

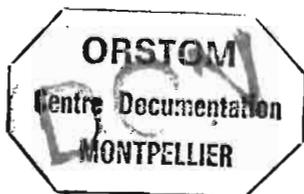
LOS YACIMIENTOS DE ORO DE BOLIVIA : CONTEXTO GEOLOGICO Y GENETICO

Gérard HERAIL *

Los principales distritos auríferos de Bolivia están ubicados (Ahlfeld 1937, Heuschmidt 1986, Morteani y Fuganti 1988) en la zona cordillerana del país (sobre todo en la Cordillera Oriental y parte del Altiplano), la llanura beniana y el escudo brasilero (fig. 1). La ubicación de estos yacimientos así como sus características metalogénicas son controladas por la evolución geológica regional. Sólo una parte de ellos (los yacimientos epitermales del Altiplano y los placeres) tienen origen en la historia andina propiamente dicha del país mientras que otros son anteriores.

Los yacimientos primarios de oro del escudo brasilero situados en Bolivia, como una gran parte de los yacimientos de oro hoy explotados en la Cordillera Oriental boliviana, surgen de una evolución geológica esencialmente pre andina; en cambio, son fenómenos geodinámicos recientes (Terciarios y Cuaternarios) los que han generado los yacimientos secundarios (placeres) asociados. En el escudo (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964, Litherland et al 1986) tres distritos (fig. 1) tienen fama de ser auríferos. En el distrito de Sunsas-Santiago el oro se halla dentro en un "paleo-placer" del Proterozoico superior pero aún es mal conocido (Litherland et al 1986). El oro se descubrió en los años 1850 en el distrito de San Ramón (Lombard 1892, Peiser 1944) donde se explotaron mayormente placeres en los valles del río Quiser y de la Quebrada La Honda y, recientemente, de la Quebrada Las Limas. El oro de estos placeres procede de la erosión de vetas de cuarzo emplazadas en la faja esquistosa de Ñuflo de Chavéz (Proterozoico medio). Se conoce también la presencia de oro en sulfuros contenidos en amfibiolitas y metavulcanitas; este es el oro que se habría concentrado en las vetas de cuarzo durante la fase de metamorfismo asociada al episodio orogénico Sunsas (1250-950 Ma) (Litherland et al. 1986). En la frontera con Brasil, en el distrito aurífero de la Serranía de San Simón, el oro fue explotado desde fines del siglo XVIII; la mineralización (oro y misquiquel) está emplazada en mantos y "saddle reefs" de cuarzo contenidos en las subgrawakas poco metamorfizadas de la formación Bonanza así como en vetillas de cuarzo post-tectónicas. La composición del oro es muy variable y aparentemente está controlada por el con-

 x ORSTOM
 Casilla 8714
 La Paz - Bolivia



F 96 139

texto geológico (Pitfield in Litherland et al. 1986). En el transcurso de la evolución geomorfológica terciaria y cuaternaria se concentró oro en lateritas pero, sobre todo, se formaron placeres en los ríos que drenaban la zona primaria mineralizada: Arroyo de Oro, Arroyo Colorado... Actualmente, en el escudo, las investigaciones se abocan a la búsqueda de greenstones belts con mineralizaciones auríferas.

