

GEOLOGIA DE LOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES DE ORO EN CHILE

F. CAMUS
M. A. DUHALDE

Los Perales 846, Las Condes
Martín de Zamora 4461, Las Condes

RESUMEN

Consecuente con el interés que ha despertado el estudio y prospección de metales preciosos, se llevó a cabo un trabajo de evaluación de las características geológicas de los 20 distritos mineros auríferos más importantes del país. Como subproducto de esta investigación se ha desarrollado un modelo empírico, idealizado, que agruparía a los yacimientos epitermales de oro que ocurren en Chile.

El presente trabajo clasifica, morfológicamente, a los yacimientos de oro en cuatro tipos: vetas, clavos asociados a intersección de estructuras, estructuras marginales a sistemas porfíricos y cuerpos irregulares, asociados a chimeneas de brecha. Estos cuatro tipos de depósitos se relacionan desde el punto de vista geotectónico con ambientes volcánicos y subvolcánicos, conectados al desarrollo de un arco magmático instalado sobre el borde continental. Su formación se relacionaría con los episodios magmáticos del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, Cretácico Superior-Terciario inferior y Mioceno-Pleistoceno.

Los yacimientos vetiformes se clasifican como epitermales y corresponden a la gran mayoría. Presentan zonación tanto vertical como horizontal con oro-plata, en su parte superior, y metales básicos, en su parte inferior y periférica. Todos han sufrido procesos de oxidación y enriquecimiento secundario, siendo éstos más desarrollados al norte de la latitud de Santiago. La alteración hidrotermal consiste en silicificación, argilización y sericitización, en diferentes grados de extensividad.

La producción histórica total de oro estimada, para el período 1545-1981, alcanza una cifra del orden de 580.000 kg.

ABSTRACT

A total of 20 of the most important Chilean gold mining districts have been studied in order to evaluate their geological characteristics with the purpose of understanding their genesis within the context of the geological evolution of the Andean orogen. As a subproduct of this research work, a conceptual idealized model for the epithermal vein deposits is presented for discussion.

This paper morphologically classifies gold deposits into four types: veins, ore shoots associated to structure intersections, gold in fractures marginal to porphyry systems, and irregular gold bodies associated with breccia pipes. The four types are tectonically related with a magmatic arc built on continental crust. They are associated, in their origin with, the Upper Jurassic-Lower Cretaceous, Upper Cretaceous-Lower Tertiary and Miocene-Pleistocene magmatic activity.

The vein deposits conform the majority and they are interpreted as epithermal. They show vertical and horizontal metal zonation, with gold-silver in the upper portion and base metals towards the lower sections and periphery. Oxidation and secondary enrichment is present in all deposits but the process is best developed in those located to the north of Santiago. Hydrothermal alteration consists of silicification, argillization and sericitization.

Total historical gold production in Chile is about 580 tons considering the period 1545-1981.

INTRODUCCION

OBJETIVO

La exploración de metales preciosos ha tenido un enorme auge en los últimos 10 años, debido a los elevados precios alcanzados por el oro y la plata en los mercados mundiales. Ello ha traído como consecuencia un gran interés en el estudio geológico de los depósitos hidrotermales, especialmente de oro, destinado a establecer sus características, orígenes y ambientes de depositación, con el objeto de disponer de mejores herramientas para su prospección. Los trabajos de Boyle (1979), Buchanan (1981) y Casadevall y Ohmoto (1977) entre otros, son algunos ejemplos de estudios detallados y de carácter general, destinados a este fin y al reconocimiento de depósitos de oro y plata de baja ley, susceptibles de ser explotados a rajo abierto, como son los casos de Carlin y Cortez en Nevada, U.S.A.

Este interés por los metales preciosos también se ha notado en Chile, es así como en los últimos 6-8 años se ha observado un incremento en su exploración, cuyo resultado más notorio ha sido el descubrimiento y puesta en marcha del yacimiento El Indio, ubicado en la IV Región del país.

Sin embargo, a pesar de este interés, los estudios geológicos de los depósitos de oro y plata no se han desarrollado a la par con la exploración. Una revisión de la literatura existente nos muestra una notable escasez de trabajos geológicos de detalle, publicados, que se refieran a los principales distritos auríferos existentes en el país. Distritos tan importantes en el pasado como El Capote, San Cristóbal, Sierra Overa, etc., no cuentan con estudios de detalle y sólo existen breves descripciones en informes inéditos o en los antiguos boletines de la Sociedad Nacional de Minería. Inclusive sobre el recientemente descubierto depósito de El Indio, no contamos todavía con un trabajo publicado que describa su geología. En cuanto a recopilaciones, sólo tenemos los trabajos de Flores (1942) y Ruiz *et al.* (1965).

El presente artículo pretende llenar, en parte, este vacío, describiendo las características geológicas de los principales yacimientos hidrotermales de oro existentes en Chile, con el propósito de tratar de entender su génesis y evolución, dentro del contexto geológico del país. Además, se pretende establecer algún esquema conceptual que

los agrupe y que pudiera ser utilizado en su exploración.

Lo incompleta de la literatura ha sido un inconveniente serio en la realización de este estudio, de ahí que fuera necesario reducirlo, en lo que se refiere a las tablas que se acompañan, a aquellos distritos o depósitos más importantes y que tenían la mejor información geológica disponible.

El trabajo se ha organizado sobre la base de la Tabla 3, donde se resumen las características geológicas más sobresalientes de un total de 20 distritos mineros, cada uno de los cuales contiene un importante número de depósitos o minas individuales. La información así recolectada se ha concentrado en los modelos de la figura 4, que caracterizan cada uno de los tipos de yacimientos reconocidos. A partir de estos modelos se ha llegado al modelo empírico, resumido, que creemos los tipifica (Fig. 11) y que fuera presentando previamente en un informe inédito (Camus y Duhalde, 1982).

Este esquema adolece de imperfecciones, dado su carácter tentativo, y está abierto a la discusión para perfeccionarlo, en la medida que se vaya avanzando en el conocimiento geológico. Con él, se pretende establecer un marco de referencia para los depósitos de oro, que ayude tanto a los estudios de tipo académico, como a la exploración de los mismos. En la medida que los estudios geológicos de detalle sobre los yacimientos epitermales progrese, esperamos que el esquema propuesto sea perfeccionado.

UBICACION Y DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS DE ORO

Los depósitos de oro se extienden a lo largo de todo el país, pero se concentran, en su mayoría, en una franja a lo largo de la Cordillera de la Costa, aproximadamente al oeste de la carretera panamericana, entre los paralelos 25° y 36° S, que corresponden a las latitudes de Paposo por el norte y Cauquenes por el sur. Dentro de esta franja, las mayores concentraciones se producen entre las Regiones II y IV; en ellas se ubican los distritos auríferos más famosos como El Guanaco, Inca de Oro, Cachiyuyo de Oro, El Capote, Andacollo, y Los Mantos de Punitaqui (Fig. 1). Hacia la Cordillera de los Andes, se produce una notable disminución del número de yacimientos auríferos y de

metales preciosos en general, reconociéndose sólo algunas manifestaciones tales como Choquelimpie en la Cordillera de Arica, San Cristóbal y Sierra Overa en Antofagasta, El Indio en La Serena y, finalmente, Minas del Prado en la región cordillerana de Chillán (Fig. 1).

HISTORIA Y PRODUCCION

Las primeras noticias que se tienen de producción de oro en Chile, se remontan a principios de la conquista española y los inicios del período colonial, entre los años 1545-1600. Durante este período, la producción aurífera provino, exclusivamente, de los lavaderos de Quilacoya, Marga-Marga, Madre de Dios y Andacollo, y alcanzó una cifra de 1.000-2.000 kg de oro fino para todo el período. Este oro fue obtenido en base al trabajo de los indios y sirvió para financiar los gastos que demandaba la conquista española en Chile.

A fines del siglo XVI y durante todo el siglo XVII, la producción de oro disminuyó considerablemente, llegando a un promedio anual inferior a 500 kg. Ello se debió a la influencia de los Jesuitas, quienes lograron que el gobierno prohibiera el uso de indios para explotar las minas y lavaderos, dejando con ello a los españoles sin la mano de obra necesaria. Como consecuencia, la producción disminuyó y las pocas minas que se trabajaban pertenecían a algunos pequeños empresarios particulares, quienes pusieron en explotación yacimientos en la zona de Til-Til. Las leyes de esa época eran del orden de 4-10 oz/cajón (39-97 g/t) de oro.

A partir de 1741, se produce una reactivación de la minería del oro, debida a la fundación de la casa de Moneda, el 1° de Octubre de 1743. Este hecho creó un poder comprador permanente para el oro y la plata, que debían, obligatoriamente, venderse a la nueva institución, para su acuñación. Esto se nota claramente en el gráfico de la figura 2, donde se observa un notorio incremento, que llega a su punto alto en el período 1800-1810, durante el cual se producen hasta 3.000 kg de oro fino. La producción de esta época proviene de las zonas de Til-Til, Talca, Petorca y Copiapó. Las minas de los

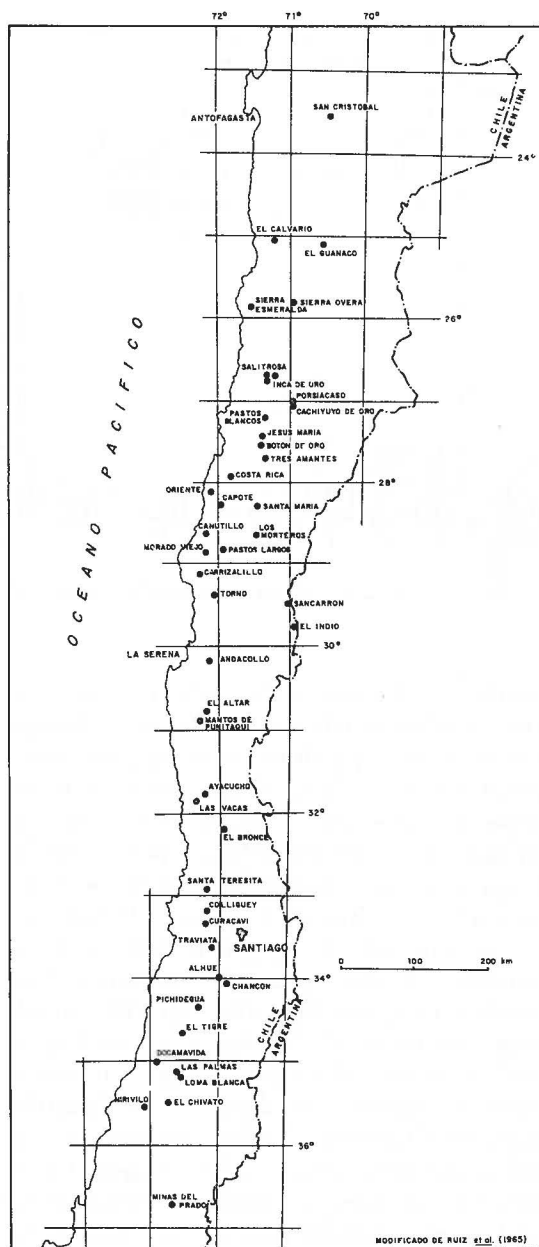


FIG. 1. Mapa de parte de Chile, con ubicación de los principales yacimientos hidrotermales de oro.

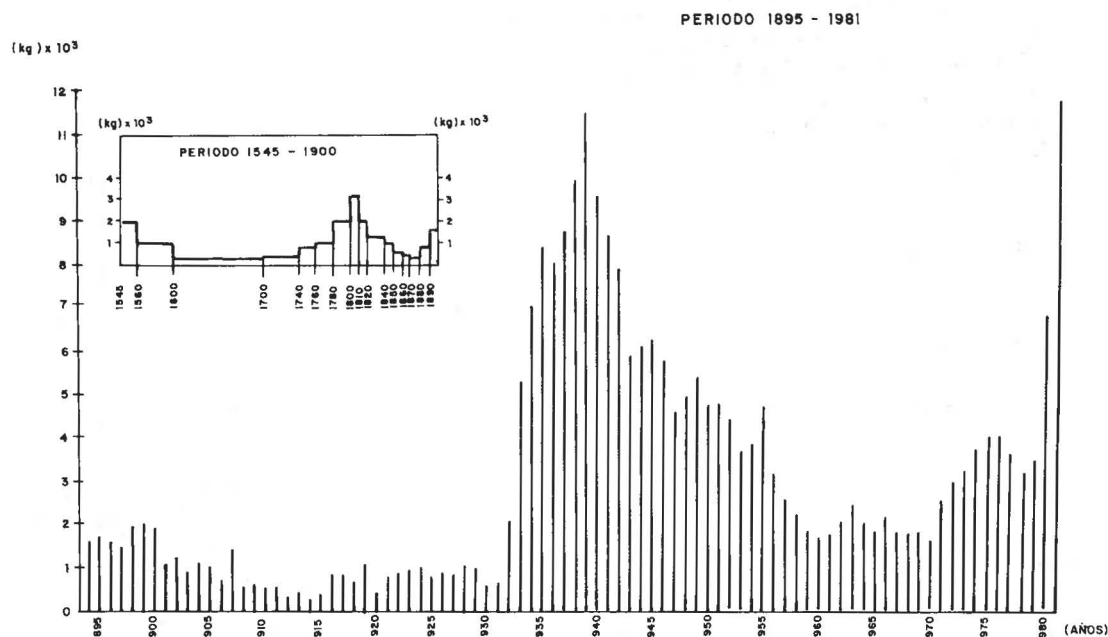


FIG. 2. Gráficos mostrando la producción de oro de Chile, desde el año 1545 hasta 1981.

distritos El Chivato, Jesús María, Cachiyuyo de Oro, Zapallar, Remolinos, Rinconada de Bodega, Cabeza de Vaca y Ladrillos, corresponden a descubrimientos de esa época. Por otra parte, las necesidades de azogue, para la recuperación del oro por amalgamación, estimuló la búsqueda de mercurio, lo que trajo como consecuencia el descubrimiento, en 1785, del yacimiento Los Mantos de Punitaqui.

