

ANALISIS DE ORO POR MICROSONDA (E.P.M.A.) EN DEPOSITOS PRIMARIOS DE ORO DE LA PROVINCIA METALOGENETICA ANDINA DE BOLIVIA Y SU SIGNIFICADO GENETICO

HUGO ALARCON B.* & MICHEL FORNARI**

* Instituto de Investigaciones Geológicas, UMSA, CP 12198, La Paz, Bolivia.

**ORSTOM, UR 9214, La Paz, Bolivia.

INTRODUCCION

Está bien establecido la importancia de conocer los elementos trazas en compuestos mineralógicos en el desarrollo de investigaciones en Geología Económica, y muchos de estos son también referidos a las composiciones de oro, particularmente con relación a los porcentajes entre los contenidos de oro y plata así como sus elementos trazas. Trabajos en este campo y posiblemente pioneros han sido realizados por Boyle (1979) con la finalidad de aplicar la composición química del oro en exploración de depósitos de oro así como en el origen genético de los mismos.

Los elementos Au, Ag y Cu, según Moisiej (1988), tienen propiedades químicas similares y pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica, son por lo general monovalentes, con carga positiva 1 y cristalográficamente son similares como elementos nativos. El oro y la plata tienen un radio atómico de 1,44 Å y el Cu 1,28 Å y debido a esta diferencia las muestras de oro contienen menos Cu que plata. El oro y la plata son miscibles y forman una solución sólida continua que sin embargo en la naturaleza aparecen como una serie discontinua y no existe una aleación natural de oro y plata en la naturaleza cuya fineza sea menor a 400. Por otro lado, una asociación entre oro y plata dependiendo de su naturaleza y condiciones físico-químicas de las soluciones particularmente hidrotermales pueden además presentar un número grande de otros elementos entre los cuales se incluyen el Cu, Zn, Pb, As, Sb, Cd, Bi, In, Hg, Te, Ni, Co, Sn, Mo, Ge, Pt, Pd, V, Cr., W, Mn, Fe, Mg, Ca, Ti, y S.

Los métodos analíticos usados corresponden a análisis espectrográficos por emisión, con resultados que han contribuido en el conocimiento de aspectos genéticos de los depósitos del oro en diferentes trabajos. En los últimos años el uso del microscopio electrónico de barrido ha tenido mayor aplicación sin embargo, los problemas de interferencia de varios elementos aun no ha sido resuelto definitivamente, así como la baja sensibilidad y límite de detección.

El presente trabajo se base en una serie de análisis realizados, partir de muestras tomadas en los diferentes depósitos en Bolivia así como datos tomados de diversos estudios y sólo intentan mostrar en

forma preliminar las relaciones de las proporciones entre oro y plata en los tipos de depósitos de origen hidrotermal en la Provincia Metalogenética Andina de Bolivia, de cuyos resultados se podría establecer tres ambientes diferentes y que se hallan además respaldados por estudios geológicos, mineralógicos y micro termométricos en varios de estos depósitos.

METODOLOGIA

Los estudios de análisis de oro fueron realizados a partir de muestras tomadas in situ en los diferentes depósitos de la Provincia Metalogenética Andina de Bolivia, las muestras con contenidos de oro en forma visible han sido preparadas en secciones pulidas generalmente insertas en briquetas de resina y con las parámetros establecidos por la microsonda de la Ecole des Mines de París. Los análisis en la microsonda han ido de forma puntual estableciendo particularmente los porcentajes de oro, plata, y los elementos importantes que pueden ser considerados como trazas.

A partir de estos resultados se puede establecer la fineza del oro basándose en la relación $F = Au / (Au + Ag) \cdot 1000$ que permite mostrar las relaciones de las posibles condiciones geológicas que han formado los diferentes depósitos desde un punto de vista genético.

TIPOS DE DEPOSITOS

Basados en los resultados obtenidos a partir de las muestras de oro analizadas se pueden establecer básicamente 3 tipos de ambientes geológicos en el cinturón de la Provincia Metalogenética Andina de Bolivia y que son descritos a continuación:

DEPOSITOS DE TIPO A.- AMBIENTE GEOLOGICO EXALATIVO, HIDROTHERMAL O DE REMOVILIZACION METAMORFICA

Los depósitos primarios de oro correspondientes a este ambiente se hallan ubicados en la zona norte de la Cordillera Real Andina, estos depósitos han sido conocidos y explotados desde el Incario y con mayor intensidad durante la Colonia y además han dado lugar a la formación de ricos depósitos secundarios particularmente en la región de Tipuani.



Fonds Documentaire IRD
Cote : B-x 21839 Ex : 1

Entre las regiones mejor conocidas se pueden citar la Cordillera de Apolobamba, cerca de la frontera con el la República del Peru (área de Suches, Cerro Palomani) las cabeceras de los ríos Pelechuco y Amalanta (Turcos, Lavanderani, Luiruni, Sunchuli y Huarachani) también el área de Yani con numerosas minas (Aucapaca, Santa Bárbara, Lacayani, Silusani, La Suerte, San Jorge, Lipichi, etc.). En la parte sur de la Cordillera Real y alrededor del macizo del Mururata y del Illimani también son conocidos trabajos en depósitos primarios de oro (Olla de Oro, Aucapata, Rosario de Araca y otros).