En la Cordillera Oriental de Los Andes bolivianos, los yacimientos de oro son numerosos y explotados desde tiempos antiguos. Corresponden generalmente a vetas de cuarzo aurífero emplazadas en el Ordovícico muy poco o nada metamorfozadas. Sin embargo, existen unas cuantas minas situadas en terrenos más recientes del Paleozoico como la mina Progresiva, cerca de Sorata, ubicada en el Silúrico o la mina Marcamarcani emplazada en el Devónico metamorfozada que bordea el Illampu al suroeste. En las Cordilleras de Apolabamba y Real, las mineralizaciones auríferas corresponden generalmente a mantos o vetas de cuarzo gris-azulado situadas en las areniscas y esquistos del Ordovícico superior. La mineralización es de alta temperatura. Generalmente corresponde a oro libre en el cuarzo y la paragenesis está constituida, fuera del cuarzo, por clorita, albita, pirita, arsenopirita, calcopirita y pirrotita (Tistl 1985). Se ha subrayado la existencia, en asociación con estos yacimientos, de sulfuros en la serie sedimentaria así como de sillars de rocas volcánicas espilitizadas (Tistl 1985) lo que brinda argumentos para considerar que estos yacimientos son sinsedimentarios y están asociados a un volcanismo submarino de edad ordovícica. Las mineralizaciones auríferas de la Cordillera de Apolobamba, en el extremo sur del Perú, han sido explicadas por un contexto genético semejante (Fornari et al. 1984). El oro contenido en las vetas de cuarzo aurífero de la región de Yani contiene 4,5 a 6% de plata y, en proporciones inferiores al 0,05%, Cu, As, Fe, (Hérail et al. 1988a). Al margen de la zona ya conocida como aurífera, se descubrió una zona con mineralizaciones primarias constituida por oro libre en vetas emplazadas en los esquistos negros del Ordovícico medio (Hérail et al. 1988b). Además, en las investigaciones actualmente llevadas a cabo por ORSTOM, se ha establecido localmente la existencia de dos fases de mineralización aurífera; en Liriugi (Cordillera de Apolobamba) se explotan mantos de cuarzo aurífero emplazados en el Ordovícico, en los cuales se individualizó oro libre en cuarzo contenido en fracturas posteriores a la "fase manto" propiamente dicha. Por otra parte, los primeros datos radiocronológicos que estamos obteniendo sobre las vetas auríferas de la cordillera sugieren la existencia de una fase mineralizante bastante tardía. Es posible entonces que se deba reconsiderar, con más precisión, el problema de la génesis de las mineralizaciones primarias emplazadas en el Ordovícico del Norte de Bolivia.

En la parte central y meridional de la Cordillera Oriental están emplazados la mayor parte de los yacimientos de oro-antimonio (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964). Por lo general, la

mineralización se halla en "saddle reefs"; en el cuarzo se encuentra oro libre, estibina, pirita, arsenopirita, jamesonita, esfalerita, calcopirita, galena y sulfosales (Lehrberger 1988). Si bien el oro está presente como oro libre en el cuarzo lo está también en microinclusiones en la estibina, la pirita o la esfalerita. El oro es generalmente muy puro pero, el que está libre en el cuarzo o el contenido en la pirita o la esfalerita, contiene más plata (1,6 a 6,5%) que el que está en la estibina (0 a 1,5%) (Lehrberger 1988).

Existen ocurrencias de cuarzo aurífero donde el oro está acompañado de Sn, W, As y Sb cerca de las intrusiones granodioríticas terciarias, como la Cordillera de Quimsa Cruz o los alrededores del Illimani (Lambate). Los eventos más recientes (Cenozoicos) de la historia andina de la Cordillera son los que han dado lugar a dos tipos de yacimientos importantes: los yacimientos epitermales del Altiplano (desde la región de Oruro hasta el Sud Lipez) y los placeres (principalmente en el departamento de La Paz y el Norte del país). En Bolivia, los yacimientos (o zonas de prospección) epitermales de oro, son yacimientos polimetálicos en los que los metales de base son mayoritarios y donde el ratio Ag/Au es de 50 o a veces más; por lo tanto son razones económicas (la alta cotización del oro) y técnicas (la posibilidad de tratar grandes volúmenes de baja ley de los cuales se recupera oro por heap-leaching) las que recientemente han "transformado" algunos de ellos en yacimientos de oro. Los yacimientos de este tipo están situados en el Altiplano (fig. 1) y se formaron en el curso de la evolución del arco magmático andino, durante el Mioceno y el Cuaternario (Redwood 1987a). Estos yacimientos corresponden a intrusiones porfíricas o a centros volcánicos (domos extrusivos, calderas y estratovolcanes). Las mineralizaciones se hallan ya sea en vetas bien definidas y con tenores altos (a veces varias decenas de gramos por tonelada) ya sea, con tenores mucho más bajos (unos gramos por tonelada), en brechas y zonas de alteración hidrotermal. La estructura mineralizada expuesta depende también del nivel alcanzado por la erosión (Redwood 1987).