Luego del período de la Independencia, la producción comienza nuevamente a disminuir, alcanzando su punto más bajo entre 1851-1880, cuando llega a menos de 500 kg de oro al año. Este período coincide con el descubrimiento de importantes yacimientos de plata como Chañarcillo, Caracoles, Chimberos, Tres Puntas y Arqueros, que dan a este metal un gran auge, en desmedro del oro. Por otro lado, se produce el descubrimiento de los ricos yacimientos de oro de California en U.S.A. y Victoria en Australia, que hace que numerosos mineros y chilenos, en general, se trasladen a estos lugares, dejando abandonadas sus actividades en el país.

A partir de 1881, se produce una nueva reactivación, que coincide con los últimos años de la Guerra del Pacífico, y que se prolonga hasta el año 1910. Durante este período se descubren y ponen en producción los distritos El Guanaco, San Grísotbal, Sierra Esmeralda, Andacollo, Inca de Oro y Las Vacas.

A fines de 1910 sobreviene nuevamente una disminución de la producción de oro, que dura hasta el año 1932. A partir de esa fecha, se produce una fuerte reactivación de la producción de oro que dura desde 1933-1955, y coincide con el período de mayor producción de oro en Chile, con un total para el período de 150.452 kg, siendo su punto máximo el año 1939 con 11.500 kg de oro fino (Fig. 2) y un promedio para igual período de 6.541 kg. Las razones de este auge hay que buscarlas en los niveles de precios y en la política de estímulo del gobierno de la época, que tuvo por objeto paliar la gran cesantía que se produjo en el país, a raíz de la depresión mundial del año 1930 y de la crisis del salitre. Esta reactivación no se produce con nuevos descubrimientos, sino que se basa en la puesta en marcha de los antiguos placeres ya conocidos y de los distritos mineros antiguos. Minas pertenecientes a distritos como El Bronce de Petorca, Andacollo, Guanaco, Sierra Overa, Inca de Oro, Los Mantos de Punitaqui, El Capote, Alhué, Chancón, El Chivato, Pichidegua, etc., son los principales depósitos que se reactivan e inician una producción, que dura hasta 1955, cuando paraliza la mayoría de estas minas, a raíz de los bajos precios del oro de esa época (Tabla 2); sin embargo, la baja en la producción no llega a los límites dramáticos de los períodos anteriores, nivelándose en el tramo 1956-1970, en alrededor de 2.000 kg de

TABLA 1: PRODUCCION DE ORO EN CHILE

Período	Años	Kg de Oro	Promedio Anual
Conquista	1545-1600	72.000	1.309
Colonia (antes de la fundación de la Casa de Moneda)	1600-1740	51.000	364
Colonia (después de la fundación de la Casa de Moneda)	1741-1810	107.100	1.530
Independencia hasta descubrimiento de Au en California y Australia	1811-1850	53.223	1.330
Descubrimiento de Au en California hasta Guerra del Pacífico (auge de Ag)	1851-1880	13.400	450
Post-guerra hasta la depresión de 1931	1881-1931	50.164	1.003
Post-depresión	1932-1955	152.579	6.357
Oro a precio fijo	1956-1971	33.256	2.076
Oro a precio libre	1972-1981	46.684	4.668
Total	1545-1981	579.406	1.329

oro fino por año, debido principalmente al oro producido como subproducto de la Gran Minería del Cobre.

A partir de 1971, se observa nuevamente un leve aumento, que tiene su máximo en 1981 con una producción record en la historia de la Minería del Oro en Chile de 11.692 kg. Este hecho se explica por el aumento extraordinario del precio de la onza de oro en los mercados internacionales, que lo elevan hasta la cifra sin precedentes de US\$850/oz, el 21 de Enero de 1980, produciéndose una fuerte reactivación de la minería del oro a nivel mundial. Además, estos precios permiten revisar los conceptos económicos referentes a leyes comerciales de oro; naciendo el concepto de depósitos de baja ley tipo Carlin-Nevada, susceptibles de ser explotados a rajo abierto, con leyes

tan bajas como 2-3 g/t Au. Como consecuencia, en Chile y en numerosos otros países del mundo, se inicia una etapa de exploración sistemática por metales preciosos, que trae como resultado el descubrimiento de nuevos yacimientos y la reevaluación de antiguos distritos. El descubrimiento, en 1974, del yacimiento El Indio por geólogos de Enami, forma parte de esta etapa.

La tabla 1 y la figura 2 resumen la historia y la producción del país desde 1545, fecha de la llegada de los españoles a Chile, hasta el presente. Tanto las tablas adjuntas, como las figuras y los antecedentes históricos, fueron obtenidos de los boletines de la Sociedad Nacional de Minería, de boletines del Instituto Nacional de Estadística, La Edad del Oro de Vicuña Mackenna (1932) y la Historia de Chile de Encina (1949).

GEOLOGIA DE LOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES DE ORO

GENERALIDADES

Los yacimientos hidrotermales de oro de Chile pueden clasificarse, en general, como del tipo

epitermal, considerando como tales a aquellos depósitos con mineralogía y textura característica de emplazamientos a poca profundidad y donde no hay límites de temperatura (White, 1981). Ruiz

TABLA 2: PRINCIPALES PRODUCTORES DE ORO EN EL PERIODO 1931-1955

Distrito	1938		1939		1940	
	Toneladas	g/t Au	Toneladas	g/t Au	Toneladas	g/t Au
El Guanaco	9.276	8,6	3.721	9,0	—	—
El Capote	24.505	12,1	44.204	5,7	62.148	5,7
Andacollo	25.652	6,3	26.098	6,4	24.704	6,0
Rosario de Andacollo	39.657	4,6	68.160	3,6	13.213	3,0
Punitaqui	80.413	7,8	116.512	7,8	130.400	7,1
El Chivato	20.488	2,5	42.310	3,5	33.900	3,6
Alhué	14.292	7,8	18.898	8,2	21.272	8,4

et al. (1965) los clasificaron, de acuerdo con su asociación paragenética, como tipos 8a y 9a, correspondiendo el tipo 9a a la asociación oro-pirita y el 8a a la asociación oro-especularita. Según estos autores, el tipo 9a es el más abundante en Chile.

Aunque yacimientos de oro ocurren a lo largo de todo el país, su mayor concentración está en una franja de aproximadamente 1.200 km de longitud, que se extiende desde los 25° hasta los 36° de latitud sur y cuyo ancho es muy variable, enmarcándose, aproximadamente, entre los 70° y 72° de longitud oeste (Fig. 1). Hacia el norte y sur de esta franja, también ocurren depósitos de oro, pero ellos son escasos, encontrándose más del 90% dentro de la franja mencionada. Morfológicamente, parte de esta franja corresponde a la Cordillera de la Costa, reconociéndose algunos yacimientos en la Precordillera y Cordillera de los Andes. Los extensos programas de exploración que se llevan a cabo, en estos momentos, en la alta Cordillera entre la I y IV Regiones, pueden poner en evidencia nuevos depósitos.

Los yacimientos de oro considerados para este estudio son todos aquéllos en los que el oro es el metal predominante, sin perjuicio de que también ocurran, paragenéticamente hablando, otros metales. Se hace esta salvedad dado que, dentro de la franja considerada, existen numerosos depósitos vetiformes, donde el cobre es el metal más importante, pero donde existe oro asociado. Estos yaci-

mientos no se consideran en este trabajo y nos referiremos a ellos sólo como elementos que forman parte de la evolución metalogénica del país. Se han considerado 20 depósitos, cuyas características se resumen en la tabla 3 y se discuten a continuación.

RESERVAS ESTIMADAS

La principal dificultad para la estimación de las reservas reales de mineral, de los distintos depósitos considerados, radica en la falta de información específica sobre volúmenes y contenidos metalíferos. Salvo los casos de El Indio, El Guanaco, El Bronce de Petorca, El Tigre y Andacollo, todas las cifras que se entregan tienen carácter estimativo y se basan en cálculos efectuados considerando longitud, potencia y profundidad de las estructuras mineralizadas, sin descontar el mineral que ha sido extraído. Para los efectos de reservas, se ha tomado como cuerpos mineralizados sólo un 25-30% del volumen total calculado. En cuanto a leyes, se consideró un valor medio basado en cifras históricas, conjuntamente con muestreos recientes.

Los resultados de sondajes y leyes así obtenidos se han llevado al gráfico log-log de la figura 3, donde se ubican los diferentes depósitos o distritos estudiados.

El gráfico muestra, claramente, que la gran mayoría de los depósitos (80%) se concentra entre el rango 50.000-300.000 t de mineral; el 20% res-

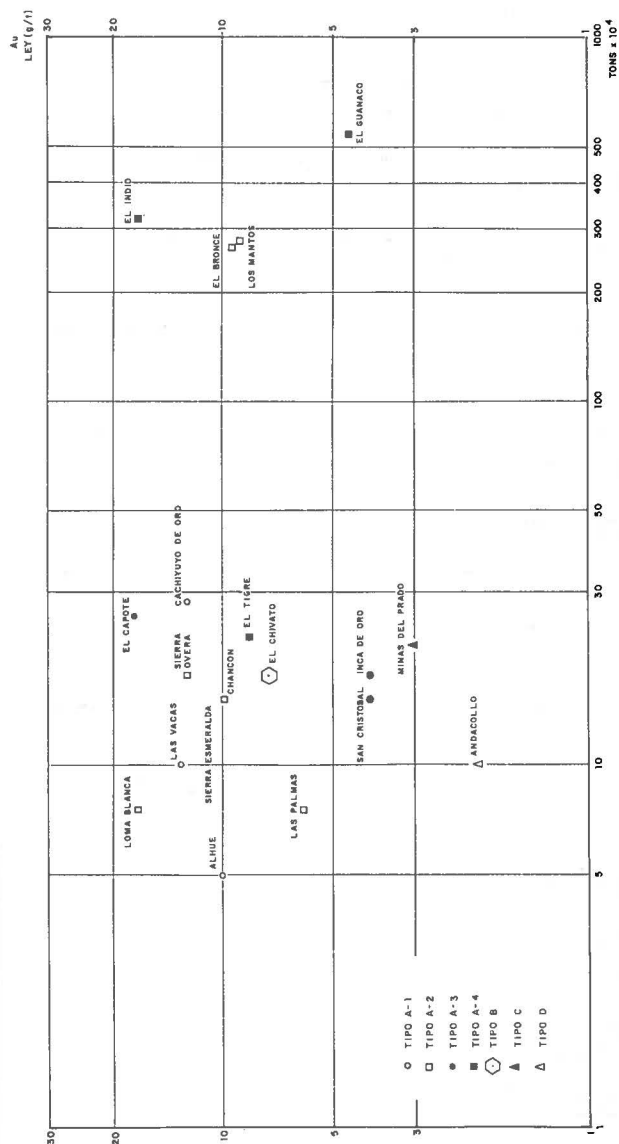


FIG. 3. Gráfico de tonELAJE versus leyes de oro en g/t, para los 20 distritos considerados en este estudio.

tante se ubica entre los 2.500.000-5.500.000 t. En cuanto a las leyes, ellas varían entre 2 y 20 g/t Au para los depósitos más pequeños y 4-20 g/t para los de mayores dimensiones.

En el gráfico de la figura 2, salta a la vista que la mayoría de los depósitos de menor tamaño corresponden a aquéllos que se ubican a lo largo de la Cordillera de la Costa, lo que podría indicar que el volumen de los yacimientos es función del grado de erosión que ha sufrido esta unidad morfológica.

METALES ASOCIADOS

La gran mayoría de los depósitos presentan metales asociados como Ag, Cu, Pb, Zn y Hg. Sin embargo, en la mayor parte de ellos, estos no son comerciales.

Plata: En general, el contenido de plata de estos depósitos es muy escaso, no superando los 5-10 g/t. En aquéllos en que la plata es más abundante, ella varía entre 20 y 150 g/t, que corresponden a El Bronce y El Indio, respectivamente. La mayoría de los yacimientos se ubica en el límite bajo los 50 g/t. La razón Au/Ag, para estos casos, varía entre 1:2 y 1:10.

Cobre: El contenido de cobre es particularmente bajo, no superando el 0,5%, por lo que, tradicionalmente, no se ha recuperado; las excepciones son San Cristóbal, El Guanaco y El Indio, donde alcanzan hasta 3,5% en promedio. En general, se puede decir que el cobre tiende a aumentar en profundidad, reflejando la zonación vertical que presentan estos yacimientos.

Plomo-Zinc: Estos elementos han sido reconocidos en nueve de los depósitos considerados, pero en sólo tres casos se dispone de análisis químicos. Para estos casos el Pb + Zn fluctúa entre 1,0 y 1,3%, combinado. En los otros seis, los volúmenes de galena y blenda son muy escasos o simplemente estos elementos no han sido analizados. El incremento de Pb-Zn se produce en profundidad y se correlaciona muy bien con el cobre.

Mercurio: La presencia de este elemento ha sido detectada solamente en el yacimiento Los Mantos de Punitaqui, donde se ha recuperado económicamente en el pasado y su presencia es el reflejo de una zonación horizontal que presenta este depósito. No se dispone de análisis de mercurio para los otros yacimientos considerados.

