

LOS CUERPOS SUBVOLCANICOS EN BOLIVIA Y SUS RELACIONES CON LA MINERALIZACION

THE SUBVOLCANIC INTRUSIVES OF BOLIVIA AND THEIR RELATIONSHIP TO MINERALIZATION

ANTONIO SAAVEDRA M.* AND NOBUTAKA SHIMADA**

* *Academia Nacional de Ciencias de Bolivia.*

** *Instituto de Geología Económica - UMSA.*

Los cuerpos subvolcánicos en Bolivia, se encuentran distribuidos en el Altiplano (Fig. 1) emplazados siguiendo la misma dirección de los Andes Orientales. Se extienden desde la frontera con el Perú, por más de 900 km hasta el norte Argentino, mostrando a lo largo de esta distribución, similares características y una estrecha relación con mineralización polimetálica postmagmática de la región.

Los cuerpos hipabisales, que están comprendidos en la provincia calcoalcalina, han merecido una serie de investigaciones petrológicas desde el siglo pasado, destacándose con mayor notoriedad la obra de Kozlowski y Smulikowski (1934). Sin embargo, todas ellas se encuentran dirigidas al estudio microscópico de los mencionados cuerpos, sin ninguna complementación de datos químicos o geoquímicos de las muestras. En general se trata de complejos igneos, de asociaciones de cuerpos hipabisales y fenómenos volcánicos, que muestran varias facies en el tiempo de su emplazamiento, de ahí las diferentes edades radiométricas en un mismo cuerpo.

La determinación de la composición mineralógica original, de las rocas se hace muy dificultosa, en vista de la alteración por efectos hidrotermales. En general, se puede observar una fuerte seritización que ha reemplazado total o parcialmente a las plagioclasas, así como a los feldespatos potásicos. También existe una fuerte alteración de la biotita a clorita. En resumen, podemos advertir que minerales secundarios reemplazan total o parcialmente a los minerales primarios, quedando en algunos yacimientos sólo cristales de cuarzo anhedrales mostrando formas corroídas. Por consiguiente la muestra observada al microscopio en general es denominada pórfido cuarzoso, o cuarzo porfirítico, significando que se trata de una roca subvolcánica de ambiente hipabisal, denominación basada en el criterio de Heinrich (1972) de denominar pórfido cuarzoso, a toda roca que presente dificultades en su determinación, por problemas de alteración.

Análisis modales de muestras frescas de pórfidos cuarzosos de los diferentes stocks, indican que se trata de dacitas o cuarzo latitas. Sin embargo, el análisis químico y sus respectivo análisis normativo CIPW, indican que se trata de riolitas (Tabla 1), en el stock San José en la parte central, mientras que en el cuerpo hipabisal de Colquechaca en la parte Sud se trata de dacitas (Fig. 2).

Con referencia a la edad del emplazamiento de los diferentes stocks existentes en el Altiplano boliviano, los datos radiométricos que se disponen oscilan entre 23 Ma, edad correspondiente al stock de Coriviri, y 12,3 Ma, edad del complejo de Quimsachata,