Los placeres provienen de la erosión (o alteración supergénica) de mineralizaciones primarias y de la reconcentración de oro en los depósitos correlativos. En Bolivia, los placeres eluviales tienen escasa importancia mientras que los placeres aluviales tienen gran importancia económica. Su génesis es consecutiva a la formación de los relieves andinos y al momento en el cual la erosión alcanza las zonas primarias mineralizadas. Es por esto que en Bolivia, los placeres de mayor importancia son de edad miocena y cuaternaria. En muchos casos, estos placeres pueden estar muy dispersos y tener una importancia reducida pero condiciones estructurales y geomorfológicas peculiares pueden favorecer el entrapamiento de volúmenes importantes de sedimentos auríferos. Es por todas estas razones que en Bolivia existen placeres de mayor importancia en la vertiente nororiental de la Cordillera de Apolobamba y Cordillera Real (Freydanck 1964,

Hérail et al 1986). Los últimos 15 millones de años de la historia geológica de esta zona se caracterizan por un acortamiento tectónico importante al cual se asocia la formación de importantes cabalgamientos en la zona subandina, lo que permite el proseguimiento del levantamiento de la Cordillera Oriental y su fuerte erosión así como la formación de relieves cada vez más jóvenes desde la Cordillera hacia la llanura. En las depresiones comprendidas entre estos relieves (Serranía de Carura, Serranía del Tigre-Caquiahuaca...) se entramparon los productos de la erosión de la Cordillera, acumulándose en estas cuencas intramontanas volúmenes importantes de sedimentos auríferos (Formación Cangallí, en la cuenca de Tipuani-Mapiri, Formación Tutumo, en el sinclinal del Tuichi). Estos sedimentos son progresivamente incluidos al orógeno y sometidos a la erosión fluvial; de este modo provienen de oro los aluviones de los ríos conjuntamente a las vetas ubicadas en el Paleozoico de la Cordillera y en las terrazas como en el lecho de los ríos, se pueden formar placeres aluviales, tanto en la zona cordillerana (Ríos Mapiri, Tipuani, Challana...) como en el subandino (Bopi, Tuichi, Madidi) como en zonas muy distales (Madre de Dios...). En los otros lugares de la vertiente oriental de la Cordillera, existen placeres fluviátiles pero que se localizan sólo en la parte cordillerana de los valles (zona de Ayopaya, del Camblaya...). Esto se debe a la disposición de las mineralizaciones primarias como también al tipo de evolución morfoestructural en el Terciario. En el Altiplano y en el pie de monte occidental de la Cordillera Oriental también existen algunos placeres pero que se formaron en un contexto diferente. A lo largo de los ríos, drenando zonas donde existen mineralizaciones primarias, se formaron placeres, por lo general de poca importancia eso por la poca amplitud de la erosión y por las características del oro liberado que en ciertos casos es muy diminuto. Placeres de cierto volumen se formaron en el transcurso de las últimas fases glaciares en el pie de monte de la Cordillera de Apolobamba (región de Ulla-Ulla). El oro se halla en los sedimentos morémicos y fluvioglaciares dejados por los glaciares que erosionaron mineralizaciones primarias en la Cordillera, según un modelo bien establecido en la Cordillera de Apolobamba sudperuana (Hérail et al 1988c). Más al Sur sólo existen placeres glaciares muy localizados al pie de la Cordillera Real en los valles del río Vilaque o del río Chuquiaguillo por ejemplo (Ahlfeld y Schneider-Scherbina 1964).