Depósitos similares parecen también ocurrir en la parte central y sur de la Provincia Metalogenética Andina (Mina Candelaria), y otros depósitos en el norte de la República de la Argentina (Mina Arias).

La característica importante desde el punto de vista de su ambiente geológico es que estos depósitos se hallan emplazados en sedimentos silíceo-clásticos pertenecientes a rocas sedimentarias del paquete Paleozoico que puede tener varios miles de metros de espesor y que corresponden básicamente al Sistema Ordovícico y Silúrico; en el Devónico depósitos de oro de este tipo son desconocidos.

Basados en estudios realizados, los sedimentos son de origen marino con manifestaciones ígneo-volcánicas durante esta deposición y que han sido identificados como rocas de tipo espilitas. Los sedimentos presentan un grado metamórfico bajo excepto en áreas cercanas a cuerpos ígneos graníticos; por otro lado los paquetes de rocas sedimentarias que presentan o incluyen depósitos de oro corresponden a zonas limitadas en su espesor longitud y las mismas presentan cuarzo y sulfuros en forma concordante con la estratificación original de las rocas sedimentarias aunque esta situación no es común en todos los depósitos. Investigaciones realizadas por Tislt, Riera, Fornari, mencionan que las lutitas son ricas en materia orgánica y la presencia de nódulos de pirita, así como arsenopirita con bandeamiento indicarían un ambiente de carácter exalativo particularmente aquellos identificados en La Rinconada al Sur de La República del Perú.

La mineralización que se presenta en forma de mantos y vetas que como se mencionó anteriormente tienen la característica de presentarse paralela con la estratificación de ciertos niveles de las rocas del Ordovícico superior y Silurico inferior; la potencia de las vetas esta limitada a algunos cm. hasta un metro de potencia y muchos depósitos pueden corresponder a formas de saddle reefs o sea concordantes con las chamelas de anticlinales. Las alteraciones en la roca caja de las estructuras mineralizadas no son significativas y se han identificado escasas silicificaciones, cloritización y piritización.

El oro se halla asociado principalmente con el cuarzo y en menor proporción con pirita, arsenopirita.

Las partículas de oro tienen dimensiones de varios micrones hasta algunos milímetros y las asociaciones son del tipo binario simple particularmente relleno microfracturas en el cuarzo, por otro lado existe oro en la estructura atómica de los sulfuros detectado por análisis mediante activación neutrónica.

COMPOSICION DEL ORO

Los análisis de partículas de oro a partir de muestras de los depósitos primarios de la zona de la Cordillera Real han sido analizados con el propósito de determinar su fineza así como la presencia de sus elementos trazas. Los análisis han sido realizados por Fornari, utilizando una microsonda CAMEBAX con 4 espectrómetros, una tensión de 20 KV, una corriente de 15 nano Amperios y un tiempo de conteo de 40 segundos por elemento y un programa de corrección ZAF. Los resultados obtenidos a partir de muestras de oro de los Depósitos La Suerte, Yani Ltda, Ananea, Silusani, Lacayani, Santa Bárbara, Aucapata, Pelechuco, y otros son indicados en el Cuadro y Figura No. 1

Cuadro No. 1 Porcentajes de oro - plata y fineza en muestras de oro de del ambiente geológico Tipo A

DEPOSITO	%Au	%Ag	fineza	trazas
La Suerte	97.81	1.0	989	Cu, As
Yani	96.67	1.50	984	Cu,As,Fe
Yani	94.55	5.86	941	Cu, As
Yani	97.72	2.24	977	Cu, As
Ananea	95.05	4.88	951	Cu, As
Silusani	95.62	4.32	956	Cu, As
Lacayani	95.98	3.97	960	Cu, As
Santa Bárbara	94.86	5.09	949	Cu, As
Aucapata	94.90	5.05	949	Cu, As
Pelechuco	96.31	3.09	969	Cu, As
Pelechuco	95.81	3.16	968	Cu, As

