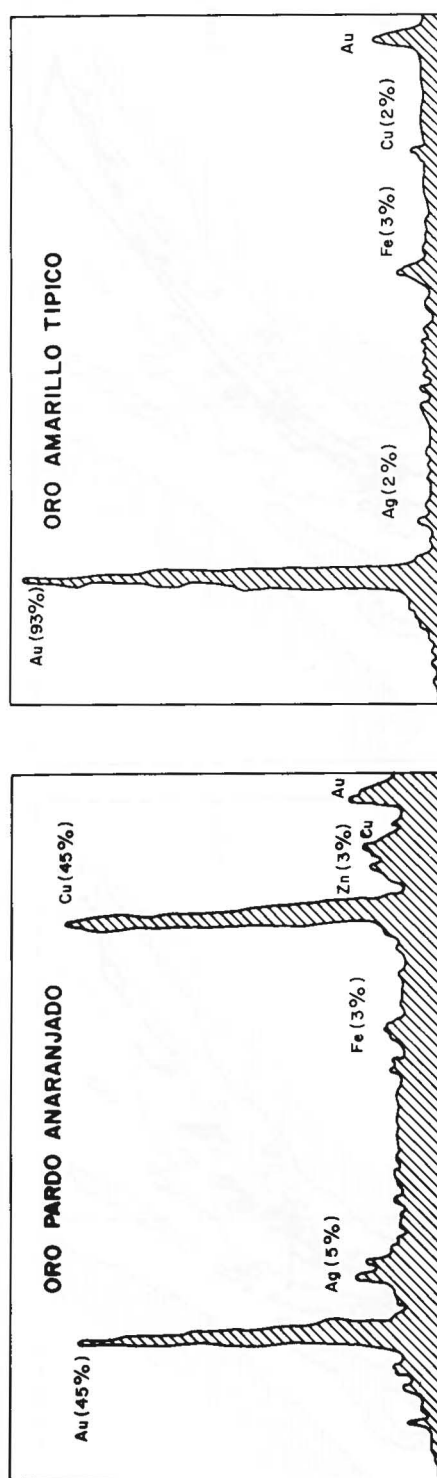


FIG. 5. Composición química (Scanning-electron microscope).

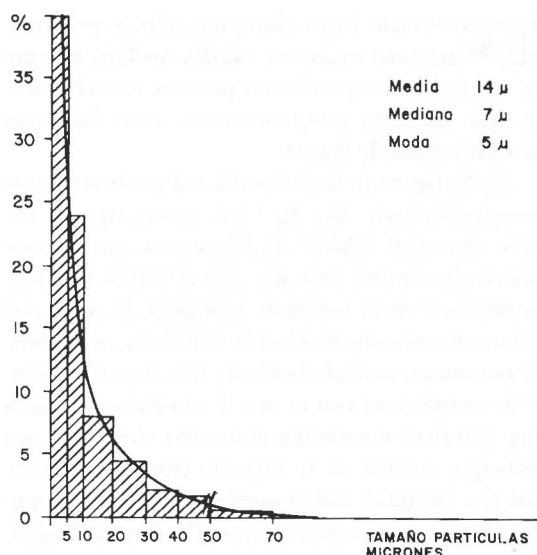


FIG. 6. Granulometría de partículas de oro. Gráfico de frecuencias (%) por intervalo de clase.

Los minerales de plata son de tamaño microscópico, reconociéndose entre ellos hessita y petzita, asociados a telururos de oro, en la zona superficial de la veta, y estromeyerita asociada a e intruida en enargita y tenentita, en los niveles profundos. Junto a ellos se ha observado una correlación positiva entre el contenido de cobre y el de plata, que coincide con la mayor abundancia, en profundidad, de minerales de cobre de la serie tenantita-tetraedrita. Análisis químicos, efectuados en especies muy cercanas al extremo de la tenantita, han permitido comprobar que éstas poseen contenidos promedio de Ag de 0,4%, con variaciones desde 0,1-0,8%, encontrándose valores erráticos con hasta 5%, de Ag.

### Minerales de Cobre

El contenido de cobre aumenta gradualmente con la profundidad. Los minerales de cobre se presentan en una veta mayor, con cuarzo y sulfuros diseminados.