Los trabajos llevados a cabo en el marco del Convenio UMSA-ORSTOM, con la colaboración de otras entidades bolivianas, tiene el propósito de analizar la geología de zonas donde se conoce o se supone la existencia de indicios de yacimientos aluviales de oro con el fin de reconstituir su contexto genético. Actualmente, las investigaciones se centran, por una parte, en la vertiente nororiental de la Cordillera de Apolobamba y sus pie de montes y, por la otra, en la región del río San Juan de Oro y sus afluentes que proceden de los Lípez; se realizan trabajos de menor amplitud en la región de Caracollo. En estas zonas nuestro propósito es:

- facilitar datos que permitan a las entidades competentes escoger con más conocimiento las zonas donde se pueden emprender trabajos costosos de evaluación de yacimientos aluviales;

- realizar el estudio de las características de las mineralizaciones aluviales y el estudio morfoscóptico (morfología y composición) de las partículas de oro colectadas en aluviones para conocer mejor el origen del oro de los aluviones y, en ciertos casos, descubrir nuevas fuentes primarias.

- proporcionar modelos regionales que ayuden a la exploración de territorios a veces muy grandes.

REFERENCIAS

AHLFELD, F., 1937 - Typen bolivianischer Goldlagerstätten. Zbl. Miner. Geol. Palaont., Abt. A, p. 240-245.

AHLFELD, F. y SCHNEIDER-SCHERBINA, A., 1964 - Los yacimientos minerales e hidrocarburos de Bolivia - Bol. Esp. Dep. Noc. Geol. Bolivia, 5, 388 p.

ERICKSEN, G.E., 1988 - Volcanic epithermal gold-silver deposits of the Central Andes, in "Yacimientos epitermales en ambiente de volcanismo reciente". La Paz. Ined. 10p.

FORNARI, M. y BONNEMAISON, M., 1984 - Mantos et amas sulfoarsenié à or : la Rinconada, premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans la Cordillera Oriental du Pérou. Chron. Rech. Min., 474, p 33-40.

FREYDANCK, H.G., 1965 - The gold deposits at the foot of the Eastern Cordillera of Bolivia. Ined. 52 p.

HERAIL, G.; RUIZ, E.; ARGOLLO, J.; FORNARI, M.; LAUBACHER, G. y VICARRA, G., 1986 - El distrito de Tipuani. Geología e Historia, (Parte II). Khrysos, 1, 3, p. 7-14.

HERAIL, G.; FORNARI, M.; VISCARRA, G. y MIRANDA, V., 1988a - Evolución de las partículas de oro en el transcurso de la formación de un placer fluvial : el caso de los placeres de Tipuani (Andes, Bolivia). En prensa en VII Congreso Latinoamericano, Belén.

HERAIL, G.; FORNARI, M.; MIRANDA, V. y VISCARRA, G., 1988b - Découverte de nouvelles minéralisation primaires d'or dans la Cordillère Royale de Bolivie à partir de l'analyse morphoscopique de paillettes d'or prélevées en alluvion. C.R. Acad. Paris, Série II, T 307, p 63-69.