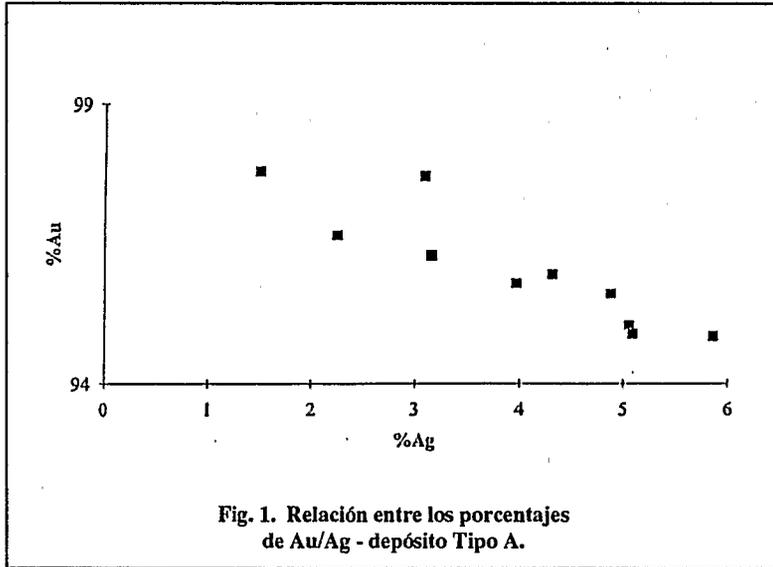


Fig. 1. Relación entre los porcentajes de Au/Ag - depósito Tipo A.

El oro se caracteriza por su alta fineza con un contenido de plata generalmente inferior al 5 % excepto para el oro de la Mina San Jorge donde la plata alcanza entre 15 a 22 % (Tislt, 1985). También hacia el Sur del cinturón metalogenetico de Bolivia y en depósitos asociados con rocas sedimentarias ordovícicas los valores de plata

son relativamente altos pero menores a 10 % y solo en pocos granos se han encontrado valores entre 17 y 25 % de plata.

Entre los elementos trazas detectados, el cobre parece ser el elemento mas común mientras que el hierro y el arsénico se muestran en proporciones menores además de bismuto que es otro elemento afín a este tipo de depósitos aunque existe la posibilidad de que el oro pueda presentar micro inclusiones finas de bismuto con dimensiones menores al spot de la microsonda.

Por otro lado existe la presencia de mercurio que podría sugerir el origen volcánico-exalativo de estos depósitos.

Es importante subrayar que los elementos Pb, Sb, no fueron detectados a nivel de la sensibilidad del equipo.

MICROTERMOMETRIA

Trabajos de investigación en inclusiones fluidas realizadas por Tislt y Riera indican rangos de temperatura de homogenización entre 230 a 370°C, que podrían ser consideradas relativamente altas para un ambiente volcánico-exalativo, sin embargo es importante mencionar que los tipos de inclusiones fluidas son sumamente complejas, caracterizándose por la presencia abundante de CO₂ y fases acuosas saturadas en ClNa. Los contenidos de CO₂ en sus fases líquidas y gaseosas en inclusiones fluidas son relativamente raras o ausentes en depósitos hidrotermales de Sn, W y depósitos polimetálicos de Sn, Ag, Au de la Cordillera Oriental, lo cual podría indicar un ambiente completamente diferente en su génesis.

Por otro lado es importante resaltar que los depósitos de oro del tipo A no presentan asociaciones directas con los cuerpos ígneos batolíticos de la Cordillera sin embargo las removilizaciones de las mineralizaciones que implican la actividad térmica podrían sí estar ligados a las intrusiones graníticas del Jurásico en la zona Norte de la Cordillera Real y las intrusiones granodioríticas de edad Miocena en su parte sur (Illimani) y Cordillera de Tres Cruces.

El origen genético de los depósitos de oro del Tipo A aun no a sido establecida en forma definitiva, por un lado existe la hipótesis propuesta por Tislt (1985) y Schneider (1990) que consideran la removilización de metales a partir de las lutitas por influencia térmica y consecuente metamorfismo debido a la deshidratación y expulsión de las soluciones y concentración de las mismas en ciertos niveles de las rocas sedimentarias en función a las estructuras formadas durante la orogénesis andina (fallas, shear zones, saddle reefs, etc..)

Otra hipótesis a sido propuesta por Fornari y Bonnemaion (1984) y Fornari y Herail (1991) en base a trabajos realizados en la zona de la Rinconada en el Sur del Perú, que implica una deposición singenética de los materiales silíceos y sulfuros con las capas de sedimentos y una posterior removilización basada en procesos tectónicos de la orogénia Eohercínica.

La fineza del oro a partir de muestras analizadas del depósito de Pelechuco en un número de 41 analisis dá un valor entre 969 y 968 lo cual y de acuerdo a la clasificación de los depósitos según Morrison (1985) podría indicar un tipo de Slate belt y en función a la

clasificación realizada por Antweiler y Campbell (1982) la fineza del oro obtenida podría indicar un depósito de tipo hipotermal si este fuese de origen hidrotermal.

DEPOSITOS DE ORO DEL TIPO B: AMBIENTE HIDROTHERMAL MESO-HIPOTERMAL

Marco geológico y características de la mineralización

Los depósitos de oro de tipo B son aquellos que se hallan clasificados como Polimetálicos en la Provincia Metalogenética Andina de Bolivia, estos depósitos tienen características propias tanto en su ambiente geológico como en su compleja mineralogía y están considerados como de origen hidrotermal.

Los depósitos de tipo "telescoping" de un modo general están asociados a intrusiones dacíticas-riolíticas emplazados en rocas sedimentarias del Ordovícico y Silúrico, y la distribución de los cuerpos ígneos miocenos abarca desde la parte central del cinturón estañífero de Bolivia hasta el límite fronterizo con la Argentina.