Nombre del yacimiento y/o distrito	Región Coordenadas	($\times 10^3$)	Au %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Marco geotectónico	Edad	Litología
Distrito San Cristóbal	II Región 29° 32' 69" S 33'	150	4,0	50	2	—	—	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización controlada por sistemas de fracturas concéntricas y radiales.	Cretácico Superior. Intrusivos posiblemente del Terciario inferior.	Andesitas, gabros, olitas, diorita.
Distrito El Guanaco	II Región 25° 06' 69" S 33'	5.400	3,7	17	2	—	—	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización controlada por fracturas E-W, concentrada a domos dacíticos y riolíticos.	Cretácico Superior (roca de caja) Terciario inferior (intrusivos ácidos).	Tufitas, brecha, andesitas y pórfidos ácidos.
Distrito Sierra Ocrea	II Región 25° 47' 69" S 55'	150-200	10-15	—	—	—	—	Sistema volcánico, asociado a arco magmático. Mineralización alojada en estructuras NW-EW.	Cretácico Superior.	Andesitas y brechas volcánicas.
Distrito Sierra Esmeralda	II Región 25° 52' 70" S 32'	100	10	—	—	—	—	Asociado a arco magmático, ubicado al oeste de cuenca trasarco. Mineralización alojada en fracturas NW.	Jurásico-Cretácico Inferior.	Dioritas y rocas córneas.
Distrito Inca de Oro	III Región 26° 48' 69" S 58'	150-200	4	—	—	—	—	Arco magmático ubicado al oeste, con cuenca trasarco al este. Mineralización a lo largo de estructuras NS-N45° E.	Cretácico Inferior.	Andesitas, granodioritas y lamprofiro.
Cachiyuyo de Oro	III Región 27° 04' 69" S 58'	250-300	10-15	—	—	—	—	Arco magmático. Mineralización a lo largo de estructuras NS-NE.	Cretácico Superior-Terciario inferior.	Granodiorita.
Distrito El Capote	III Región 28° 18' 70" S 57'	250	15-20	—	—	—	—	Arco magmático con cuenca trasarco asociada. Mineralización alojada en estructuras N15-40° W.	Jurásico Superior-Cretácico Inferior.	Dique básico lamprofírico y diorita.
El Indio	IV Región 29° 45' 69" S 59'	3.300	12	141	3,98	—	—	Sistema subvolcánico asociado a arco magmático. Mineralización alojada en fracturas paralelas a centro volcánico.	Mioceno.	Andesitas, dacitas y riolitas.
Distrito Andacollo	IV Región 30° 14' 71" S 07'	100	3-4	—	—	—	—	Sistema subvolcánico asociado a arco magmático. Mineralización alojada en fracturas radiales, ubicadas marginalmente a un sistema porfírico.	Cretácico Superior-Terciario inferior.	Riolitas.
Los Mantos de Punitaqui	IV Región 30° 52' 71" S 15'	2.500-3.000	8-10	—	0,5	—	—	Arco magmático al oeste y cuenca trasarco al este. Mineralización a lo largo de zona de cizalle NS-NE.	Cretácico Inferior.	Metaandesita.
Distrito Las Vacas	IV Región 31° 52' 71" S 20'	100	13	—	—	—	—	Arco magmático al oeste con cuenca trasarco al este. Mineralización a lo largo de estructuras N80° W-N85° E.	Cretácico Inferior.	Granodiorita y metasedimentos.
Distrito El Bronce de Petorca	V Región 32° 11' 70" S 55'	2.500-3.000	8-10	20	0,5	0,2	1	Sistema subvolcánico asociado a arco magmático. Mineralización alojada en estructuras NS-N50° E-N30° W.	Cretácico Superior.	Andesita, brechas volcánicas y diques andesíticos.
Distrito Aihué	Metropolitana 33° 60' 71" S 00'	50	10	—	—	—	—	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización asociada a estructuras N25° E.	Cretácico Superior.	Andesitas, brecha, granodiorita y robas.
Distrito Chancón	VI Región 34° 04' 70" S 51'	100-200	10	10	0,45	0,5	0,5	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización alojada en estructuras de cizalle N70° W-NS-N75° E.	Cretácico Superior-Terciario inferior.	Andesitas y brechas.
Distrito Pichidegua	VI Región 34° 23' 71" S 18'	—	—	—	—	—	—	Arco magmático con cuenca trasarco asociada. Mineralización alojada en fracturas NNE.	Cretácico Inferior.	Granodiorita.
El Tigre	VI Región 34° 35' 71" S 09'	200-250	7-10	50	0,20	0,80	0,50	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización alojada en fracturas N45-50° E.	Cretácico Superior.	Andesitas, brechas y granodiorita.
Las Palmas	VII Región 35° 10' 71" S 46'	50-100	6	—	—	—	—	Arco magmático con cuenca trasarco asociada. Mineralización alojada en estructuras EW-NW.	Cretácico Inferior.	Andesitas.
Loma Blanca	VII Región 35° 11' 71" S 33'	—	15-20	—	—	—	—	Arco magmático con cuenca trasarco asociada. Mineralización alojada en estructuras NW-NE.	Cretácico Inferior.	Andesitas.
El Chivato	VII Región 35° 30' 71" S 45'	150-200	5-10	—	—	—	—	Arco magmático al oeste, con cuenca trasarco al este. Mineralización alojada en zonas de cizalle de orientación N-S.	Cretácico Inferior-Medio.	Granodiorita, monzonita y diorita.
Minas del Prado	VIII Región 36° 41' 71" S 41'	200	2,3	—	—	—	—	Sistema subvolcánico, asociado a arco magmático. Mineralización alojada en torno a chimenea y a estructuras radiales.	Terciario medio.	Andesitas y brechas hidrotermales.

Simbología: Py: pirita; Cpy: calcopirita; Bn: bornita; Hem: hematita; Gal: galena; Bl: blenda; Espe: espcularita; En: enargita; Mgt: magnetita; Tet: tetradrita; Arsenopy: arsenopirita; Qtz: cuarzo; Cal: calcita; Anh: anhidrita; Bar: baritina; Lim: limonita.

Tipo de estructura	Longitud de la estructura mineralizada (metros)	Tamaño de los cuerpos mineralizados (metros)	Lateral	Vertical	Alteración	Profundidad zona de oxidación metros	Au g/t	Ley zona primaria g/t	Tipo de yacimiento	Observaciones	Referencias
Vetas tipo rosario, clavos en zona de intersección de estructuras.	100 - 2.000	Long.: 100 - 150 Pot.: 0,50 - 5,0 Prof.: 170	Au-Py Gal-Cpy-Py(Au)-Ag	Au-Py-Qtz ↓ Py-Cpy-Bi-Hem Qtz-Anh-yso ↓ Cpy-Gal-Bi-Qtz Py-Anh-Cal-Bar ↓ Qtz-Py	Sericita, cuarzo, arcillas, halos propiliticos.	100	30	4	Vetas tipo a-3	Se estima que durante la historia de las minas del distrito se han explotado 200.000 t con ley media de 10 g/t.	Salinas, M., 1975 Camus, F.; Duhalde, A., 1981d Rivers, C., 1980 Anónimo, 1932
Vetas tipo rosario, "stockwork", brechas con formas elípticas.	200 - 2.000	Long.: 50 Pot.: 0,5 - 1,5 Prof.: 290 Las brechas de formas elípticas tienen dimensiones de 10-30 m de diámetro.	Au - Ag - Cu	rodocrosita-Qtz Qtz-Bar-Au-(Ag) (mena aurífera) ↓ En-Qtz-Cpy-Au-Ag (mena cuprífera) ↓ En-Py-Qtz	Silificación, argilización y halos cuarzo-sericiticos y, más externamente, halos propiliticos en torno a las vetas.	50-70	50-60	4 - 5	Vetas tipo a-4	Asociado a una zona de alteración. La zona con alta ley de Au se concentra en los primeros 50 m.	Llaumett, C., 1979 Egaña, P., 1978 Brewer, W., 1962 Waterman, J., et al., 1958
Vetas tipo rosario.	100 - 2.000	Long.: 50 - 100 Pot.: 0,60 Prof.: 250 - 300	—	Qtz-Cal-Py(Au) Hem-Espec ↓ Bi-Py-Qtz	Cuarzo-sericitico	170	35	—	Vetas tipo a-5	Asociado a una zona de alteración.	Salinas, M., 1975
Vetas tipo rosario.	600 - 1.300	Long.: 100 - 200 Pot.: 0,4 - 2,0 Prof.: 120	—	Qtz-Hem-Espec-Au Cal	Cuarzo-sericitico débil.	130	10	—	Vetas tipo a-3	En ninguna mina se ha alcanzado la zona primaria.	Salinas, M., 1975
Vetas tipo rosario y clavos en intersección de estructuras.	600 - 1.000	Long.: 50 - 250 Pot.: 0,50 Prof. max.: 350 Prof. media: 40 - 60	—	Qtz-Py-(Au) ↓ Cpy-Py-Qtz ↓ Py-Qtz-Cal	Débil argilización de las cajas.	Prof. max.: 30-40 150	20-40	5 - 10	Vetas tipo a-1, a-2 y a-3	Presencia de teluros de Au.	Flores, H.; Ruiz, C., 1946 Villarreal, P., 1972
Vetas y clavos.	250 - 2.000	Clavos de hasta 6 m de diámetro. Long.: 250 - 400 Pot.: 0,8 Prof.: 200	—	Qtz-Py(Au) Hem ↓ Qtz-Cpy-Py	Débil argilización de las cajas.	350	12-30	—	Vetas tipo a-3	No se alcanzó la zona primaria salvo en la mina de Andacollo.	Salinas, M., 1975
Lentes dentro de estructura.	1.900	Long.: 140 - 200 Prof.: 350 - 400 Pot.: de hasta 15 m, el promedio de 1 - 2 m.	—	Qtz-Py(Lim) ↓ Qtz-Cal-Bar Py-(Cpy)-(Bi) (Hem)	Argilización débil.	160-200	< 10	—	Vetas tipo a-1		Flores, H., 1943
Vetas: — Veta 1: con enargita-pirita; — Veta 2: con Qtz y Au nativo.	Dentro de un sector de 1.500 por 100 m.	Veta 1: Long.: 60 Pot.: 10 Prof.: 110 - 140 Veta 2: Long.: 100 - 120 Pot.: 1 - 2 Prof.: 100 - 150	—	Qtz-Au(En) Qtz-En-Py	Argilización, silificación, propilitización.	Oxidación variable, en parte superficial. Desarrollo de escorodita, jarrota-goetita	> 30	12	Vetas tipo a-4	Mineralización ocurre como parte de un sistema hidrotermal, que se ha desarrollado asociado a un cordón N-S de centros volcánicos.	Anónimo, 1982 Llaumett, C.; et al., 1974 Arancada, R., 1982
Fracturas asociadas a manto de riolitas.	Dentro de un sector de 1-3 km, 4 áreas mineralizadas.	—	Au - Cu	(Au)-En-Py concentración en zona de oxidación	Dentro de zona propilitizada.	10	2	0,5 - 1	Cuerpos tipo d	Mineralización de oro marginal a un sistema porfirico (Andacollo). Oxidación controlada por las fracturas. Mayor concentración del oro en la base de mantos de riolitas.	Drummond, A. D.; Espinosa W., 1978 Fuenzalida, R. (comun. oral)
Vetas.	3.460	Long.: 300 Pot.: 23 Prof.: 350	N-S Qtz-Espec-Mgt-Py-Cpy- sermercu. Au-cinabrio ↓ Cal-Qtz-Hem-Mgt-Py-Cpy-Au	Py(Au) ↓ Py(Au)-Cu-Hg	Argilización en torno a las vetas.	45-60	8-10	3 - 4	Vetas tipo a-1	Cuerpos mineralizados a lo largo de una zona de cizalle.	Lepeletier, C., 1964 Galay, I., 1974
Veta tipo rosario, 0,20-0,80 m.	450	Long.: 200 Prof.: 310 Ancho promedio: 1,2	—	Qtz-Py(Au)-Au-Gal	—	—	13-30	—	Vetas tipo a-1	—	Swayze, W. H., 1949
Veta tipo rosario.	100 - 2.300	Long.: 60 - 250 Pot.: 1 - 5 Prof.: 150 - 250	—	Qtz-Py(Au)-Cpy Ten-Cal ↓ Qtz-Py(Au)-Cpy Bi-Cal-Cal	Argilización y sericitización alrededor de las vetas.	10-30	20	8 - 10	Vetas tipo a-2	—	Camus, F., 1982
Vetas en rosario.	200 - 300	Long.: 20 - 30 Pot.: 1,5 - 7 Prof.: 50-7	—	Qtz-Py(Au) Cpy-Bi-Gal-Cal	Cuarzo sericitico.	15-20	3	3	Vetas tipo a-2	No hay información sobre zonación vertical u lateral.	Dávila, A., 1965 Camus, F.; Duhalde, M. A., 1981c Stierling, A., 1942 Dávila, A., 1966
Vetas en rosario.	70 - 450	Long.: 50 - 100 Pot.: 1 - 4 Prof.: 50 a 200	Cpy-Py-Espec + Au-Qtz ↓ Py-Gal-Bi-Qtz	Qtz-Py(Au) Cpy ↓ Py-Cpy-Gal-Bi ↓ Qtz-Py	Fuerte silificación a nivel distal y rodeando a las vetas.	50	30	3 - 4	Vetas tipo a-2	—	Flores, H., 1948
Vetas.	100 - 600	Long.: 50 - 150 Pot.: 0,5 - 2 Prof.: 40 - 50	—	Qtz-Py-arsenopy con menor Bi-Gal	Silificación y sericitización en torno a las vetas.	40-50	20	5	Vetas tipo a-1	Las vetas se explotaron sólo en su zona de oxidación.	Muñoz, M. I., 1975 Muñoz Cristó, J., 1936
Vetas en rosario.	1.300	Long.: 100 - 150 Pot.: 0,50 - 3 Prof.: 300	—	Qtz-arsenopy-Py Gal-Bi-Cpy subita	Argilización en torno a las vetas.	10-40	30-35	2 - 3	Vetas tipo a-3	—	Camus, F., 1981 Loram, S. H., 1949
Vetas.	20 - 600	Pot.: 1,5 Prof.: 50	—	Qtz-Py(Au) Spec	Zona de alteración con cuarzo-sericit-arcillas.	10	—	3 - 4	Vetas tipo a-2	—	Fruelche, C. H., 1930 Camus, F.; Duhalde, M. A., 1981b
Vetas.	400 - 1.000	Long.: 20 - 30 Pot.: 1 - 2 Prof.: 50	—	Qtz-Py(Au)	Débil alteración a arcillas en aureolas alrededor de vetas (3-4 m).	0 - 5	10	—	Vetas tipo a-2	—	Camus F.; Duhalde, M. A., 1981a Hornkohl, H., 1940
Clavos asociados a zonas de cizalle.	500 - 1.000	50 - 60 m de diámetro Prof.: 200 m	—	Qtz-Py(Au) ↓ Py-Cpy-Bi-Gal-(Au)	Mineralización ocurre dentro de una extensa zona de alteración cuarzo-sericit-arcillas-turmalina, rodeada por un halo de propilitización.	20-70	30-35	3 - 4	Cuerpos tipo b	—	Camus, P.; Drummond, A. D., 1979 Gier, B., 1933 Camposano, J., 1974 Flores, H., 1942
"Stockwork"	200 x 300 m (de esto solamente se ha reconocido un sector de 40 x 50 m).	—	—	Qtz-Py-Au	Silificación, cloritización y débil sericitización.	—	—	2 - 3	Cuerpos tipo c	Se trata de minas de py y oro alojado en un stockwork que se ubica en torno a un centro volcánico.	Ambrus, J.; Araya, M., 1981