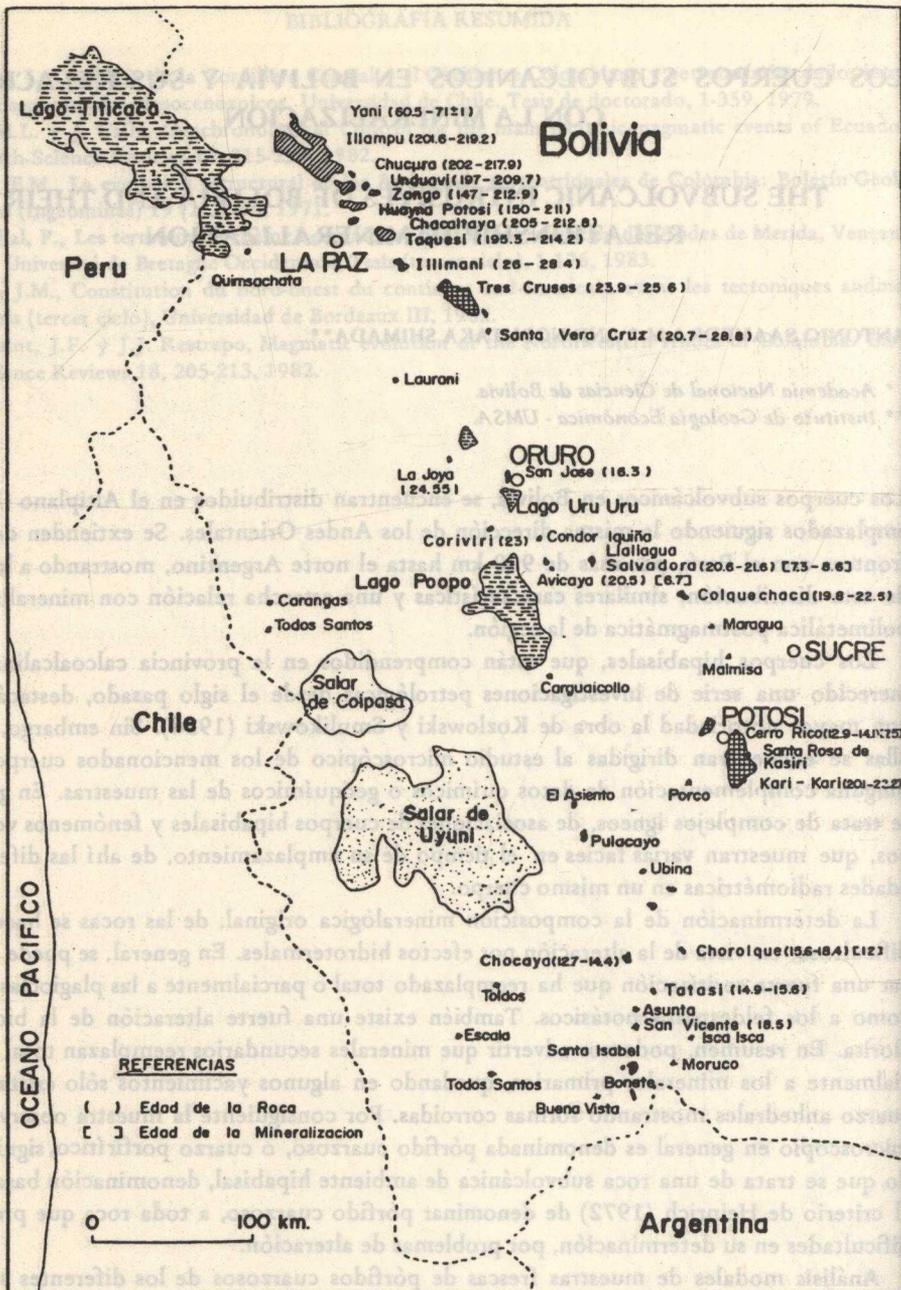


Fig. 1. Distribution of subvolcanic intrusives in the Altiplano of Bolivia, with radiometric age indication as follows: () Age of the rocks [] Age of associated mineralization.

Fig. 1. Distribución de los cuerpos subvolcánicos en el Altiplano Boliviano con indicación de edades radiométricas.

situándose estos cuerpos en el *Mioceno inferior a medio*, hecho coincidente con el inicio de la actividad del arco magmático moderno, propuesto por Jordan (1984).

ALTERACION HIDROTHERMAL. En vista de que las rocas hipabisales tienen a nivel regional casi una misma composición petrológica y considerando que tuvieron semejantes procesos de alteración hidrotermal se puede anotar lo siguiente:

- los complejos magmáticos se hallan profunda y ampliamente alterados, mostrando diferentes fases de alteración.
- la sericitización es el proceso más común de alteración que ha transformado la roca en agregados de microcristales de sericita, mineral diseminado en la roca y distribuido ampliamente.
- la silicificación, es otra de las alteraciones comunes, que juntamente con la cloritización, se encuentran en todas las zonas de los complejos, con una distribución variable en intensidad, así como en combinación. En algunos complejos, la sílice amorfa se presenta como ópalo.
- alteración argílica, de diferente intensidad, generalmente representada por caolinita, alunita, constituye una extrema descomposición por hidrólisis de todas las fases aluminosas.