Las ocurrencias de oro como depósitos propiamente dichos están restringidas a pocos yacimientos y los valores bajos del oro así como la importancia de otros metales particularmente el estaño y la plata que son más abundante en las estructuras mineralizadas han dejado el oro como un subproducto en algunos casos y en otros definitivamente no han sido considerados.

Los depósitos polimetálicos se caracterizan fundamentalmente por su compleja mineralogía, particularmente las sulfosales de estaño, plata y antimonio. El cuadro No. 2 muestra una serie de minerales que son relativamente comunes en estos depósitos y que los diferencian de cualquier otro tipo.

El oro así como minerales de oro en estos depósitos son relativamente escasos excepto en el yacimiento del Cerro Korikollo (Distrito Aurífero de la Joya) ubicado al NW de la ciudad de Oruro donde un complejo sistema de vetas y brechas hidrotermales de tipo stockwork con sulfuros y sulfosales tienen una concentración promedio de algo más de 2 g/t y cuyas reservas han permitido desarrollar una explotación a cielo abierto en condiciones económicas.

El yacimiento de Tasna, en la zona sur del cinturón estañífero, de origen hidrotermal-hipotermal conocido por su riqueza en la concentración natural de bismutinita, casiterita, wolframita y otros minerales ha dado oro como subproducto del bismuto en la fundición de Telamayu, sin embargo estudios mineralógicos recientes en muestras de este depósito han podido establecer la presencia de oro asociado a la bismutinita así como en la arsenopirita y pirita, siendo los valores del oro más altos en los sulfuros que en la propia bismutinita. La importancia de estas leyes recae básicamente en las colas de sulfuros obtenidas como descarte en los ingenios y que actualmente tienen su importancia económica.

Estudios muy preliminares en los sulfuros comunes del yacimiento del Cerro Rico de Potosí en zona alteradas de la roca ígnea con diseminaciones de pirita y arsenopirita indican valores para oro entre

CUADRO 2

Minerales de Mena y su abundancia en depósitos polimetálicos

Metal	Composición Química	Potosí	La Joya	Chorólque	Tasna
Pirita	FeS ₂	●	●	●	●
Marcasita	FeS ₂	•	•	•	•
Arsenopirita	AsFeS	●	•	•	•
Calcopirita	CuFeS ₂	•	•	•	•
Galena	PbS	•	•	•	•
Esfalerita	ZnS	●	•	•	●
Wurtzita	ZnS	•			
Estannina	Cu ₂ FeSnS ₄	•	•	•	•
Tetraedrita	(Cu, Ag, Fe, Zn) ₁₇ (Sb, As) ₄ S ₁₁	●	•		•
Bismutinita	Bi ₂ S ₃				•
Estibina	Sb ₂ S ₃	•	•		
Bismuto Nat.	Bi				●
Hessita	Ag ₂ Te			•	
Tetradimita	Bi ₂ Te ₂ S			•	
Electrum	(Au, Ag)		•	•	•
Franckeita	FePb ₆ SbSn	•		•	•
Cosalita	CuPb ₇ Bi ₄ S ₂₀			•	•
Aikinita	CuPbBiS ₃				•
Cosalita	CuPb ₇ Bi ₄ S ₂₀				•
Gustavita	Ag ₃ Pb ₄ Bi ₁₁ S ₂₃				•
Pirargirita	Ag ₈ SbS ₃	•			
Miagirita	Ag ₈ SbS ₂	•			
Polibasita	(Ag, Cu) ₁₆ Sb ₂ S ₁₁	•			
Andorita	AgPbSb ₂ S ₆	•			
Bournonita	CuPbSbS ₃	•			
Jamesonita	FePb ₄ Sb ₆ S ₂₄	●			●
Zinckenita	Pb ₂ Sb ₄ S ₂₁	•	•		
Boulangerita	Pb ₂ Sb ₄ S ₁₁	•	•		
Wolframita	(Fe, Mn)WO ₄		•		●
Cassiterita	SnO ₂	•		●	•
Turmalina	NaFe ₃ Al ₃ B ₃ Si ₆ O ₂₇ (F, OH) ₄	•	•	•	•
Cuarzo	SiO ₂	•	•	•	•
Alunita	(K, Na)Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	•	•	•	•
Sericita	KAlSi ₃ O ₈ (OH) ₄	•	•	•	•
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₄	•	•	•	•
Jarosita	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	•	•	•	•
Siderita	FeCO ₃	•	•	•	•
Baritina	BaSO ₄	•	•	•	•

0,33, 0,60 y 1,33 g/t y finalmente la presencia de oro del tipo electrum en el depósito de Chorolque permite considerar que estos depósitos pueden en un futuro ser considerados importantes basados en la presencia de oro a partir de zonas ricas en sulfuros comunes.