TABLA 3. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES DE ORO EN CHILE

TABLA 4. DISTRIBUCION EN EL TIEMPO DE LOS DISTRITOS AURIFEROS ESTUDIADOS

Arco Magmático Jurásico Superior-Cretácico Inferior	Arco Magmático Cretácico Inferior-Terciario inferior (en cuerpos subvolcánicos)	Arco Magmático Mioceno-Pleistoceno (en cuerpos subvolcánicos)
Vetas	Vetas	Vetas
Sierra Esmeralda	San Cristóbal	El Indio
Inca de Oro	El Guanaco	
El Capote	Cachiyuyo de Oro	Brechas/Estructuras
Los Mantos de Punitaqui	El Bronce de Petorca	Minas del Prado
Las Vacas	Alhué	
Las Palmas	Chancón	
Loma Blanca	El Tigre	
Pichidegua		
Zonas de Cizalle	Fracturas/Sistema Porfírico	
El Chivato	Andacollo	

MARCO GEOTECTONICO

Gran parte de la mineralización aurífera, en el país, se originó durante el desarrollo del Ciclo Andino, entre el Triásico y el Pleistoceno, probablemente como respuesta a la actividad de una zona de convergencia de placas. Esta zona se manifestó, primeramente, en el período Triásico Superior a Cretácico Inferior, por el desarrollo de un arco magmático y una cuenca trasarco asociada. Durante el Cretácico Medio, desaparece la cuenca trasarco, desarrollándose, a partir de esa época, una actividad volcano-sedimentaria, instalada siempre sobre el margen continental sudamericano. Esta actividad ha continuado hasta el Reciente (Coira *et al.*, en prensa).

Durante el Ciclo Andino, se generan los 20 distritos o depósitos estudiados, los cuales se pueden agrupar en (Tabla 4): 1) depósitos asociados al arco magmático del Jurásico Superior-Cretácico Inferior; 2) depósitos asociados a sistemas subvolcánicos, desarrollados durante el Cretácico Superior-Terciario inferior; y 3) depósitos asociados a sistemas subvolcánicos, desarrollados durante el Terciario medio-superior.

El control de la mineralización ha sido, en todos los casos, de tipo estructural, correspondiendo a fracturas de tensión, a intersección de las mismas o a intersecciones de fracturas con posibles chimeneas de brecha (Minas del Prado). El primer caso es el más común; en otros casos (Andacollo), la mineralización aurífera aparece asociada a estructuras radiales, que forman parte de sistemas porfíricos, con extensas zonas de alteración hidrotermal y donde la mineralización aurífera constituye un elemento importante del conjunto.

No hay evidencias directas de mineralización aurífera durante el Paleozoico, salvo el hecho indirecto que señala la presencia de placeres auríferos, ubicados alrededor de los contactos entre roca metamórficas, paleozoicas, e intrusivos de igual edad, con los cuales se podría relacionar la fuente primaria de este oro. Ello es especialmente notorio en la región correspondiente a la Cordillera de Nahuelbuta.

EDAD

Se han reconocido tres períodos de mineralización de oro (Tabla 4), los cuales se asocian con tres períodos orogénicos sucesivos. Estos períodos van

desde el Jurásico Superior al Pleistoceno.

El criterio utilizado para definir estos tres períodos se basa en las edades determinadas para las rocas encajadoras de los depósitos, según el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (I.I.G., 1968) y sus relaciones de contacto con los intrusivos que las atraviesan. Se dispone de escasos datos sobre edades radiométricas de los intrusivos asociados con estos yacimientos.

Un hecho interesante, que cabe señalar, se refiere a que la mayoría de los depósitos se formaron en el período Jurásico Superior-Cretácico Inferior, disminuyendo hacia los períodos siguientes. Esto es particularmente notorio en el caso del período Mioceno-Pleistoceno, donde sólo se han reconocido dos yacimientos (Tabla 4). Sin embargo, este hecho puede estar reflejando sólo un problema de nivel base de erosión, mucho más alto en la Cordillera, zona que muestra el desarrollo de numerosos sistemas y campos geotérmicos asociados, de edad pleistoceno-holocena, los cuales podrían estar representando las partes más elevadas de sistemas epitermales.

LITOLOGIA

Las rocas donde ocurren los depósitos auríferos corresponden a andesitas, brechas volcánicas, tobas ignimbríticas, riolitas y dacitas, las cuales aparecen atravesadas por intrusivos cuyas composiciones van desde diorítica a granodiorítica.

Las andesitas son el tipo litológico más abundante. Del total de depósitos estudiados, el 70% se aloja en estas rocas. Prácticamente todos los depósitos pertenecientes al período Jurásico Superior-Cretácico Inferior están alojados en andesitas o intrusivos dioríticos a granodioríticos. Las ignimbríticas, riolitas y dacitas se hacen más importantes desde el Cretácico Superior al Reciente.

En algunos depósitos se presentan diques de composición básica, alojados a lo largo de las estructuras mineralizadas, que han sido interpretados, tradicionalmente, como fuente de la mineralización aurífera (Flores, 1942). Ejemplos son los casos de Inca de Oro, El Capote y El Bronce de Petorca. Cabe hacer notar que, en todos los casos, estos diques son totalmente estériles.

MORFOLOGIA DE LOS YACIMIENTOS

Los depósitos auríferos chilenos consisten, en su gran mayoría, en yacimientos vetiformes, alo-

jados a lo largo de estructuras de fallas o zonas de cizalle pre-existentes. La mineralización se localiza en forma de cuerpos lenticulares, de dimensiones variables, dentro de la estructura, formando rosarios alternados con zonas estériles. Esto se interpreta como el resultado de movimientos pre-minerales, a lo largo de las estructuras, que generan espacios abiertos por cambios en el rumbo y manto de las fallas. La mineralización se concentra en los huecos o espacios dilatantes generados, dando con ello lugar al cuerpo vetiforme. Si los movimientos a lo largo de la estructura continúan en las etapas intra y postminerales, los cuerpos mineralizados pueden tener texturas brechosas y estar rodeados por zonas de "stockwork", lo que ayuda, en forma considerable, al aumento de sus potencias.

La longitud de las estructuras mineralizadas varía desde los 100-150 m hasta los 3.400 m, como en el caso de Los Mantos de Punitaqui (Ruiz *et al.*, 1965). Los cuerpos lenticulares producidos dentro de estas estructuras tienen entre 20-30 m de largo, en el caso de Alhué y Loma Blanca, y 400 m en el caso de Cachiuyuyo de Oro. La potencia de las estructuras varía desde pocos centímetros hasta 2-3 m. Los cuerpos mineralizados tienen potencias desde 0,20 m hasta 23 m. Las profundidades de estos depósitos, conocidas en base a laboreos, pueden llegar hasta los 400 m, como es el caso del distrito El Capote.

Además de los cuerpos vetiformes, existen dos tipos de depósitos que no siguen estrictamente las características morfológicas arriba descritas. Se trata de bolsones tabulares o clavos, que se generan como consecuencia de la intersección de estructuras de cizalle. Estas intersecciones, al sufrir movimientos posteriores, dejan espacios abiertos que, al ser rellenados con mineralización, dan lugar a los clavos. El resultado puede ser cuerpos tipo "stockwork" o brechas. Ejemplos de estos casos se reconocen en Inca de Oro, en San Cristóbal y en El Chivato.

El segundo tipo morfológico se refiere a intersecciones de una posible chimenea de brecha con estructuras radiales, que se ubican en torno a ella. En estos casos, la mineralización constituye, preferentemente, cuerpos de formas irregulares, que se localizan en las estructuras radiales y en las zonas de brecha y "stockwork", ubicadas en la periferia de la chimenea. El sector más rico corresponde a la estructura y su zona de intersección con la chimenea. El caso de Minas del Prado constituye el ejemplo más característico de este tipo.

ZONACION PRIMARIA

La mineralogía primaria, presente en estos yacimientos, corresponde a: pirita, arsenopirita, calcopirita, tetraedrita, bornita, blenda, galena, enargita, estibnita, schwarzita, especularita y cinabrio. A ellos hay que agregar, como minerales de ganga: cuarzo, calcita, anhidrita, baritina y rodocrosita.

Dentro de los yacimientos estudiados, estos minerales se agrupan en las siguientes asociaciones:

- Cuarzo-pirita-oro
- Cuarzo-enargita-pirita (oro)
- Cuarzo-pirita (oro)-calcopirita-galena-blenda-tetraedrita-calcita
- Cuarzo-calcopirita-pirita (oro)
- Cuarzo-calcita-pirita (oro)-especularita
- Cuarzo - pirita (oro) - calcopirita - cinabrio - magnetita-especularita
- Cuarzo-pirita (oro)-arsenopirita (oro)
- Cuarzo - arsenopirita (oro) - pirita (oro) - galena-blenda-calcopirita-estibnita

El oro en estas asociaciones, generalmente, se presenta libre o dentro de la red cristalina de la pirita y arsenopirita. En algunos casos, ocurre en calcopirita, blenda y tetraedrita. La plata, cuando existe, se asocia a la galena y tetraedrita.

Estos minerales se ordenan, espacialmente, dentro de los yacimientos, en forma zonada, tanto lateral como verticalmente.

La zonación vertical (Tabla 5) se caracteriza por presentar, en su parte superior, un sector que denominamos "zona de metales preciosos", en el cual, generalmente, se ubica la asociación cuarzo-pirita y donde el oro se encuentra asociado a este último mineral o libre. Localmente, en esta zona, pueden ocurrir también enargita-tetraedrita, ricas en plata, con gangas del tipo baritina-rodocrosita-especularita. Es en esta zona donde los valores primarios de oro y plata son más altos, alcanzando cifras de hasta 500 g/t.

Bajo esta zona se presenta un sector con metales básicos, agrupados en la asociación cuarzo-pirita-calcopirita-bornita-galena-blenda con baritina y calcita. Localmente, pueden ocurrir tetraedrita, schwarzita y estibnita. El oro en este sector disminuye a niveles del orden de 8-10 g/t y aún menores. Normalmente, ocurre asociado a la pirita.

Por último, la zona de metales básicos grada a una zona inferior, que contiene la asociación cuarzo-pirita-arsenopirita y donde el contenido primario de oro es aún más bajo. Los contactos entre las tres zonas descritas son totalmente graduales. El contenido de plata, al igual que el de oro, es mayor en la zona superior y disminuye gradualmente hacia abajo.

La zonación lateral ha sido reconocida, localmente, en algunos de los depósitos estudiados y no hay información suficiente que permita generalizar

TABLA 5: CUADRO DE ZONACION PRIMARIA, VERTICAL, DE LOS YACIMIENTOS DE ORO

Zona	Asociación Mineralógica	g/t Au						
		2	4	6	8	10	15	20
I Superior o de metales preciosos	Pirita con oro asociado o libre. Localmente, enargita-tetraedrita, con plata asociada. Gangas de cuarzo calcedónico, baritina, rodocrosita, especularita.							
II Media o de metales básicos	Pirita con oro asociado, calcopirita, galena-blenda. Localmente, bornita-tetraedrita-schwarzita-estibnita. Gangas de cuarzo, baritina, calcita, hematita.							
III Inferior	Cuarzo-pirita-arsenopirita.							

una mineralogía. En líneas generales, se puede decir que existe una zonación, dentro de la cual el oro toma una posición central, gradando, lateralmente, hacia Ag-Cu y luego Pb-Zn. En un caso (Los Mantos de Punitaqui), se tiene una zonación lateral con oro-cobre-mercurio.

ALTERACION HIDROTHERMAL

La alteración hidrotermal se puede analizar a nivel de depósitos individuales y a nivel distrital.

Los depósitos individuales, generalmente, se caracterizan por presentar halos de tipo cuarzo-sericita que se extienden no más allá de un metro de la estructura mineralizada. Si esta última es muy potente y ha desarrollado en su contorno zonas de "stockwork", éstas aparecen fuertemente alteradas a cuarzo-sericita y minerales de arcilla, generalmente del tipo caolín. A medida que disminuimos en la edad de los depósitos y dependiendo de su litología, se observa un incremento en la extensividad de la alteración. En efecto, los yacimientos asignados al período que va desde el Jurásico Superior al Cretácico Inferior, y que ocurren alojados en intrusivos dioríticos y granodioríticos, presentan halos de cuarzo-sericita muy restringidos, no más allá de 20-30 cm. Igual cosa sucede en los yacimientos encajados en andesitas, aunque los halos pueden ser mayores, alcanzando un máximo de 50 cm. En los períodos siguientes se empieza a notar, en algunos de los depósitos, un mayor desarrollo de la alteración. En el caso de El Guanaco (Fig. 8), se observa una silicificación muy desarrollada en torno a las vetas, con claras evidencias de una zonación a nivel distrital, consistente en una zona central, compuesta por cuarzo-sericita-arcilla, gradando a un halo de tipo propilítico con clorita-epidota.

En los depósitos más recientes, como es el caso de los yacimientos del distrito El Indio, las vetas individuales presentan una zonación muy similar a la anterior, aunque con mayor desarrollo de los minerales de arcilla (Araneda, en prensa). A nivel distrital, Llaumett y Henríquez (1976) reconocieron cuatro zonas de alteración hidrotermal que, desde el centro hacia afuera, son:

- zona central con argilización-cuarzo-sericita,
- zona lateral con cuarzo-arcilla-alunita,
- zona marginal con sílice criptocristalina,
- zona propilítica (clorita-arcilla-epidota).