TABLE 1

CHEMICAL AND NORMATIVE ANALYSIS OF ROCKS FROM THE COLQUECHACA AND SAN JOSE SUBVOLCANIC INTRUSIVE

COMPOSICION QUIMICA Y NORMATIVA DE ROCAS DE LOS INTRUSIVOS VOLCANICOS COLQUECHACA Y SAN JOSE

	6	46	25	58	75	80
Si Or	64.68	64.81	64.36	65.69	63.14	60.40
Ti O ₂	0.55	0.45	0.50	0.58	-	-
Al ₂ O ₃	17.22	16.26	16.94	14.13	16.26	16.27
Fe ₂ O ₃	1.63	2.18	1.79	5.75	2.33	1.25
Fe O	2.14	2.25	2.14	3.57	2.08	3.78
Mg O	1.42	0.65	1.63	1.75	1.47	2.25
Ca O	2.24	1.85	0.40	1.05	3.00	1.46
Na ₂ O	3.20	0.30	4.69	2.10	0.50	3.25
K ₂ O	4.10	6.61	6.39	2.48	6.39	5.78
H ₂ O +	1.90	3.40	2.30	2.30	3.20	5.36
H ₂ O -	0.80	2.44	0.34	0.40	0.90	0.44
TOTAL	99.88	101.20	101.48	99.22	99.27	100.24
		NORMAS C.I.P.W.				
Q	22.7	31.1	8.6	38.3	26.3	22.5
Or	24.2	39.1	37.7	14.6	37.7	13.34
Ab	27.1	2.5	39.7	17.8	4.3	6.67
An	11.1	9.2	2.0	5.2	14.9	6.67
C	3.5	5.3	1.6	6.1	3.1	1.53
Wo						
En	3.5	1.6	4.1	4.4	3.7	2.0
Fs	1.7	1.6	1.6	1.8	1.9	1.4
Mt	2.4	3.2	2.9	8.3	3.3	2.3
Il	1.1	0.9	1.0	-	-	-
Q	26.7	38.7	9.8	50.5	31.6	42.1
Or	28.4	47.2	42.8	19.2	45.3	61.5
Ab + An	44.9	14.1	47.4	30.3	23.1	55.8
Or	38.8	77.0	47.5	38.8	63.3	42.1
Ab	43.4	4.9	50.0	43.3	7.6	35.6
An	17.8	18.1	2.5	13.8	26.2	7.4

COMPOSICION QUIMICA Y NORMATIVA DE ROCAS DEL INTRUSIVO SUBVOLCANICO DE SAN JOSE SEGUN SAAVEDRA A. et al 1.985

OXIDOS	S A B 14	S A B 23	S A B 43	W.T.
Si O ₂	65.00	66.55	66.50	66.60
Ti O ₂	0.06	0.13	0.08	0.94
Al ₂ O ₃	15.64	17.26	15.97	13.60
Fe ₂ O ₃	5.87	1.19	1.12	1.55
Fe O	0.80	2.52	1.65	2.34
Mn O	0.10	0.04	0.21	0.09
Mg O	0.07	1.13	0.13	1.38
Ca O	1.05	1.95	2.08	3.25
IGL	1.04	3.83	2.13	3.88
K ₂ O	3.40	3.41	3.48	3.79
H ₂ O	3.86	0.95	4.14	2.32
P ₂ O	0.03	0.08	0.07	0.37
S	-	-	-	0.01
TOTAL	96.92	99.04	99.56	100.12
	NORMA C.I.P.W.			
Q	26.08	24.02	27.60	22.06
C	6.25	8.92	2.92	-
Or	31.89	20.15	32.39	22.37
Ab	8.81	32.40	18.04	32.82
An	5.02	9.12	9.86	8.51
Di	-	-	-	4.21
Wo	-	-	-	2.18
En	0.17	2.81	0.32	3.27
Fs	-	3.50	2.37	1.61
Hv	0.17	6.31	2.70	2.85
Mt	2.38	1.74	1.62	2.25
Il	0.12	0.26	0.15	1.79
Hm ₁	4.23	-	-	-
Ap	0.07	0.20	0.08	0.87
Py	-	-	-	0.02
TOTAL	94.96	98.12	95.44	97.76

- minerales de menor representatividad, pero presentes en casi todos estos yacimientos, son: turmalina, pirita, calcita y minerales de hierro como pirita y hematita.