Los minerales de la serie de solución sólida, tenantita-tetraedrita ("cobres grises"), constituyen la mena de cobre más común. Estos minerales reemplazan, parcial o totalmente, a la enargita y aparecen en contacto con o reemplazando a calcopirita, pirita y esfalerita. Es también frecuente su asociación con oro nativo y, en menor proporción, con calaverita, krennerita, telurio, hessita, luzonita, estromeyerita, galena y bornita.

Análisis químicos, efectuados en especies de la serie, indican variaciones en el contenido de arsénico desde 10,3 hasta 17,5%, en el de antimonio desde 3,2 hasta 14,3%, lo cual señala que la composición de estos minerales es más cercana al extremo de la tenantita.

La enargita, mineral típico del yacimiento El Indio y también de la veta Indio Sur 3.500, aparece en forma maciza y en ciertos lugares constituye cristales de varios centímetros de largo. Es reemplazada por calcopirita, tenantita-tetraedrita, calcosina, covelina y digenita, y sólo se ha observado reemplazando a pirita. Frecuentemente, se asocia con estromeyerita, luzonita y, subordinadamente, con oro. Su composición química es cercana a la teórica, habiéndose detectado contenidos de antimonio variables entre 0,7 y 0,9%.

La calcopirita, a pesar de su escasez en el yacimiento, abunda en la veta Indio Sur 3.500, especialmente en las zonas profundas, donde aparece íntimamente relacionada con reemplazos de enargita por tenantita. Además de esta asociación existe otra, de probable generación temprana, en la cual la calcopirita reemplaza a pirita y es reemplazada, a su vez, por tenantita.

### Otros

La pirita es común en las vetas y en su roca huésped. Aparece diseminada y en vetillas maci-

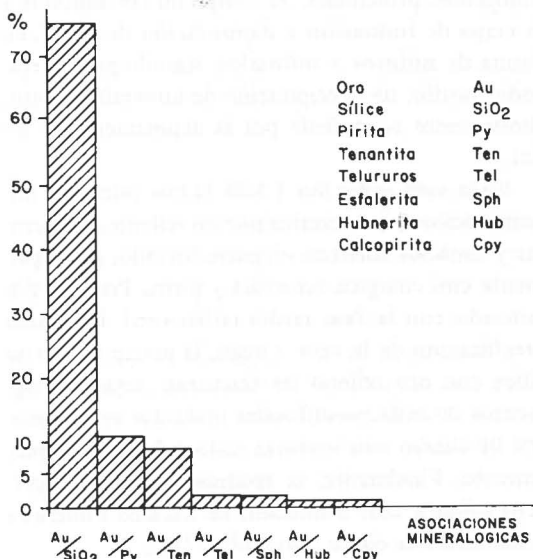


FIG. 7. Asociaciones mineralógicas de oro. Gráfico de frecuencias (%) por asociaciones.

zas, en cristales, o con texturas coloformas. Se asocia con la mayoría de los minerales presentes en la veta, especialmente la calaverita, telurio nativo y oro. En las zonas con alta ley de oro se encuentra, además, esfalerita (Fig. 4c), con bajo contenido de hierro (0,3% en promedio). Junto a estos minerales se encuentra, también, una pequeña cantidad de hierro (0,3% en promedio). Junto a estos minerales se encuentra, también, una pequeña cantidad de hubnerita, asociada a las zonas con oro visible, de más alta ley (Fig. 4c). Sus contenidos promedios de MnO y FeO, son de 20,4% y 3,0%, respectivamente.

### Minerales de Ganga

El cuarzo, muy abundante, es el principal mineral de ganga y guarda una estrecha asociación con el oro. En la veta Indio Sur 3.500, se alcanzan valores de 75-90% SiO<sub>2</sub> en peso, encontrándose, además de cuarzo, variedades de sílice criptocristalina, calcedónica y jasperioides, con textura de bandeamiento rítmico. En la veta existen, a lo menos, seis generaciones de sílice, de las cuales dos están ligadas a la mineralización aurífera.

### PARAGENESIS

En todo el yacimiento, incluyendo la veta en estudio, se distinguen dos episodios mineralizantes, hipógenos, principales. El temprano corresponde a la etapa de formación y depositación de cobre, en forma de sulfuros y sulfosales, seguido por un episodio tardío, de precipitación de minerales de oro, fuertemente controlado por la depositación de sílice.