Este cuadro de alteración, según dichos autores,

se distribuye en seis sectores distintos, separados entre sí por 4-5 km, y que conforman una franja norte-sur de 30 km de largo con 4 km de ancho, aproximadamente. La mineralización aurífera se concentra en las dos zonas interiores.

Trabajos posteriores (Nasi *et al.*, en prep. y Mpodozis y Cornejo, en prep.) reconocen un total de 20 zonas de alteración hidrotermal, en una extensión de 200 km, caracterizadas por la presencia de cuarzo, yeso, caolinita, montmorillonita, alunita y pirofilita. Las más destacadas dentro de estas zonas son Nevada, Sancarrón, Libra, El Indio, Las Hediondas y La Coipa. De ellas, sólo Nevada, Sancarrón y El Indio presentan mineralización aurífera, reconocida, siendo esta última la más importante. Ahora bien, si comparamos las zonas auríferas con las no auríferas, notamos que las diferencias están en el tipo de alteración presente, mientras en las auríferas la alteración es cuarzo-sericítica y argílica, con predominio de la primera, en las no auríferas aquélla es de tipo argílico avanzado, con mayor abundancia de pirofilita, alunita y menores proporciones de caolinita (Nasi *et al.*, en prep.).

Se puede concluir que las características tan distintas en cuanto a extensividad de la alteración se deben, básicamente, a diferentes grados de erosión. Los yacimientos que muestran desarrollos hidrotermales relativamente más completos son aquéllos de edad más joven y que presentan un menor grado de erosión. Indirectamente, este hecho está indicando que, hacia la parte superior de los sistemas epitermales, los cuadros de alteración muestran características de alta acidez y grado de oxidación, lo cual va disminuyendo, gradualmente, en profundidad.

ZONA DE OXIDACION

En la gran mayoría de los yacimientos estudiados, se reconoció una zona de oxidación en la cual existe un incremento notable de las leyes de oro entre 2 y 10 veces. Esta acumulación se habría producido como consecuencia de mecanismos químicos, mecánicos o una combinación de ambos. El resultado es la formación de una zona de oxidación, caracterizada por la presencia de óxidos de hierro, carbonatos y sulfatos, productos de la lixiviación de sulfuros de Cu, Fe, Pb y Zn preexistentes, rodeada por minerales de arcilla de origen

supérgeo. La profundidad de esta zona varía entre 3-4 m hasta 200 m gradando, en algunos depósitos, a una delgada capa de sulfuros secundarios seguida, en profundidad, por la zona primaria.

La mayor o menor profundización de la oxidación está controlada por factores del tipo permeabilidad de la estructura mineralizada, la mineralogía y por el clima.

La mineralogía, a la vez que la permeabilidad de los depósitos individuales, han controlado el grado de oxidación y enriquecimiento producido. Como señalamos en el capítulo anterior, la gran mayoría de los depósitos presentan una mineralogía primaria sulfurada, donde predominan los sulfuros de cobre y hierro, los cuales son los principales portadores de oro. La oxidación y lixiviación de estos minerales sulfurados produce abundante ácido sulfúrico y sulfato férrico, los cuales son fuertemente oxidantes y liberan el oro de los sulfuros. El carácter extremadamente bajo del pH existente dentro de la zona de oxidación produce la fijación del oro como residuo, entremezclado con limonitas provenientes de la oxidación de los minerales sulfurados. Esta situación se ve favorecida si las gangas no son reactivas, como es el caso de la mayoría de los yacimientos chilenos. Como consecuencia de este mecanismo, se produce, en la parte superior de los depósitos, una zona de acumulación de oro o "gossan", que disminuye gradualmente en profundidad y que será más o menos importante dependiendo del volumen de sulfuros existentes en el cuerpo mineralizado y del oro que éstos contengan. Este oro así liberado, si la permeabilidad de la roca lo permite, puede, además, descender lentamente por gravedad y acumularse en zonas favorables, como planos de falla, diaclasas o sectores brechizados. Ejemplos de este caso lo constituyen los yacimientos El Chivato y San Cristóbal, donde el oro se ha acumulado como láminas o pecas en los planos de fracturas.

Si las rocas encajadoras, por el contrario, son carbonatadas, las soluciones son rápidamente neutralizadas, lo que ayuda a la estabilidad y formación de complejos alcalinos, especialmente sulfurados, muy móviles, que producirán la migración del oro en profundidad (Boyle, 1979).

Para producir la migración del oro en un ambiente ácido, se requiere la presencia de cloruros, susceptibles de producir, con el oro, complejos clorurados, estables, en condiciones de pH bajo (Boyle, 1979).

Los sulfuros de cobre, cinc y plomo, con plata asociada, sufren un enriquecimiento paralelo al del oro. Como consecuencia, el cobre y la plata se concentran en la zona de sulfuros secundarios y el plomo y el cinc se concentran formando sulfatos y carbonatos en la zona oxidada. El oro tiende a acumularse en la zona de oxidación y, en mucho menor grado, en la zona de sulfuros secundarios.

Las características de la oxidación y enriquecimiento secundario, descritas, tienen directa relación con la evolución geomorfológica de la franja considerada y con las variaciones climáticas que ella ha sufrido. Los yacimientos de cobre y hierro que existen también dentro de esta franja, han sufrido un proceso paralelo al de los depósitos auríferos. Este proceso es bien conocido al norte del paralelo 29° S por los estudios de Mortimer (1973) y Mortimer y Saric (1972). Según estos estudios, el enriquecimiento secundario ocurrió en dos períodos; el primero, en el Eoceno, con la llamada fase I de Mortimer (1973), durante la cual se desarrolló la "superficie cumbre"; y el segundo, luego de la fase II o "superficie Sierra Checo del Cobre" del mismo autor. En consecuencia, los perfiles de oxidación, observados en los yacimientos de oro, son el reflejo de estos períodos de enriquecimiento, los cuales pueden ser más o menos profundos, dependiendo del grado de erosión que hayan sufrido.

Cabe hacer notar que la oxidación de los depósitos auríferos no produce zonas de enriquecimiento como se entiende en el caso del cobre, sino que el oro va siendo transportado y acumulado en la medida que la erosión y la oxidación subsecuente progresan. En consecuencia, las zonas enriquecidas que se observan son el resultado de la oxidación y removilización, producidas durante las dos etapas de enriquecimiento que se han reconocido en el norte de Chile.

Al sur del paralelo 29° S, las condiciones de la evolución geomorfológica y climática han sido diferentes y como resultado de ello se observa una sola etapa de enriquecimiento secundario o de acumulación de oro. El grado de este enriquecimiento disminuye, paulatinamente, hacia el sur, desapareciendo a la latitud del paralelo 36° S. En efecto, los yacimientos de Minas del Prado prácticamente no han sufrido enriquecimiento, sino sólo una oxidación incipiente, muy superficial.

Hacia la zona cordillerana, los procesos de enriquecimiento están poco desarrollados, existiendo

solamente oxidación superficial que, localmente, puede alcanzar profundidades de hasta 120 m, como en el caso de las vetas lixiviadas del yacimiento El Indio, donde los sulfuros ocurren fuertemente oxidados a minerales del tipo jarosita, esco-

rodita y goetita. Estas vetas muestran un enriquecimiento de los valores de plata de 3-5 veces pero, sin embargo, no presentan evidencias de enriquecimiento del oro (Araneda, en prensa).

TIPOS DE YACIMIENTOS RECONOCIDOS

De acuerdo con sus características morfológicas, estructurales y mineralógicas, los yacimientos estudiados se han dividido en los siguientes tipos (ver Fig. 4).

- Yacimientos tipo veta,
- Clavos asociados a zonas de cizalle,
- Cuerpos irregulares, asociados a chimeneas de brecha,
- Mineralización en fracturas, marginales a sistemas porfíricos.

a. Yacimientos tipo Veta

Dentro de este grupo se ubican todos aquellos distritos en los cuales la mineralización se localiza a lo largo de estructuras preexistentes. Los cuerpos mineralizados tienen formas de rosario y, por lo general, son más persistentes lateral que verticalmente. Dentro de algunas vetas se ubican zonas de "stockwork".

En base al tipo de roca encajadora, mineralogía y alteración, se han distinguido los siguientes subgrupos:

a-1. Vetas en intrusivo: Se trata de cuerpos mineralizados, asociados exclusivamente a intrusivos de composición diorítica a granodiorítica; son vetas muy angostas, superando rara vez el metro de potencia, y muestran una tendencia a acumularse en profundidad. Su mineralogía es simple y consiste en cuarzo, pirita, arsenopirita y oro asociado. Localmente, en la parte superior, se presentan pequeñas proporciones de galena-blenda y calcopirita.

Sus leyes son bajas (4 g/t) por lo que se requieren oxidación y enriquecimiento secundario para que sean explotables. No contienen otros valores metálicos de interés económico. La alteración es muy poco extensa y se restringe a un delgado halo de silicificación en las rocas de caja de no más de 20-30 cm.

En general, este tipo de yacimiento se reconoce en rocas pertenecientes al período Jurásico Superior-Cretácico Inferior; ejemplos de él son las vetas del distrito minero Pichidegua (Fig. 5).

a-2. Vetas en rocas volcánicas de composición intermedia: Presentan características morfológicas muy similares a las anteriores. La diferencia radica en una mayor potencia de los cuerpos mineralizados (> 1 m) y una mineralogía más compleja, consistente en: cuarzo, pirita, calcopirita, blenda, tetraedrita, calcita, baritina; localmente, hay bornita y anhidrita. Estos minerales se disponen conformando una zonación lateral y vertical, en cuyo centro se ubica calcopirita-pirita-blenda-tetraedrita, gradando hacia los extremos y en profundidad a pirita. El oro aparece asociado a la pirita y, en menor proporción, a la calcopirita y blenda.

La alteración se presenta formando halos de hasta 50 cm, en torno a los cuerpos mineralizados, y consiste en cuarzo, sericita y minerales de arcilla; hacia los extremos, grada a una débil propilitización.

Las leyes primarias en estos tipos de yacimientos bordean los 10 g/t o más, lo que los hace económicamente explotables con los actuales precios del oro, sin requerir, necesariamente, de oxidación y enriquecimiento secundario. Por norma general, contienen valores económicos de plata y cobre. La mayoría de estos depósitos pertenecerían al período Cretácico Superior-Terciario inferior, siendo el distrito El Bronce de Petorca un ejemplo característico (Fig. 6).

a-3. Vetas en rocas volcánicas e intrusivos: Corresponden a una combinación de los dos tipos descritos anteriormente. La parte superior presenta las características del subgrupo a-2 y la inferior, las del subgrupo a-1. El distrito Inca de Oro es un ejemplo de este subgrupo (Fig. 7).

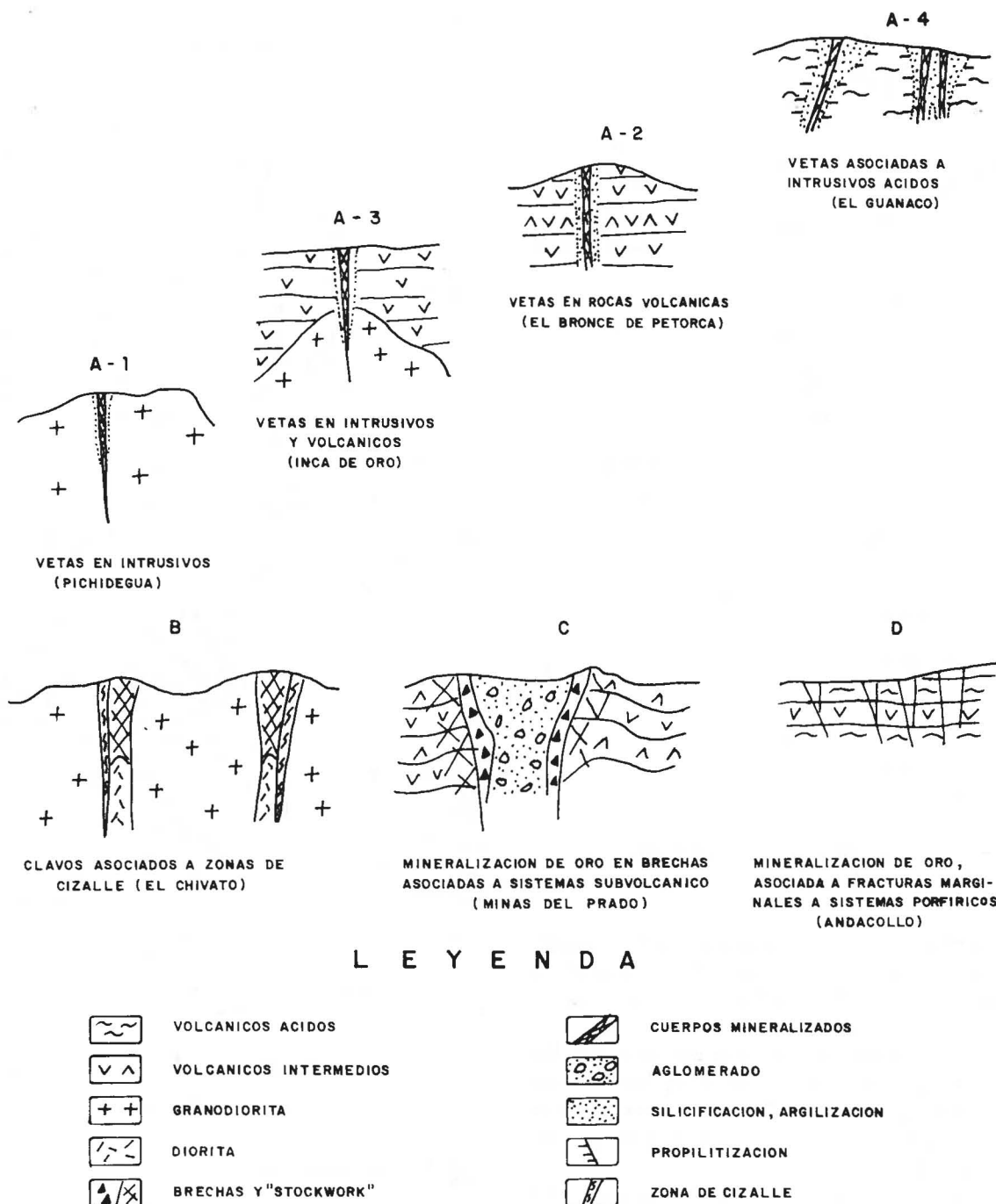


FIG. 4. Bosquejos geológicos para los diferentes tipos de yacimientos hidrotermales de oro, reconocidos en el país.