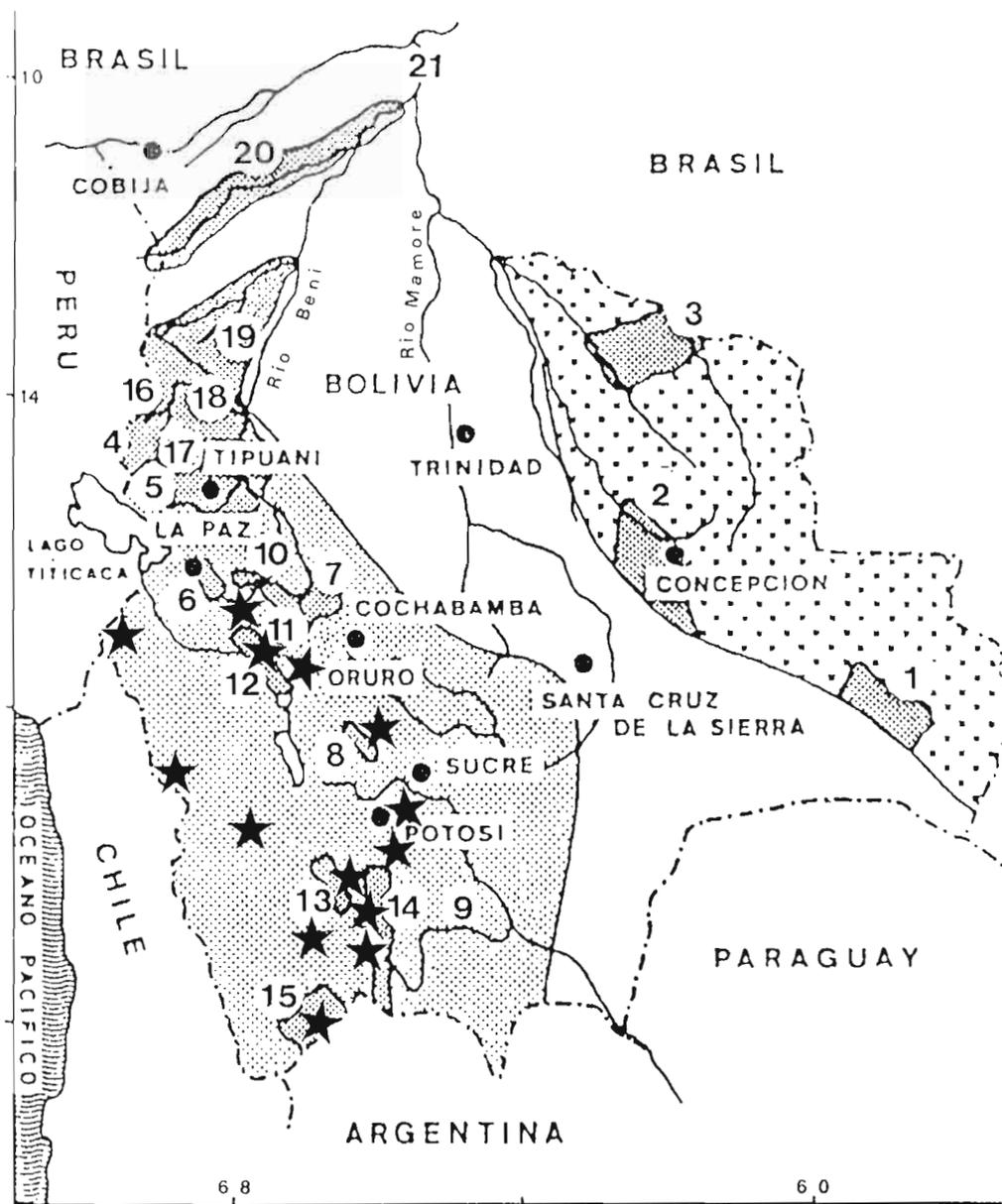


Fig. 1.- Los distritos auríferos de Bolivia y principales complejos volcánicos cenozoicos con oro y plata.

1: Sunsas-Santiago, 2: Ñuflo de Chávez, 3: San Simón, 4: Cordillera de Apolobamba, 5: Yani, 6: La Paz, 7: Cocapata, 8: Amayapampa, 9: Cotagaita-Camblaya, 10: Lambate, 11: Inquisivi-Ayopaya, 12: Laurani- La Joya, 13: Pulacayo, 14: Chichas, 15: Lípez, 16: Mojos, 17: Tipuani, 18: Tuichi, Alto Madidi, 19: Madidi y piedmonte beniano, 20: Madre de Dios, 21: Madera.