En la veta Indio Sur 3.500, la fase inicial de mineralización se caracteriza por un relleno de fracturas y espacios abiertos, en parte forzado, principalmente con enargita, tenantita y pirita. Previo a y/o asociado con la fase tardía (sílice-oro), hubo una brechización de la veta. Luego, la precipitación de sílice con oro relleno las fracturas, dejando fragmentos de sulfuros-sulfosales incluidos en una matriz de cuarzo con texturas coiloideas y de bandeamiento. Finalmente, se reconoce una fase supergénica débil y con formación de escasos minerales secundarios de cobre, oro y plata (Fig. 8).

### CORRELACIONES ENTRE ELEMENTOS

En la veta Indio Sur 3.500, las concentraciones

de mercurio son bajas, disminuyendo en profundidad. El arsénico mantiene valores medios, con poca variación, en correlación positiva con el cobre. El cinc aumenta constantemente hacia las zonas más profundas de la veta.

En la figura 9 se muestran los coeficientes de correlación entre Au, Ag y Cu, *versus* Hg, As, Sb, Te y Zn, en el "clavo" de alta ley de oro. El oro guarda una íntima relación con el telurio (elemento presente en la forma de telururos de Au y Ag) y muestra sólo una moderada afinidad con la plata. El antimonio es el elemento de más bajo coeficiente de correlación con el oro. La plata no presenta una correlación estrecha con otros elementos, sin embargo, además de su relación con el oro, posee una leve afinidad con el mercurio y telurio, siendo el arsénico el elemento menos afín con este metal. El cobre presenta excelente correlación con arsénico y antimonio, lo cual coincide con la abundancia de "cobres grises" en la veta.

Las variaciones de la razón Au/Ag, en función de la profundidad, en el yacimiento El Indio (área 02, El Indio), son pequeñas. Estas se ubican en el rango 1/9-1/11 (Fig. 10) y no reflejan los importantes cambios mineralógicos que ocurren hacia las partes más profundas del yacimiento. En la veta Indio Sur 3.500, las razones Au/Ag, determinadas en las zonas de alta y baja ley de oro (mayores que 80 g/t y 2-80 g/t), presentan mayor variación que en el resto del yacimiento (Fig. 11). En los "clavos" de alta ley de oro se observa una disminución, sostenida y constante, de la razón Au/Ag, desde 5,5 en superficie a 1,5 en los niveles profundos. El cobre aumenta de manera concordante con la disminución, en profundidad, de los valores de plata contenidos en los minerales de cobre del tipo tetradrita-tenentita.

### TEMPERATURAS DE DEPOSITACION DEL ORO

Se han efectuado estudios preliminares para determinar las temperaturas de inclusiones fluidas en sílice asociada al oro. En la veta Indio Sur 3.500 se reconocen cuatro tipos de inclusiones fluidas (Taylor y Smith, 1984).