a-4. Vetas en intrusivos ácidos: Se trata de cuerpos vetiformes, alojados en intrusivos riolíticos y/o dacíticos, los cuales se asocian a extensas zonas de

alteración hidrotermal. Los cuerpos mineralizados se alojan en fracturas de tensión preexistentes que, localmente, constituyen zonas de brechas y/o

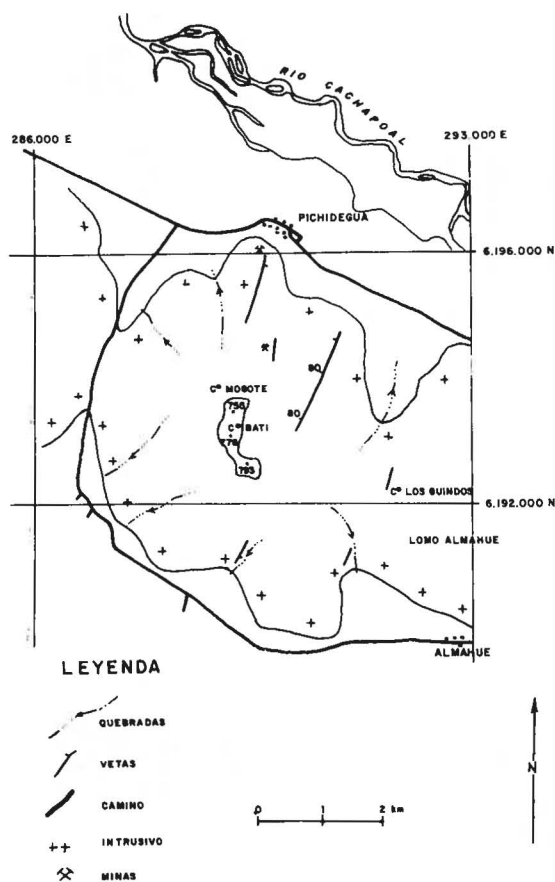


FIG. 5. El distrito minero Pichidegua.

"stockwork". La mineralogía consiste en cuarzo, baritina, rodocrosita, enargita, pirita, calcopirita y oro libre o asociado a los sulfuros de cobre y hierro.

Las leyes primarias de estos depósitos son altas (> 10 g/t), presentando zonas de bonanza que pueden superar los 50-100 g/t. La plata y el cobre constituyen, también, metales económicamente recuperables.

La alteración es muy extensa, alcanzando 10 m en torno a las vetas, y se reconoce una zonación muy características desde cuarzo-sericita y arcillas, en su parte central, a propilítica, en sus extremos. Este cuadro de alteración se puede reconocer tanto a nivel de vetas individuales como a nivel distrital.

La edad de estos yacimientos va desde el Cretácico Superior al Pleistoceno. Ejemplo de este subgrupo es el distrito minero El Guanaco (Fig. 8).

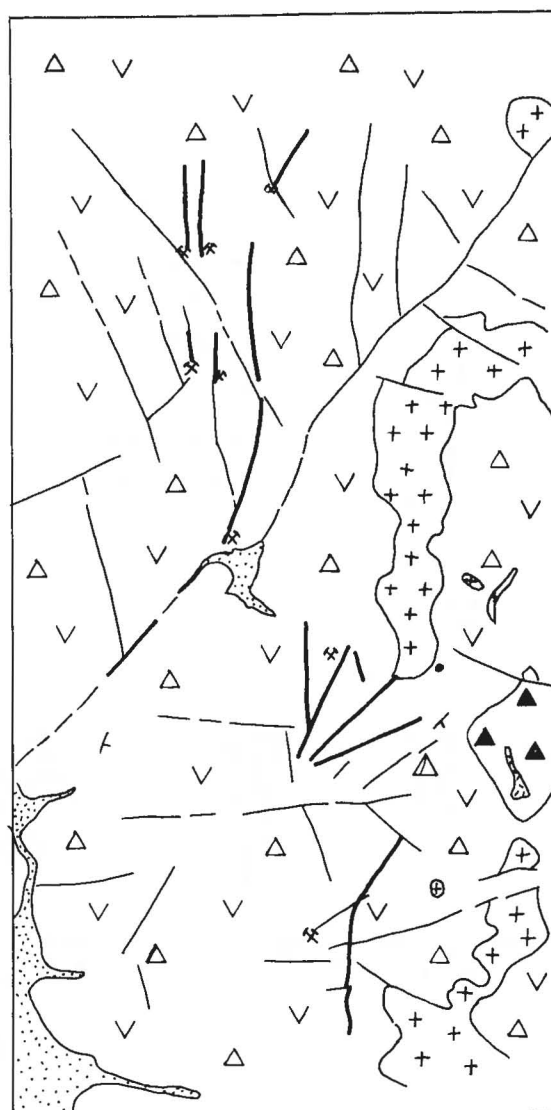


FIG. 6. El distrito minero El Bronce de Petorca.

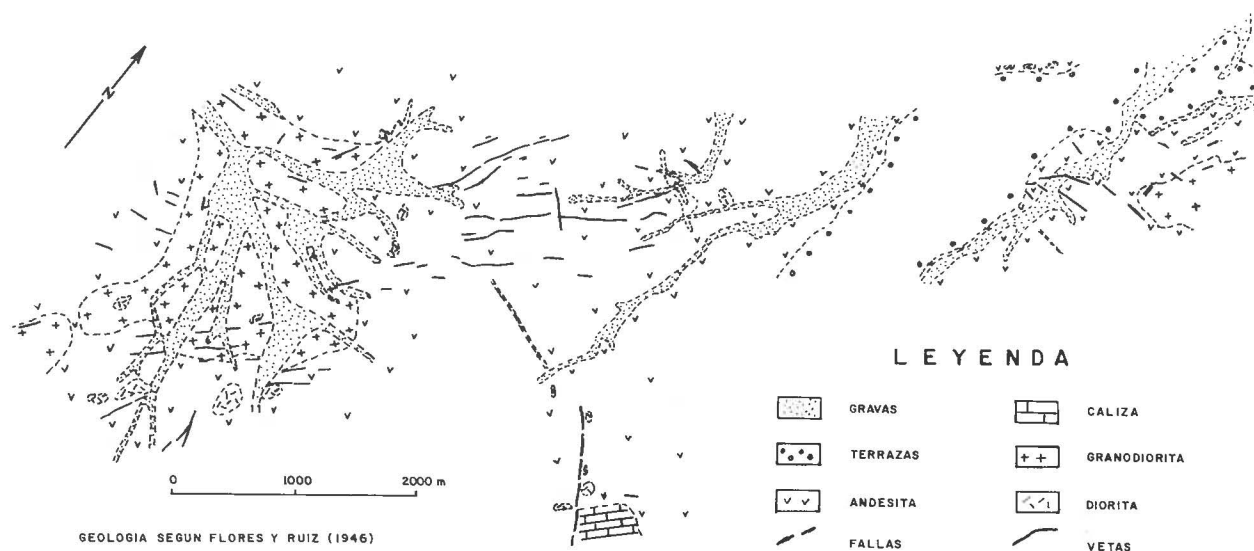


FIG. 7. El distrito minero Inca de Oro.

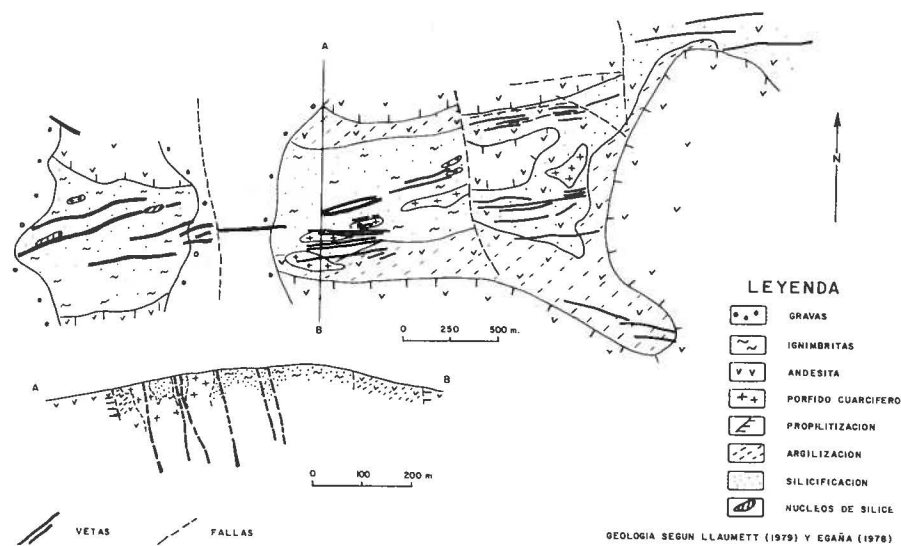


FIG. 8. El distrito minero El Guanaco.

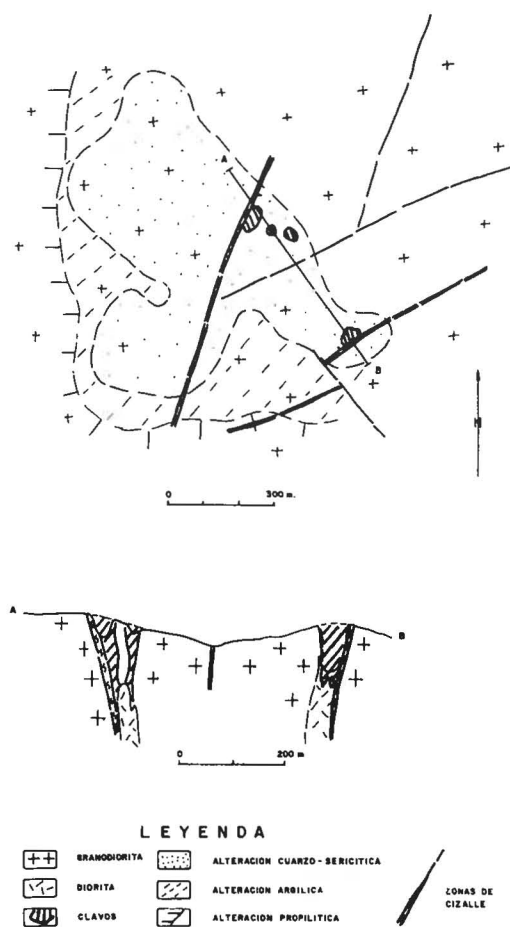


FIG. 9. El distrito minero El Chivato.

b. Clavos asociados a zonas de cizalle

Se trata de cuerpos irregulares, en forma de "clavos", que se producen como consecuencia de la intersección de estructuras de cizalle muy desarrolladas. Estos cuerpos se asocian a intrusivos de composición diorítica y granodiorítica y a extensas zonas de alteración, relacionadas con los mismos. Estructuralmente, conforman zonas de

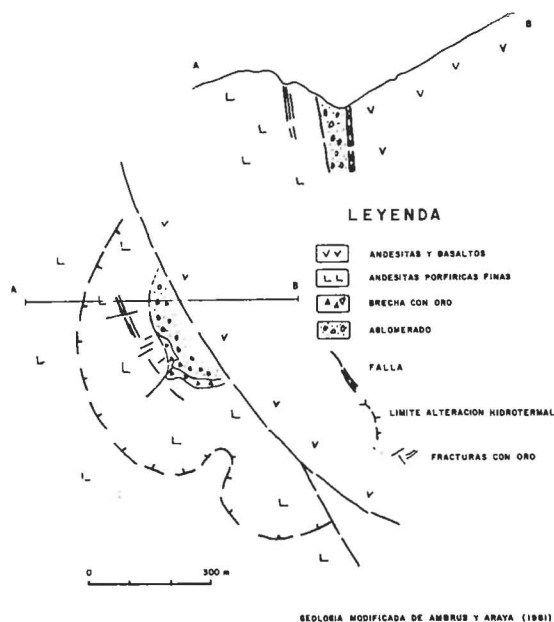


FIG. 10. Minas del Prado.

"stockwork" rellenas con cuarzo, calcita y pirita; localmente ocurren turmalina, blenda y galena. El oro se asocia, en forma exclusiva, a la pirita.

La ley primaria es del orden de 4 g/t en promedio, lo que hace necesaria la existencia de procesos de oxidación y enriquecimiento secundario para que sean económicamente explotables. Los contenidos de otros metales son muy bajos.

La distribución de la alteración hidrotermal está relacionada con las zonas de cizalle y, localmente, con los cuerpos mineralizados, y cubre áreas del orden de 500 x 800 m. Se caracteriza por una zona de alteración cuarzo-sericítica, rodeada por una aureola propilítica. Dentro del ámbito de la zona de alteración filica, su mayor extensividad se presenta coexistiendo con los cuerpos mineralizados.

Yacimientos de este tipo se encuentran asociados solamente a rocas pertenecientes al período Jurásico Superior-Cretácico Inferior, siendo un ejemplo el yacimiento El Chivato (Fig. 9).

del orden de 0,5-1 g/t Au. Estos, al sufrir procesos de oxidación, han producido enriquecimientos muy locales, a lo largo de las fracturas, con leyes que alcanzan valores de 10-15 g/t Au. Los cuerpos resultantes son irregulares y están compuestos por las fracturas más el enrejado que se puede haber generado en sus contornos.

c. Cuerpos irregulares asociados a chimeneas de brecha

Se trata de cuerpos mineralizados, de forma irregular, compuestos por piritita y oro libre, asociados a vetillas de cuarzo, que se ubican en los márgenes brechosos de chimeneas de origen volcánico y en las zonas de "stockwork" que las rodean.