COMPOSICION DEL ORO EN DEPOSITOS DEL TIPO B

Dadas las pocas ocurrencias de depósitos de oro explotables en la actualidad, los datos de análisis de oro a partir de éstos son mas escasos. Los datos que se han podido obtener en muestras del Distrito de la Joya (Cerros Korikollo, LLallagua, La Joya) y datos obtenidos por bibliografía de los yacimientos de Tasna y Chorolque son indicados en el cuadro y figura No. 3

Cuadro No.3.- Porcentajes de oro-plata y fineza en muestras de oro de los depósitos de Tipo B.

DEPOSITO	%Au	%Ag	FINEZA	TRAZAS
Korikollo	98.49	0.86	991	Cu,Bi,Sb,As
Korikollo	97.19	2.31	976	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	71.4	28.5	715	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	72.4	27.7	723	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	73.2	26.3	735	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	72.1	26.2	733	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	73.0	27.3	728	Cu,Sb,As
Co.Llallagua	70.3	29.4	705	Cu,Sb,As
Tasna	77.0	23.0	770	n.d.
Tasna	80.0	20.0	800	n.d.
Chorolque	77.0	23	730	Ti,Sn,As

De este cuadro se puede concluir que los valores de plata en estos depósitos son altos con promedios que varían entre 21 a 27 % y la fineza del oro entre 733 a 785‰.

En muestras de oro del Cerro Korikollo (zona de oxidos) se han realizado análisis que indican valores altos de oro y que podrían ser atribuidos a la lixiviación de la plata durante los procesos de alteración de los sulfuros, la fineza en el oro de esta zona es de 984‰.

MICROTHERMOMETRIA

Existen numerosos datos de análisis microtermométricos a partir de inclusiones fluidas en los depósitos polimetálicos del cinturón estañífero de Bolivia, en el presente trabajo se indican aquellos relacionados con los depósitos en los cuales se cuentan con datos de análisis de oro o sea el Distrito aurífero de La Joya, Tasna, y Chorolque, que son ilustrados en el cuadro No.4

Cuadro No. 4.- Temperaturas de homogenización a partir de inclusiones fluidas en muestras de depósitos del Tipo B con asociaciones auríferas.

DEPOSITO	TEMP. DE HOMOGENIZACION	SALINIDAD
Korikollo (Oxidos)	265-363	<10%.
Korikollo(sulfuros)	316-443	<10%
La Joya	280-465	>35%
LLallagua	244-360	>30%
La Barca	228-363	>30%
Tasna(Sec. Rosario)	281-328	24.6-31.2
Tasna(Esperanza)	354-389	33.2-40.1
Tasna(Pagadera)	330-395	30.5-41.4
Tasna(Matilde)	250-499	32.7-50.4
Tasna(Farellon Nuevo)	302-491	29.4-42.3
Tasna(Farellon Viejo)	271-422	12.4-20.2
Tasna(Mariana)	226-437	31.5-34.9
Tasna(Belen)	213-381	9.9-19.3
Tasna	239-377	s.d.
Tasna(Veneros)	202-328	7.4-8.6
Chorolque	276-509	32.5-53.2
Chorolque	268-493	33.2-48.2
Co. Rico Potosí (Veta Don Mauricio)	243-282	4.7-11.7
Co.Rico de Potosí (Bolivar 2)	286-315	13.0-13.5
Co.Rico de Potosí (Utne)	232-371	4.4-19.7

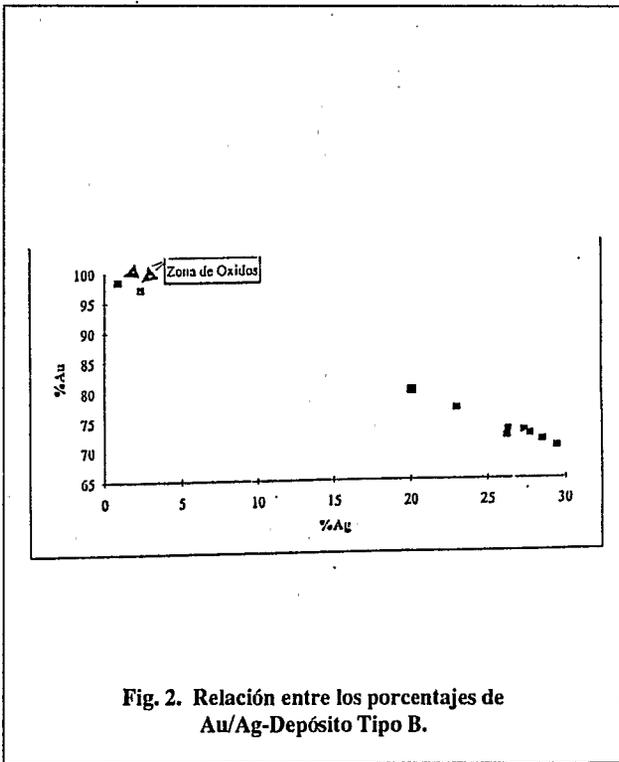


Fig. 2. Relación entre los porcentajes de Au/Ag-Depósito Tipo B.