**Tipo 1:** Fase líquida dominante (menor que 20% vapor);

**Tipo 2:** Fase vapor dominante (mayor que 90% vapor)

**Tipo 3:** Fase mixta, con razones variables líquido/vapor;

**Tipo 4:** Multifase, con líquido, gas y una o dos fa-

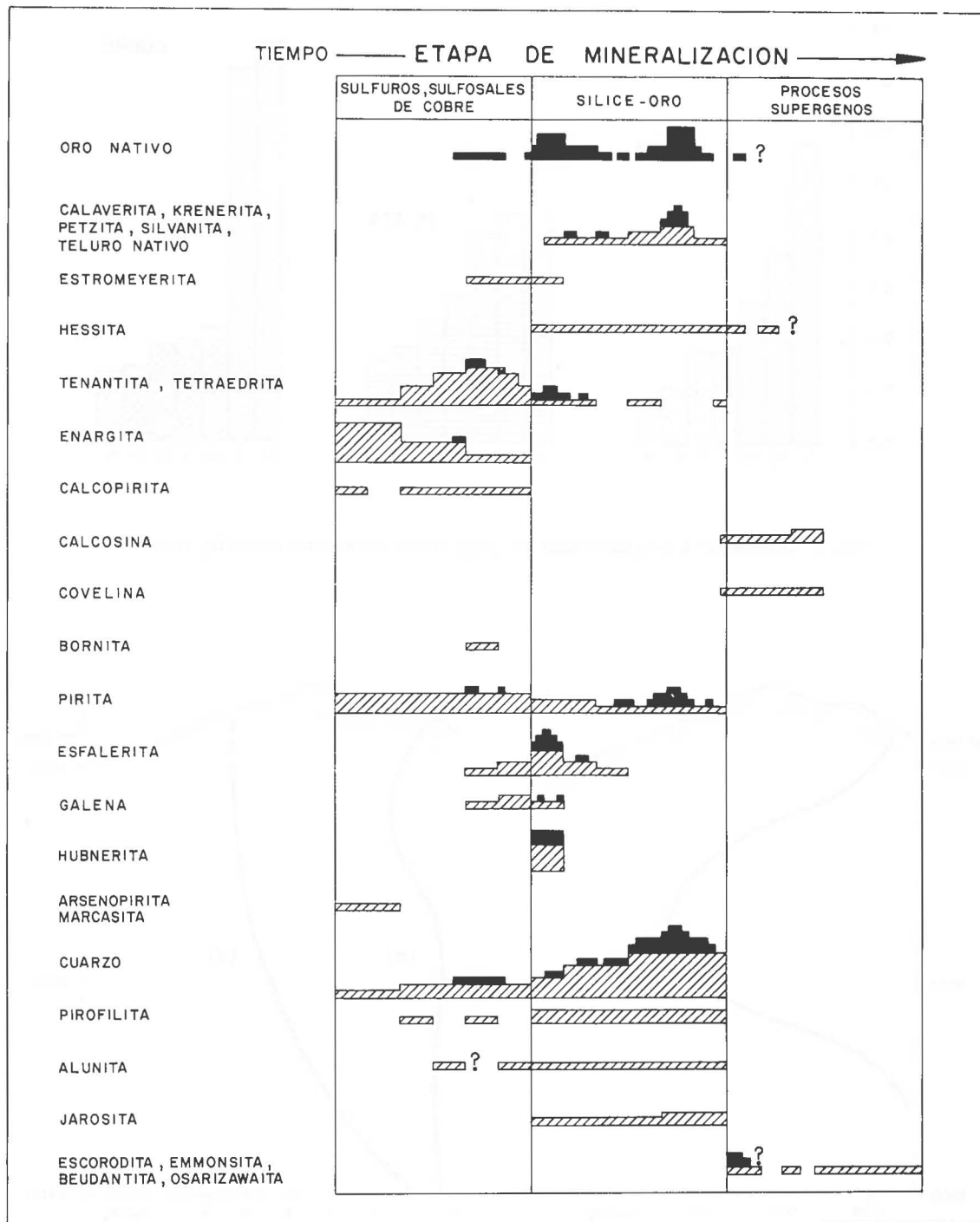


FIG. 8. Paragénesis veta Indio Sur 3.500, mostrando la relación entre oro nativo y otros minerales. (En achurado abundancia relativa por mineral, en negro la depositación de oro sobre el mineral respectivo).

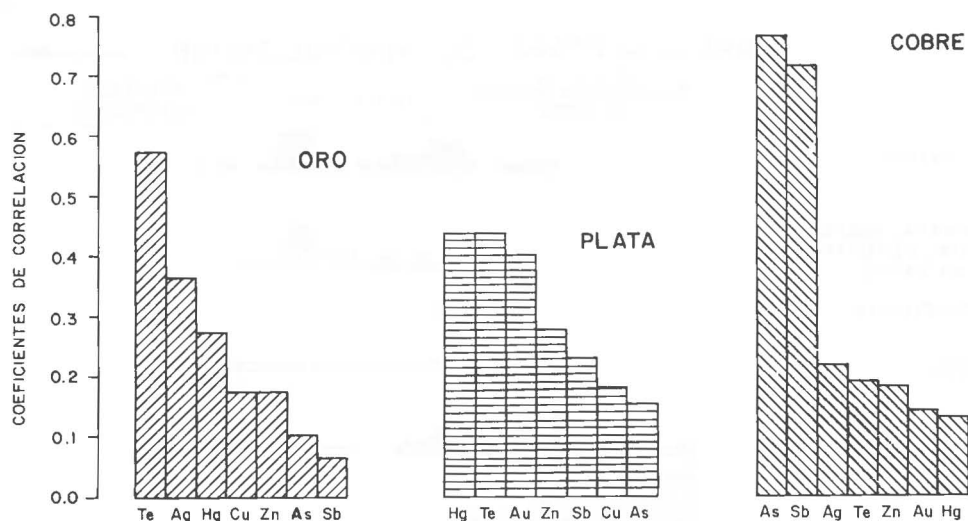


FIG. 9. Coeficientes de correlación para oro, plata y cobre, de las zonas de alta ley de oro.