La alteración hidrotermal, reconocida, consiste en silicificación, cloritización, abundante piritita y una débil sericitización. Las leyes primarias son muy bajas, no superando 1 g/t pero, localmente, a lo largo de vetillas individuales, pueden superar los

10-20 g/t Au. Otros metales de interés económico prácticamente no existen.

Se estima que este tipo de depósitos se originó durante el volcanismo del Terciario medio. Los depósitos de Minas del Prado ilustran este tipo de yacimientos (Fig. 10).

d. Mineralización en fracturas, marginales a sistemas porfíricos

Este tipo de mineralización se ha reconocido asociada, marginalmente, a sistemas porfíricos. En efecto, dentro de la facie de alteración propilítica de algunos de estos sistemas se observa la presencia de fracturas radiales al cuerpo porfírico, las cuales presentan contenidos de oro en piritita, con leyes

Este tipo de mineralización aurífera hay que entenderla como formando parte del sistema porfírico. Su edad sería posiblemente Cretácica Superior-Terciaria Inferior y su ejemplo más típico lo constituye el yacimiento de Andacollo.

MODELO PROPUESTO PARA LOS YACIMIENTOS TIPO VETA

Dentro de los cuatro tipos de yacimientos hidrotermales de oro, reconocidos y descritos en el capítulo anterior, los yacimientos tipo veta pueden ser asimilados a un modelo empírico, idealizado, que explica su morfología, mineralogía, zonación y alteración.

El modelo empírico que aquí se propone se basa en observaciones objetivas de los autores y está parcialmente inspirado en modelos epitermales en voga en U.S.A. (Buchanan, 1981; Clifton *et al.*, 1980 y Eimon, 1981). El presente modelo idealizado ha sido construido sobre la base de considerar a los subtipos a-1, a-2, a-3 y a-4 como formando parte de un sólo sistema y el hecho que ocurran actualmente en forma separada se debe exclusivamente a diferentes niveles de erosión.

El modelo resultante se grafica en la figura 11. De acuerdo con él, podemos reconocer cuatro zonas que, desde la superficie hacia abajo, son las siguientes:

- Zona de actividad geotérmica.
- Zona de metales preciosos.
- Zona de metales básicos.
- Zona inferior o de raíces.

La zona inferior o de raíces está caracterizada

por la presencia de delgadas vetas de cuarzo con piritita y arsenopiritita auríferas, las cuales se acuñan en profundidad. La roca encajadora de estas vetas corresponde a intrusivos dioríticos a granodioríticos. La alteración en esta zona es muy poco desarrollada y comprende delgados halos de silicificación en torno a las vetas. Esta zona corresponde a la parte inferior del sistema epitermal.

Inmediatamente sobre la zona de raíces, se ubica la zona de metales básicos, caracterizada por vetas alojadas en rocas volcánicas, intermedias. Estas vetas son más desarrolladas y están compuestas por minerales como cuarzo-piritita-calco-piritita-blenda-galena-estibnita-tetraedrita y calcita. Existe una alteración en halos, bien desarrollada, con silicificación, sericitización y propilitización.

La zona de metales preciosos se desarrolla sobre la anterior en forma gradual. Consiste en vetas bien formadas, alojadas en rocas ácidas a intermedias, las que presentan una extensa alteración hidrotermal, con fuerte desarrollo de arcillas, silicificación, sericitización y, finalmente, propilitización. La mineralogía presente, en esta zona, consiste en cuarzo, calcita, rodocrosita, oro y plata, asociados a piritita y enargita, respectivamente.

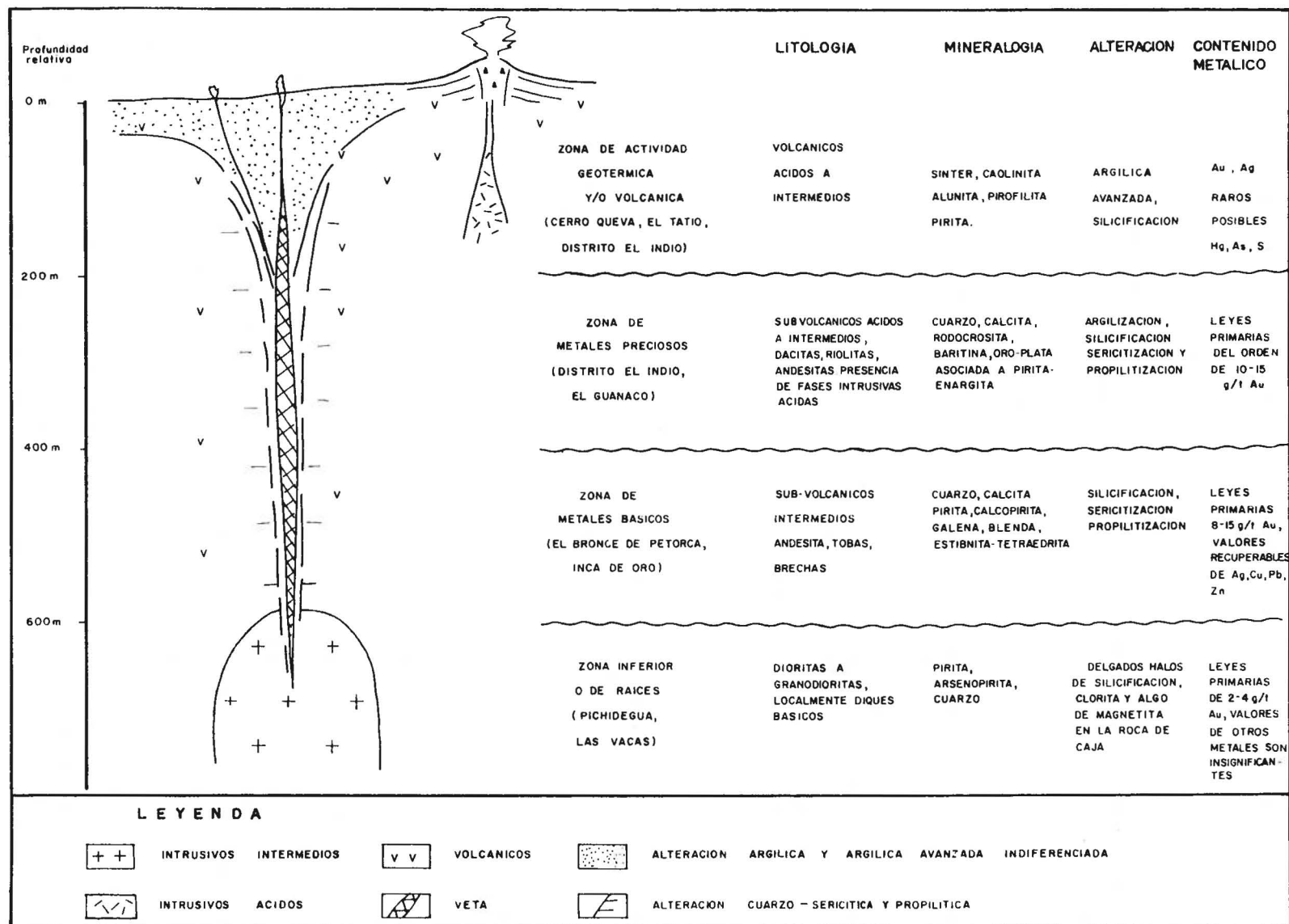


FIG. 11. Modelo conceptual, idealizado, para los yacimientos epitermales de oro en Chile (parte superior modificada de Buchanon, 1981).

Hemos considerado, dentro del modelo propuesto, una zona superior de actividad volcánica y/o geotérmica, que representaría la expresión superficial del sistema epitermal. Ello se basa en los estudios de White (1955, 1967, 1981), Sillitoe (1975) y Weissberg *et al.* (1979), quienes han sugerido una estrecha relación entre fuentes termales, actividad volcánica y depósitos epitermales. Perforaciones en distintos sistemas geotérmicos, en otros países, han demostrado la presencia de extensas zonas de alteración hidrotermal, asociadas a la precipitación zonada de metales preciosos y metales básicos, en forma de pirita, calcopirita, galena, blenda, además de cinabrio, tetraedrita y estibnita. Las temperaturas medidas en campos geotérmicos están dentro de los rangos típicos de yacimientos epitermales. El ejemplo de Broadlands en Nueva Zelanda (Ewers y Keays, 1977) es planteado como un caso clásico de fuentes termales ricas en metales; por otro lado, algunos de los precipitados generados en campos geotérmicos se han explotado económicamente por sus contenidos de mercurio y azufre.

En Chile, existen numerosos campos geotérmicos en la alta Cordillera de los Andes, como El Tatio, Puchuldiza, etc. Estos sistemas se caracterizan por presentar extensas zonas de alteración argílica, avanzada, habiéndose determinado, en los precipitados de sus fuentes termales, altos contenidos en arsénico, bario, estroncio y valores de oro y plata de 3 y 1 ppm, respectivamente (Weissberg *et al.*, 1979). Además, según información proporcionada por A. Lahsen del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile, en El Tatio se habrían detectado altos valores en Pb, Zn, Cu y Sn. Asociados espacialmente a algunos de los depósitos de oro considerados, como El Bronce, Sierra Overa y Sierra Esmeralda, se han reconocido zonas de alteración argílica, que bien podrían estar representando evidencias de antiguos campos geotérmicos actualmente erosionados.

Por otra parte, Sillitoe (1975) reconoció en el distrito El Queva ubicado al noroeste de Argentina, mineralización vetiforme de Pb-Ag, asociada a una extensa zona de alteración destructiva de feldespatos, ubicada en la parte central, erosionada, de un estratovolcán pleistoceno-holoceno. Según Sillitoe, esta mineralización ocurre acompañada de cuarzo calcedónico, dickita, alunita y baritina; la roca de caja corresponde a una dacita. Este caso ilustra claramente el desarrollo de mineralización

epitermal, asociado a un sistema volcánico.

Finalmente, el distrito minero El Indio, con toda una serie de zonas de alteración ubicadas al norte y al sur del mismo, dentro de una extensión de 200 km, constituye el ejemplo más claro entre mineralización epitermal y actividad volcánica y/o geotérmica. Se ha observado (Nasi *et al.*, en prep.) que todas aquellas zonas alteradas con presencia de mineralización aurífera, reconocida (El Indio, Sancarrón y Nevada) se relacionarían con centros volcánicos en torno a los cuales existen evidencias de fuentes termales que están activas aún hoy día. Según estos autores, la alteración asociada es predominantemente de tipo argílico avanzado, cuarzo-sericítico y argílico. Las zonas auríferas presentan una alteración principalmente cuarzo-sericítica, mientras que las no auríferas son, en su mayoría, de naturaleza argílica avanzada.

En consecuencia, es dable considerar, tentativamente, a los centros volcánicos y/o sistemas de actividad geotérmica, como posibles expresiones superficiales de depósitos epitermales.

Hay que hacer notar que el esquema propuesto es idealizado y que, evidentemente, dependiendo de condiciones locales de P, T, pH, roca encajadora, etc., de cada depósito, el cuadro vertical propuesto puede sufrir variaciones y es posible, inclusive, que ocurran traslapes. Este hecho dependerá de las características estructurales, locales, de cada yacimiento, las cuales habrían condicionado las presiones confinantes de las soluciones hidrotermales y, por lo tanto, la profundidad a la que ellas entraron en ebullición, precipitando su carga metálica.

Sillitoe (1977) sugirió, basándose en diferentes autores, que las profundidades varían entre 100 m, para el caso de vetas en la isla Great Barrier en Nueva Zelanda, y 1.200 m en el distrito de Silverton, U.S.A. Buchanan (1981) estimó profundidades de 550 m para su modelo epitermal. En Chile, en los campos geotérmicos de El Tatio y Puchuldiza, se han perforado pozos que muestran el desarrollo de actividad hidrotermal a profundidades entre 650 m y 1.200, respectivamente (Armbrust *et al.*, 1974). Por su parte, la profundidad conocida, en base a labores, de los yacimientos epitermales considerados en este estudio varía entre 50 m y 400 m medidos desde la superficie, dependiendo del nivel de erosión que hayan alcanzado. Como se puede apreciar, la información disponible es insuficiente para estimar la posible

extensión vertical de los sistemas epitermales existentes en el país. Además, las variaciones que se observan en los yacimientos de otros países hacen que cualquier cifra que se entregue sea debatible. En la figura 11 se ha usado una cifra tentativa de

600-650 m, muy parecida a la de Buchanan (1981), para la profundidad de los depósitos chilenos. Esta cifra se ha estimado considerando las profundidades medias de los cuatro diferentes subtipos (a-1 a a-4).

LOS YACIMIENTOS EPITERMALES DENTRO DE LA EVOLUCION GEOLOGICA Y METALOGENICA DEL PAIS

La evolución geológica y metalogénica del país ha sido estudiada por diversos autores Ruiz *et al.* (1965), Clark y Zentilli (1972), Aguirre *et al.* (1974), Sillitoe (1976), Frutos (1981) y Coira *et al.* (1982). De acuerdo con estos trabajos, el borde continental que ocupa Chile es el resultado de dos ciclos tectónicos, con los cuales se relacionan los eventos metalogénicos. Estos ciclos corresponden al Ciclo Hercínico de edad paleozoica, al cual se asocian yacimientos principalmente de hierro, cromo y níquel, y el Ciclo Andino de edad triásica superior-reciente, con el cual se relaciona la gran mayoría de los depósitos en el país, y al que nos referiremos en este capítulo, por estar directamente relacionado con los depósitos epitermales de oro estudiados. La evolución del Ciclo Andino ha producido una zonación metalogénica este-oeste manifestada por la existencia de varias franjas de mineralización (Sillitoe, 1976; Frutos, 1981). Estas franjas de oeste a este se componen de: yacimientos de hierro-apatita de contacto metasomático, y depósitos de cobre estratoligados. Hacia el este, se ubica una segunda franja con sistemas porfíricos de Cu-Mo y yacimientos polimetálicos de Ag-Pb-Zn. Finalmente, hacia la región altiplánica de Perú y Bolivia, ocurre una última franja con Sn-Bi-W.