Las inclusiones fluidas de un modo general presentan los tipos binarios compuestos por H₂O en sus fases líquido y vapor y generalmente con contenidos de ClNa relativamente altos (Tasna y Chorolque). En los depósitos del Cerro Rico de Potosí y particularmente en el Cerro Korikollo los valores de salinidad son mas bajos, sin embargo en el distrito aurífero de La Joya y particularmente en el Cerro La Joya, los valores de salinidad son altos (> 35 %).

Las temperaturas de homogenización indican temperaturas en la formación de estos depósitos del tipo meso a hipotermal; no se ha encontrado CO₂ lo cual implica un posible origen netamente hidrotermal de la fuente de las soluciones hidrotermales asociadas

con la mineralización que está ligada a la actividad ígnea de intrusiones subvolcánicas que han dado lugar a rocas dacíticas de edad Miocena con fuertes alteraciones hidrotermales (silicificaciones, sericitización, caolinización, piritización) que diferencian estos depósitos con los del tipo A.

**DEPOSITOS DE ORO DE TIPO C AMBIENTE
HIDROTHERMAL EPITERMAL**

Marco geológico y características generales de la mineralización.

Los depósitos del tipo C incluyen aquellos que se encuentran relacionados con la presencia de antimonio-oro y cuya distribución geográfica en el cinturón de la Provincia Metalogenética Andina abarca desde la frontera con la República del Perú hasta la frontera con la República de la Argentina en el Sur. La distribución de los depósitos de antimonio y antimonio-oro se ilustra en la Figura No.4.

Los depósitos de antimonio-oro ocurren en estructuras sedimentarias de tipo anticlinal en rocas del Ordovícico y Silúrico, formando concentraciones de estibina y cuarzo en estructuras de tipo saddle reef, y relleno de fisuras en fallas y fracturas que se han formado durante el plegamiento de las rocas sedimentarias. De acuerdo a estadísticas existen aproximadamente mas de 500 ocurrencias de este tipo de depósitos y la concentración natural del antimonio en la Provincia Metalogenética Andina es una excepción en America del Sur.

La mineralogía de estos depósitos es relativamente simple con la predominancia de estibina y cuarzo como minerales principales y cantidades subordinadas de sulfuros comunes y sulfosales entre los que se puede mencionar la presencia de berthierita, jamesonita, wolframita, calcopirita, boulangerita, galena, jordanita, falcomanita, calcoestibita y bournonita.

El oro se presenta en partículas generalmente pequeñas de varios micrones y excepcionalmente varios mm, asociado a la estibina, cuarzo y sulfuros como piritita, arsenopiritita y raramente con esfalerita; las asociaciones del oro varían de depósito a depósito ocurriendo desde asociaciones simples a complejas que involucran la difícil recuperación del metal por métodos de concentración convencionales.

COMPOSICION DEL ORO

Los análisis de oro por microsonda a partir de muestras de este tipo de Depósitos se han realizado en muestras de las minas Santa Rosa de Capasirca, Cebadillas, Sucre, San Bernardino, Antofagasta, Los Machos, La japonesa, Amayapampa, cuyos resultados obtenidos se indican en el cuadro 5 y figura No 3.

Cuadro No. 5.- Porcentajes de oro-plata y finesa de los Depósitos de Tipo C.

DEPOSITO	Au	%Ag	Finesa	Trazas
Capasirca	98.07	0.87	991	Sb
Cebadillas	98.5	0.00	985	Sb, Cu, Bi
Sucre 94.64	4.44	955	Sb	
San Bernardino	99.73	0.24	997	Sb,As,Hg(*)
Los Machos	100.61	0.26	997	Sb
La Japonesa	99.55	0.10	998	Sb
Amayapampa	99.12	0.89	991	Sb
Antofagasta	98.05	1.05	997	Sb, As