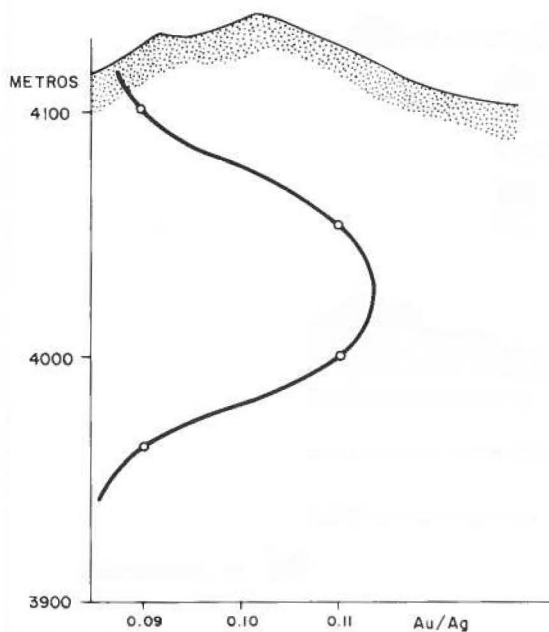


FIG. 10. Variación en profundidad de las razones oro/plata para el yacimiento El Indio (área 02).

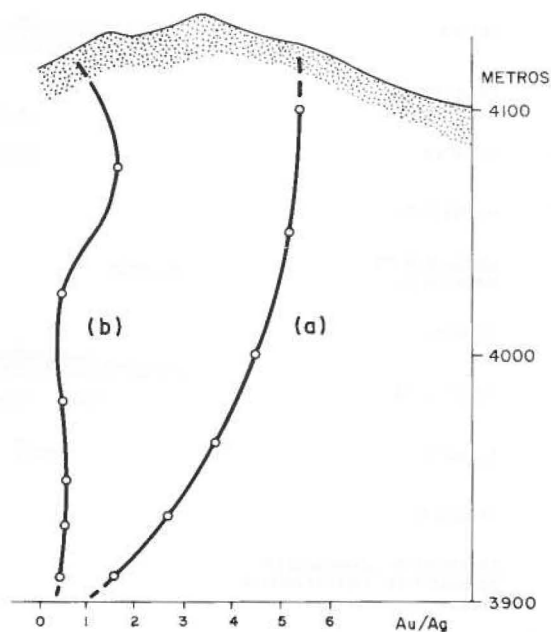


FIG. 11. Variación en profundidad de la razón Au/Ag en veta Indio Sur 3.500. a) zona de alta ley de oro; b) zona de baja ley de oro.

ses sólidas.

El Tipo 1 se asocia con abundante oro diseminado, mientras que los Tipos 1 y 3 consisten en vetillas con "cobres grises" de bajo contenido de oro. La salinidad de las inclusiones fluidas es baja (promedio 2,2% equivalente de NaCl), especialmente en los Tipos 1 y 3.

Las temperaturas de homogenización para las inclusiones del Tipo 1 se ubican en un amplio rango (133°-352°C), con una media de 223°C. Las inclusiones del Tipo 3 se interpretan como evidencias de la ebullición de los fluidos hidrotermales, debido a que presentan una amplia variación en las razones líquido/vapor. De acuerdo con ello, y según Haas (1971), un flujo hidrotermal con concentraciones de 2,2% NaCl y temperatura de 220°C, comenzaría a hervir al disminuir su posición bajo los 23 bars, equivalentes a una profundidad de 250 m bajo el nivel freático.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La veta Indio Sur 3.500 presenta características comunes a otras vetas del yacimiento El Indio, pero también rasgos propios. La geometría de los "clavos" mineralizados o zonas de bonanza, la presencia de texturas típicas de brechas hidrotermales y relleno de espacios abiertos, su compleja y cambiante mineralogía, y la alta concentración de oro,

son el reflejo de condiciones de crecimiento muy singulares, producidas por múltiples episodios de mineralización, que se sucedieron en el tiempo.