Estas franjas son el reflejo de la evolución del orógeno andino desde una etapa temprana, caracterizada por el desarrollo de un arco magmático y su cuenca trasarco asociada, hasta etapas más evolucionadas, donde existe sólo un arco magmático. El magmatismo jurásico, en una primera etapa, tiene un carácter calcoalcalino, parcialmente toleí-

tico, variando luego a intermedio, para finalmente hacerse intermedio y ácido en sus etapas últimas (Frutos, 1981).

Dentro de este contexto, el oro se habría depositado, a lo largo de todo el ciclo, asociado a los distintos períodos orogénicos, a los que se relacionan los diferentes tipos de yacimientos. Durante la etapa temprana del período Jurásico-Cretácico Inferior el oro ocurre como depósitos vetiformes y asociado a zonas de cizalle. También dentro de este período, el oro se presenta asociado a cuerpos vetiformes de cobre (Tamaya, Carrizal Alto, Brillador, etc.). Todos estos yacimientos se forman dentro del dominio geotectónico de arco magmático, asociándose a intrusivos y rocas volcánicas de composición intermedia a moderadamente básica.

Durante el segundo período orogénico, en el Cretácico Superior-Terciario inferior, el oro se presenta, nuevamente, en cuerpos vetiformes y, también, asociado con sistemas porfíricos.

Finalmente, en el período Mioceno-Pleistoceno, el oro aparece asociado a vetas relacionadas con sistemas volcánicos y/o geotérmicos, los cuales se presentan acompañados de extensas zonas de alteración hidrotermal. Los sistemas porfíricos, desarrollados durante esta época (El Teniente, Andina), presentan contenidos de oro más escasos que durante el período anterior (Camus, 1975).

Se puede concluir, finalmente, que el oro contenido en los depósitos epitermales, asociados a sistemas volcánicos y subvolcánicos, ocurre en porcentajes importantes durante todo el Ciclo Andino.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a B. Ainsworth, C. Ruiz y F. Henríquez por su gentileza en revisar crítica-

mente el manuscrito y por sus valiosas sugerencias.

REFERENCIAS

- AGUIRRE, L.; CHARRIER, R.; DAVIDSON, J.; *et al.* 1974. Andean magmatism: its paleogeographic and structural setting in the central part (30°-35° S) of the southern Andes. *Pac. Geol.*, Vol. 8, p. 1-38.
- AMBRUS, J.; ARAYA, M. 1981. Notes on the geology of Minas del Prado, Chile. Particular (inédito), 21 p.
- ANONIMO, 1932. Informe sobre el distrito aurífero San Cristóbal. *Soc. Nac. Minería (Chile)*, Bol., Vol. 41, p. 450-457.
- ANONIMO, 1982. El Indio officially opened. *Mining Mag.*, Vol. 146, No. 3, p. 191-192.
- ARANEDA, R. (en prensa). El Indio, yacimiento de oro, plata y cobre; Coquimbo, Chile. *Minerales*.
- ARMBRUST, G. A.; ARIAS, J.; LAHSEN, A.; *et al.* 1976. Geochemistry of the hydrothermal alteration at the El Tatio geothermal field, Chile. *In* Int. Assoc. Volcanol. and Chem. Earth's Interior, Symp. Andean Antarctic Probl., Proc. (González-Ferrán, O.; ed.), p. 529-541. Santiago, Chile, 1974.
- BREWER, W. 1962. Exploration plan for the Guanaco mining district, Chile. Particular (inédito), 8 p.
- BOYLE, R. W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. *Can., Geol. Surv., Bull.*, No. 280, 584 p.
- BUCHANAN, L. J. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. *In* Relations of tectonics to oro deposits in the southern Cordillera (Dickinson W. R.; *et al.*; eds.), *Arizona Geol. Soc. Digest*, Vol. 14, p. 237-262.
- CAMPOSANO, J. 1974. Informe técnico No. 20-74, El Chivato. *Empr. Nac. Minería (Enami)* (inédito), 6 p. Santiago.
- CAMUS, F. 1975. Geology of the El Teniente orebody with emphasis on wall-rock alteration. *Econ. Geol.*, Vol. 70, No. 8, p. 1341-1372.
- CAMUS, F. 1981. El Tigre gold prospect, Yaquil District, VI Región. Particular (inédito), 8 p. Santiago.
- CAMUS, F.; DRUMOND, A. D. 1979. The Chivato gold prospect. Particular (inédito), 18 p.
- CAMUS, F.; DUHALDE, M. A. 1981a. Visita al prospecto Loma Blanca, VII Región. Particular (inédito), 3 p. Santiago.
- CAMUS, F.; DUHALDE, M. A. 1981b. Evaluación geológica del distrito minero Las Palmas, VII Región. Particular (inédito), 3 p. Santiago.
- CAMUS, F.; DUHALDE, M. A. 1981c. Evaluación geológica del distrito minero de Chancón, VI Región. Particular (inédito), 20 p. Santiago.
- CAMUS, F.; DUHALDE, M. A. 1981d. Evaluación geológica preliminar del distrito aurífero San Cristóbal, II Región. Particular (inédito), 4 p. Santiago.
- CAMUS, F.; DUHALDE, M. A. 1982. Proyecto oro sur; final report. Particular (inédito), 32 p. Santiago.
- CAMUS, F. 1982. Evaluación geológica económica de los yacimientos de oro El Bronce y Pedro de Valdivia, Distrito El Bronce de Petorca. Particular (inédito), 72 p. Santiago.
- CASADEVALL, T.; OHMOTO, H. 1977. Sunnyside mine Eureka mining district, San Juan County, Colorado; geochemistry of gold and base metal ore deposition in a volcanic environment. *Econ. Geol.*, Vol. 72, No. 7, p. 1285-1320.
- CLARK, A. H.; ZENTILLI, M. 1972. The evolution of a metallogenic province at a consuming plate margin: The Andes between latitudes 26° and 29° south. *Can. Mining Met. Bull.*, Vol. 65, No. 719, p. 37.
- CLIFTON, C. G.; BUCHANAN, L. J.; DURNING, W. P. 1980. Exploration procedure and controls of mineralization in the Oatman mining district, Oatman, Arizona. *AIME Ann. Meeting*, 17 p.
- COIRA, B.; DAVIDSON, J.; MPODOZIS, C.; *et al.* (en prensa). Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth-Sci. Rev.*
- DAVILA, A. 1965. Estudio geológico económico del yacimiento El Inglés. *Inst. Invest. Geol.* (inédito), 26 p. Santiago.
- DAVILA, A. 1966. Antecedentes mineros de la provincia de O'Higgins. *Inst. Invest. Geol.* (inédito), 26 p. Santiago.
- DRUMOND, A. D.; ESPINOSA, W. 1978. Trip to Rosario. Particular (inédito), 3 p. Santiago.
- EGARA, P. 1978. Proyecto El Guanaco, antecedentes de evaluación geológica. Distrito minero El Guanaco, II Región. *Empr. Nac. Minería (Enami)* (inédito), 38 p. Santiago.
- EIMON, P. 1981. Exploration for epithermal gold and silver deposits. *In* The epithermal model. Int. Symp. on Small Mines Economics and Exploration, No. 1, *World Mining*, Vol. 34, No. 8, p. 47-51.
- ENCINA, F. 1949. Historia de Chile. Tomos 1-20, 3a. edición, Edit. Nascimento. Santiago.
- EWERS, G. R.; KEAYS, R. R. 1977. Volatile and precious metal zoning in the Broadlands geothermal field, New Zealand. *Econ. Geol.*, Vol. 72, No. 7, p. 1337-1354.
- FLORES, H. 1942. Geología de los yacimientos de Cu y Au de Chile. *In* Congr. Panam. Ingeniería y Geol., No. 1, Actas, p. 1145-1185.
- FLORES, H. 1943. Informe sobre el mineral de Capote Aurífero de Feirina. Particular (inédito), 8 p. Santiago.
- FLORES, H. 1948. Informe geológico sobre los yacimientos de la Sociedad Aurífera de Alhué. *Depto. Minas y Petróleo (Chile)* (inédito), 8 p. Santiago.
- FLORES, H.; RUIZ, C. 1946. Estudio geológico del distrito de Inca de Oro, provincia de Atacama, Chile. *In* Congr. Panam. Ingeniería y Geol., No. 2, An., Vol. 2, p. 243-273.
- FRITZSCHE, F. H. 1930. Informe sobre el mineral de oro de Las Palmas, departamento de Talca. *Soc. Nac. Minería (Chile)*, Bol., Vol. 42, p. 618-621.
- FRUTOS, J. 1981. Atlas of Chilean mines and prospects. *Intermet Publ.*, 112 p. Santiago.

- GALAY, I. 1974.** Inventario geológico minero de la Hoja Ovalle. Inst. Invest. Geol. (inédito), 31 p. Santiago.
- GEIR, B. 1933.** El yacimiento de oro El Chivato en las cercanías de Talca. Soc. Nac. Minería (Chile), Bol., Vol. 45, p. 205-206.
- HORNKOHL, H. 1940.** Informe sobre el mineral aurífero de Loma Blanca. Cacremita (Chile) (inédito), 6 p. Santiago.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA.** Anuario estadístico de la República de Chile, años 1938, 1939, 1940.
- LEPELTIER, C. 1964.** Geochemical prospecting for mercury at Los Mantos de Punitaqui. Inst. Invest. Geol. (inédito), 83 p. Santiago.
- LLAUMETT, C. 1979.** Evaluación geológica del distrito minero El Guanaco, II Región, Chile. Empr. Nac. Minería (Enami), (inédito), 49 p. Santiago.
- LLAUMETT, C.; ZEBALLOS, J.; RAMOS, J. 1974.** Antecedentes geológicos y evaluación preliminar del yacimiento polimetálico El Indio. Empr. Nac. Minería (Enami) (inédito), 24 p. Santiago.
- LLAUMETT, C.; HENRIQUEZ, F. 1976.** Faja de mineralización de oro-plata-cobre-arsénico en la Cordillera Andina de las III y IV Regiones de Chile. In Congr. Geol. Chileno, No. 1, Actas, Vol. 2, p. E175-E191.
- LORAM, S. H. 1949.** Informe sobre el grupo minero Cinco Hermanas, provincia de Colchagua, Chile. Particular (inédito), 20 p.
- MORTIMER, C. 1973.** The Cenozoic history of the southern Atacama desert, Chile. Geol. Soc. Lond., J., Vol. 129, p. 105-126.
- MORTIMER, C.; SARIC, N. 1972.** Landform evolution in the coastal range of Tarapacá Province, Chile. Rev. Géomorphol. Dyn., Vol. 21, No. 4, p. 162-170.
- MPODOZIS, C.; CORNEJO, P. (en prep.).** Geología de la Hoja Río Hurtado Alto. Serv. Nac. Geol. Minería, Carta Geol. Chile.
- MUÑOZ CRISTI, J. 1936.** Observaciones petrográficas y mineralógicas en el distrito minero de Pichidegua. Depto. Minas y Petróleo (Chile), Bol., p. 556-582.
- MUÑOZ, M. I. 1975.** Recursos auríferos de la provincia de O'Higgins, VI Región. Inst. Invest. Geol. (inédito), 25 p. Santiago.
- NASI, C.; MOSCOSO, R.; MAKSAEV, V. (en prep.).** Geología de la Hoja Baños del Toro. Serv. Nac. Geol. Minería, Carta Geol. Chile.
- RIVERA, C. S. 1980.** Estudio geológico-económico del distrito argentífero de San Cristóbal. Memoria de Título, Univ. del Norte, 152 p. Antofagasta.
- RUIZ, C.; AGUIRRE, L.; CORVALAN, J.; et al. 1965.** Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Inst. Invest. Geol., Publ. Espec., 385 p.
- SALINAS, M. 1975.** Yacimientos auríferos de la provincia de Atacama. Inst. Invest. Geol. (inédito), 216 p. Santiago.
- SILLITOE, R. H. 1975.** Lead-silver, manganese, and native sulfur mineralization within a stratovolcano, El Queva, northern Argentina. Econ. Geol., Vol. 70, No. 7, p. 1190-1201.
- SILLITOE, R. H. 1976.** Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. Can. Geol. Soc., Spec. Pap., No. 14, p. 59-100.
- SILLITOE, R. H. 1977.** Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism; a review. In Volcanic Processes in ore genesis. Inst. Mining Metall., Spec. Publ., No. 7, p. 99-116. London.
- STIERLING, A. 1942.** Estudio Rinconada Grande de Rancagua, Mina El Inglés de la Cía. Minera El Inglés. Cacremita (inédito), 34 p. Santiago.
- SWAYNE, W. H. 1949.** Reconnaissance report on the Las Vacas gold property near Los Vilos, department of Illapel, province of Coquimbo, Chile. Arch. Cobresal, Inst. Invest. Geol. (inédito), 4 p. Santiago.
- VICUÑA MACKENNA, B. 1932.** La edad de oro en Chile. Tomo 1, 177 p. Santiago.
- VILLARROEL, P. 1972.** Informe geológico de la mina Rhodesia. Inst. Invest. Geol. (inédito), 12 p. Santiago.
- WATERMAN, G.; HUNT, J.; BERTRAM, J.; et al. 1958.** The Guanaco district, Chile. Particular (inédito), 13 p. Santiago.
- WEISSBERG, B.; BROWNE, P.; SEWARD T. 1979.** Ore metals in active geothermal systems. In Geochemistry of hydrothermal ore deposits (Barnes, H. L.; ed.), 2nd edition, John Wiley & Sons, p. 738-780. New York.
- WHITE, D. E. 1955.** Thermal springs and epithermal ore deposits. Econ. Geol., 50th Anniv., Vol. 1, p. 99-154.
- WHITE, D. E. 1967.** Mercury and base-metal deposits with associated thermal and mineral waters. In Geochemistry of hydrothermal ore deposits (Barnes, H. L.; ed.), 1st edition, Holt, Rinehart and Winston, p. 575-631. New York.
- WHITE, D. E. 1981.** Active geothermal systems and hydrothermal ore deposits. In 75th Anniv. Vol. (Skinner, B.J.; ed.), Econ. Geol. Publ. Co., p. 392-423.