* = promedio de 11 analisis

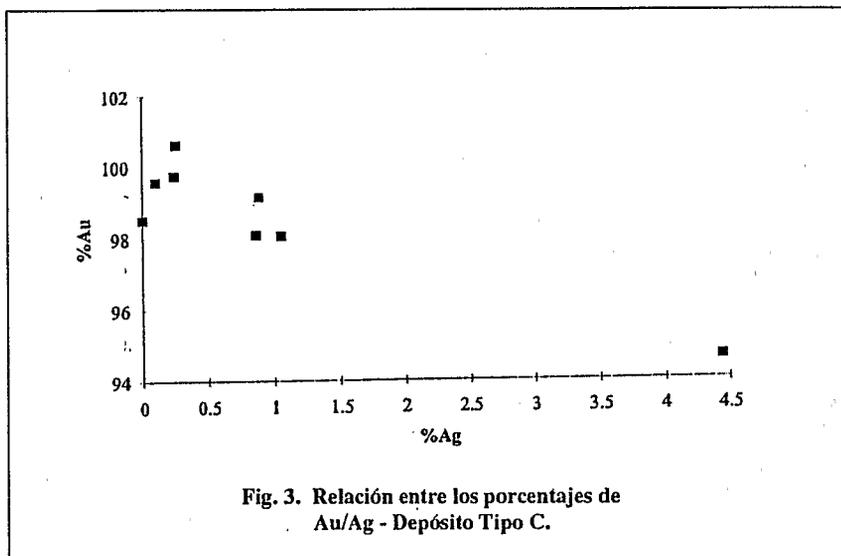


Fig. 3. Relación entre los porcentajes de Au/Ag - Depósito Tipo C.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el oro en los depósitos del tipo C tiene una finesa muy alta cuyos valores varían entre 995 a 999%, o sea los contenidos de plata en el oro son bajos. Por otro lado los elementos trazas encontrados en partículas de oro de este ambiente geológico corresponden básicamente a Sb, As, y en algunos casos particulares a Zn.

Trabajos realizados por Lehrberger (1992) en depósitos de antimonio de las minas Antofagasta, Sucre y Candelaria, establecen como elemento traza también el Bi, elemento que no fue encontrado en nuestros análisis (realizados por Fornari). Por otro lado se establece una diferencia entre el oro asociado con cuarzo y el oro asociado con antimonita, siendo en el primer caso la finesa menor y en el segundo mayor como se ilustra en el cuadro No. 5 En ambos casos las diferencias son relativamente pequeñas y no implican mayores diferencias con relación a la alta finesa del oro en este tipo de depósitos.

MICROTHERMOMETRIA

Estudios microtermométricos realizados en muestras de cuarzo a partir de inclusiones fluidas reflejan de un modo general temperaturas relativamente bajas en un rango general entre 150 a

250°C y en algunos casos pueden obtenerse temperaturas algo mayores, particularmente aquellas que podrian contener CO₂ y que son relativamente muy raras. Las inclusiones fluidas son de un modo general del tipo binario, constituidas por las fases acuosa y vapor de H₂O con salinidades generalmente bajas y menores a 10 %, por otro lado las inclusiones fluidas en el cuarzo son pequeñas (15 a 30 micrones) y de difícil ubicación debido básicamente al fuerte tectonismo de las estructuras mineralizadas.

OTROS AMBIENTES GEOLOGICOS EN BOLIVIA

Basados en las ocurrencias mineralógicas en otras áreas del territorio boliviano es posible establecer otros ambientes geológicos entre los cuales debemos referirnos particularmente a los ambientes epitermales que se encuentra en la Cordillera Occidental (Berenguela, Nor Lipez y Sur Lipez) de los cuales hasta el momento no ha sido posible obtener muestras con oro físico para ser sometidas a análisis por microsonda. El oro que ocurre en la zona de Guadalupe, Vilader y el Cerro Panizos en Sud Lipez ha sido analizada por Pozzo(1991) y Ramos (1992) respectivamente y los resultados obtenidos indican una alta fineza del oro que varia entre 995 a 998 ‰; además el oro de este ambiente contiene trazas de Te, Hg, Cu y As.

La ocurrencia de depósitos de Seleniuros con valores de oro relativamente altos podrian tambien indicar otro ambiente geológico en la Cordillera Andina como el caso de la ocurrencia del depósito "El Dragón" cerca a la ciudad de Potosi descrito por Lehrberger (1992)

Finalmente debemos referirnos tambien a depósitos de oro en el ambiente geológico del Precámbrico boliviano donde existen ocurrencias interesantes particularmente el depósito "Don Mario" en la Serrania de San José de Chiquitos y ocurrencias asociadas con greenstones en San Ramon; en el futuro esperamos contar con muestras de oro para los análisis respectivos y poder establecer las diferencias con los ambientes de la Cordillera Real Andina y La Cordillera Occidental.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos a partir de análisis de oro por microsonda y datos complementarios de Geología Económica se podria definir por lo menos 3 ambientes que son los siguientes:

AMBIENTE GEOLOGICO TIPO A: EXHALATIVO, HIDROTHERMAL O DE REMOVLIZACION METAMORFICA

GEOLOGIA: depósitos tipo mantos y vetas de cuarzo con pocos sulfuros comunes, no existe una relación directa con asociaciones ígneas plutónicas y solo se ha observado sills de rocas espiliticas.

UBICACION: Zona norte de la Cordillera Real, Illimani, Mururata, Cordillera de Tres Cruces.

FINEZA DEL ORO: 949 a 989

ELEMENTOS TRAZAS: Cu, As, Fe, Bi (?)

AMBIENTE GEOLOGICO TIPO B: HIDROTHERMAL HIPO-MESOTERMAL TELESCOPING

GEOLOGIA: depósitos hidrotermales tipo hipo-mesotermal asociados con rocas ígneas subvolcánicas ácidas tipo dacitas y textura porfirítica; mineralogia compleja especialmente para los depósitos tipo telescoping. Son comunes los rellenos de fisuras y diseminaciones de sulfuros y alteraciones hidrotermales de la roca ígnea.