Al revisar la literatura se encuentran ejemplos de vetas similares, que se localizan en depósitos considerados típicamente epitermales, tales como Goldfield, Nevada; Tombstone, Arizona; Summitville, Colorado o Comstock, Nevada (Buchanan, 1981; Williams, 1980; Steven y Ratte, 1960). Estas bonanzas son vetas de cuarzo con pirita, oro nativo y sulfosales, rodeadas por halo de alteración avanzada, que evidencian la acción de soluciones mineralizantes ácidas, representativas de sistemas geotermales cercanos a la superficie (Henley y Ellis, 1983). De igual modo que en la veta Indio Sur 3.500, los estudios de inclusiones fluidas efectuados en esas vetas indican que éstas se formaron a partir de soluciones de baja salinidad (0,5-5% NaCl) con temperaturas variables entre 150 y 300°C, en las cuales la depositación de oro estuvo controlada por la ebullición de los fluidos hidrotermales (Buchanan, 1981).

Estos antecedentes son, por lo tanto, coincidentes con los estudios realizados en El Indio, concluyéndose, en principio, que la veta Indio Sur 3.500 corresponde al horizonte de depositación o zona de bonanza y/o "stockwork" del modelo de Berger y Eimon (1982).

## AGRADECIMIENTOS

En las personas de Paul Hodges, Presidente de Compañía Minera San José Ltda., Chile y de Héctor Araya, Gerente de Compañía Minera El Indio,

queremos dejar especial constancia de nuestros agradecimientos por su autorización para publicar este estudio.

## REFERENCIAS

- ARANEDA, R. 1982. El Indio, yacimiento de oro, plata y cobre, Coquimbo, Chile. *Minerales*, Vol. 37, No. 160, p. 5-13.
- ARANEDA, R. 1984. Nuevos aportes al conocimiento de la geología de El Indio. *In* Convención de Ingenieros de Minas, Minería del Oro y la Plata en Chile, No. 35, Actas, Vol. 1, p. 1-19.
- BERGER, B.R.; EIMON, P.I. 1982. Comparative models of epithermal silver-gold deposits: Dallas, Texas. Soc. Mining Eng. AIME Meet., Preprint, 82-13.
- BOYLE, R.W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. *Can. Geol. Surv., Bull.*, No. 280, p. 431-445.
- BUCHANAN, L.J. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. *Arizona Geol. Soc. Digest*, Vol. 14, p. 237-262.
- HAAS, J.L. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Econ. Geol.*, Vol. 66, p. 940-946.
- HENLEY, R.W.; ELLIS, A.Y. 1983. Geothermal systems, ancient and modern: A geochemical review. *Earth Sci. Rev.*, Vol. 19, p. 1-50.

- HENLEY, Y.Y.; JONES, W.R. 1964. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Econ. Geol.*, Vol 59, p. 538-569.
- MAKSAEV, V.; MOSCOSO, R.; MPODOZIS, C.; *et al.* 1984. Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior en la Alta Cordillera del Norte Chico: Geología, alteración hidrotermal y mineralización. *Rev. Geol. Chile*, No. 21, p. 11-51.
- STEVEN, T.A.; RATTE, J.C. 1980. Geology and ore deposits of the Summitville District, San Juan Mountains, Colorado. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.* No. 343, p. 1-67.
- TAYLOR, M.; SMITH, R.W. 1984. Fluid inclusion and alteration assemblage evidence on the environment of gold deposition, Indio Sur 3,500 vein, El Indio, Chile. *Cía. Minera El Indio, Informe Interno* (inédito), p. 1-14. La Serena.
- WHITE, D.E. 1981. Active geothermal systems and hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.*, Vol. 75th Anniversary, p. 392-423.
- WILLIAMS, S.A. 1980. The Tombstone District, Cochise County, Arizona. *The Mineralogical Record*, July-August, 1980, p. 251-256.

**Nota del Editor:** Este trabajo fue presentado oralmente en las sesiones del IV Congreso Geológico Chileno (Antofagasta, Agosto de 1985) y una primera versión del texto será publicado en las Actas de dicho Congreso. No obstante, a petición de los autores y considerando el alto interés del tema tratado, se ha creído pertinente publicarlo también en la Revista Geológica de Chile, previa edición, de acuerdo con las normas de la Revista.