Las estrellas indican la localización de los complejos volcánicos Terciarios y Cuaternarios con mineralización de oro y plata.

(Fuentes: Ahlfield y Schneider-Scherbina 1964, Heuschmidt 1986, para los complejos volcánicos, Ericksen 1988).

HERAIL, G.; FORNARI, M.; ROUHIER, M. y LAUBACHER, G.; 1988b - Geomorphological determination of gold distribution and gold particle evolution in glacial and fluvioglacial placers of the Ancocala-Ananea basin (Southeastern Andes of Peru). *Geomorphology* 1,4, en prensa.

HEUSCHMIDT, B., 1986 - Provincia y distritos auríferos de Bolivia. *Khrysos*, 1,1, p 7-15.

LOMBARD, A., 1892 - Les gisements aurifères de Santa Rosa (Bolivie) Buenos Aires, 31p.

LEHRBERGER, G., 1988 - Gold-antimonite deposits in marine sediments of the eastern Cordillera of the bolivian Andes. *Bicentennial Gold 88*, Melbourne, p 319-321.

LITHERLAND, M.; ANNELS, R.N., APPLETON, J.D.; BERRANGE, J.P.; BLOOMFIELD, K.; BURTON, C.C-J.; DARBYSHIRE, D.P.F.; FLETCHER, C.J.N.; HAWKINS, M.P.; KLINCK, B.A.; LLANOS, A.; MITCHELL, W.I.; O'CONNOR, E.A.; PITFIELD, P.E.J.; POWER, G. y WEBB, B.C., 1986 - The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian shield. *British Geol. Surv., Overseas Memoir* 9, 153 p.

MORTEANI, G. y FUGANTI, A., 1988 - The gold deposits of Bolivia, a genetic classification and economic considerations. *Bicentennial Gold 88*, Melbourne, p 403-405.

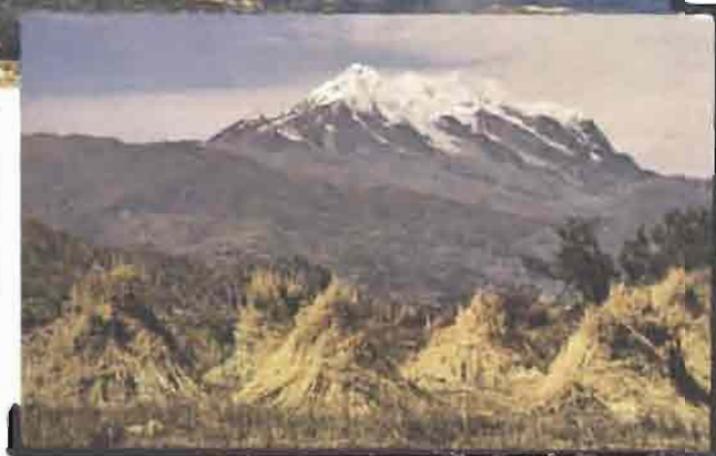
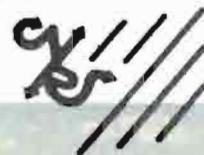
PEISER, F., 1944 - Los yacimientos auríferos de la Provincia Ñuflo Chávez. *Min. Bol.* 1,12.

REDWOOD, S.D., 1987a - Metallogenic belts of the central Andes. *Pacific Rim Congress 1987*, p. 899-907.

REDWOOD, S.D., 1987b - The Soledad caldera, Bolivia : a Miocene caldera with associated epithermal Au - Ag - Cu - Pb - Zn mineralization. *Geol. Soc. Am. Bull.* 99, p 395-404.

TISTL, M., 1985 - Die Goldlagerstätten der nordlichen Cordillera Real (Bolivien) und ihr geologischer Rahmen. *Berliner Geow. Abh.*, A, 65, 102 p.

ACTAS DEL SEGUNDO SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA



LA PAZ 19-22 de Abril 1988