UBICACION: Zona Central y Sur de la Cordillera Andina (Distrito aurífero de La Joya, Cerro Rico de Potosí, Tasna, Chorolque etc.

FINEZA DEL ORO: 733 a 785

ELEMENTOS TRAZAS: Cu, Bi, Sb, As.

AMBIENTE GEOLOGICO TIPO C: HIDROTHERMAL TIPO EPITERMAL

GEOLOGIA: depósitos asociados a estructuras plegadas sedimentarias del Ordovícico y Silúrico con mineralizaciones importantes de estibina, cuarzo y sulfuros comunes; el oro esta asociado a todas las fases mineralógicas mencionadas. No existe ninguna evidencia de asociaciones con actividad ígnea y las condiciones de la precipitación mineral en función a las temperaturas de homogenización indican condiciones de formación a temperaturas bajas. Lehrberger (1992) considera la génesis de los depósitos de antimonio como originados por removilizaciones a partir de los sedimentos paleozóicos (Ordovícico y Silúrico), apreciaciones basadas en resultados de análisis de isótopos. Los autores del presente trabajo consideran que los depósitos de antimonio podrian tambien tener un origen hidrotermal con las fuentes proveedoras de las soluciones mineralizantes en profundidad (teletermales?).

UBICACION: Distribuida a lo largo de la Provincia Metalogenética Andina y más particularmente en su borde oeste; se han registrado más de 500 ocurrencias de depósitos de antimonio, muchos de los cuales constituyen yacimientos importantes particularmente por sus contenidos de oro asociados al cuarzo.

FINEZA DEL ORO: 955 A 998

ELEMENTOS TRAZAS: Sb, As, Fe, Bi (?)

REFERENCIAS

- ALARCON, H. 1991. Alteración hidrotermal, mineralización y geotermometria asociada con el depósito xenotermal de oro-plata de la Joya, Oruro, Bolivia 6 Congreso Geológico Chileno, 272-275.
- ANTWEILER, J. C *et. al.* 1982. Gold in Exploration Geochemistry, The Association of Exploration Geochemists,
- FORNARI M. & M. BONNEMAISON. 1984. Mantos et amas sulfo-arseniés a or de La Rinconada, premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans la Cordillere orientale du Pérou. Chronique de la recherche Miniere, 474, p.33-40.

- FORNARI, M. & G. HÉRAIL. 1991. Lower Paleozoic gold occurrences in the Eastern Cordillera of Southern Peru and Northern Bolivia: a genetic model. In: Brazil GOLD '91, E.A. Ladeira Ed. Balkema, p.135-142.
- FORNARI M. & G. HERAIL. 1993. Source of detrital gold mineralization in the Bolivian Altiplano. Second biennial SGA Meeting; Current research in geology applied to ore deposits. Granada, Spain, p.449-452.
- GRUNDMANN, G. & G. LEHRBERGER. 1990. The El Dragón mine, Potosí, Bolivia, Mineralogical record, Vol.21.
- LEHRBERGER G, 1992. Metallogeneese von antimonit-gold-lagerstätten in marinen sedimenten der ostkordillere Boliviens, Munchner Geologische Hefte
- MORTEANI, J. & A. FUGANTI. 1988. The Gold deposits of Bolivia- A genetic classification and economic considerations; Bicentennial Gold 88, Melbourne.
- MOSIER, E *et.al.* 1989. Geochemistry of placer gold, Koyukuk-Chalendar mining Distrit, Alaska, Journal of Geochemical Exploration. 97-115
- POZZO I. L. 1991. Geología y características del oro aluvial en ambiente volcánico, región de Guadalupe, Prov. Sud López, departamento de Potosí. Un método para localizar posibles mineralizaciones primarias, Tesis UMSA. La Paz.
- RAMOS C. W. 1992. El placer de Vilader, un yacimiento aluvial de oro de la cuenca alta del río Lipez. Tesis UMSA. La Paz. 150p.
- RAMOS C. W., Fornari M. 1992. El oro detritico y sus relación con las fuentes primarias en la region de Vilader. Bol Soc. geol Bol, 27, p.129-132.
- ROSE, J. W. & G.W. MORRISON. 1988. Classification of gold deposits using the silver content (Fineness) of gold, Bicentennial Gold 88, Melbourne.
- SUGAKI, M, *et.al.* 1985. Geological investigation on polymetallic hydrothermal ore Deposit, in Andes Area of Bolivia and Chile .
- TILST M., 1985. Die Goldagerstätten der nordichen Cordillera Real Bolivien und ihr geologischer Rahmrn. Berliner geowiss. Abh. (A) 65.



SOCIEDAD GEOLOGICA BOLIVIANA



62

MEMORIAS DEL
XI CONGRESO GEOLOGICO
DE BOLIVIA

SANTA CRUZ, 6 - 9 DE OCTUBRE DE 1994



AUSPICIA
YACIMIENTOS PETROLIFEROS FISCALES BOLIVIANOS

111

111 22 11 11