Como conclusión se puede mencionar, que es difícil dar un nombre común de alteración, ya que en cada uno de los yacimientos los sistemas hidrotermales representan diversos equilibrios termodinámicos. Se puede, sin embargo, establecer que los grupos más notables de alteración estarían representados por *la argílica avanzada e intermedia*, la cual muestra en los diferentes yacimientos una zonación muy marcada. Además, se pueden individualizar otros estadios específicos de alteración tales como la sericitización, la cloritización, la carbonitización, la silicificación, etc.

METALOGENIA. Las soluciones hidrotermales que han ascendido de las profundidades dieron lugar al emplazamiento de depósitos minerales polimetálicos, con preponderancia de minerales estañíferos. Se trata de los más grandes productores de estaño del país, tales como La Salvadora, Avicaya, y también de yacimientos de plata, como el Cerro Rico de Potosí, el yacimiento de San José en Oruro, presentándose todos ellos del tipo filoniano, acompañados además de numerosas ramificaciones. Para una mejor objetividad se muestra en la Tabla N° 2 la relación de los componentes mineralógicos con su abundancia relativa.

Sin lugar a dudas, con referencia a las diferentes etapas en la secuencia de mineralización, y por lo estudiado hasta hoy en los diferentes cuerpos subvolcánicos se puede apreciar de que existen por lo menos dos etapas y en la mayoría de los casos, se pueden constatar hasta cuatro, como se puede ver en la Fig. 3.

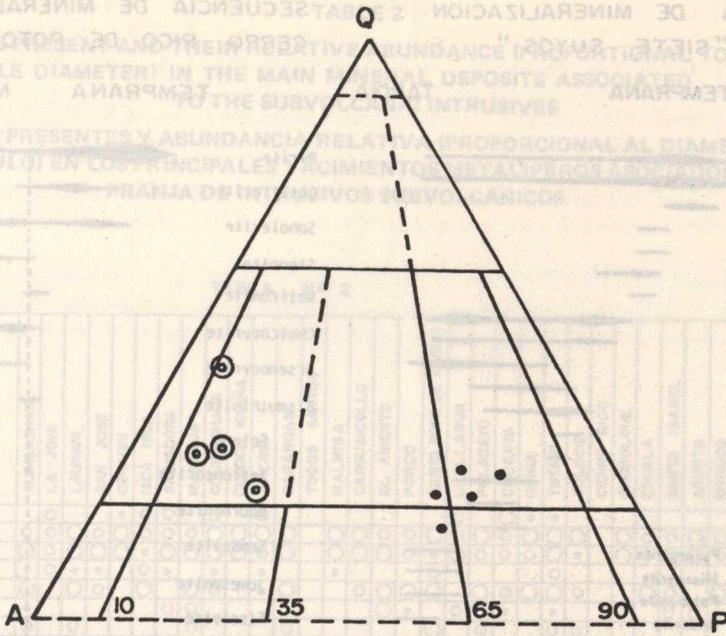


Fig.2. Streckeisen QAP plot of modal analysis of fresh samples from San José (circles) and Colquechaca, (dots) subvolcanic complexes.

Fig.2. Análisis modales de muestras frescas de los complejos subvolcánicos San José y Colquechaca (puntos) diagrama QAP de Streckeisen

MINERAL	PERIODO	SECUENCIA DE LA MINERALIZACION	
		TEMPRANA	TARDIA
TURMALINA		—	
CUARZO		—	—
PIRITA		—	—
CASITERITA		—	—
ESTANNITA		—	—
FRANCKEITA		—	—
TETRAEDRITA (PRARGIRITA)		—	—
PIRROTINA		—	—
CALCOPRITA		—	—
ESFALERITA		—	—
GALENA		—	—
ARSENOPIRITA		—	—
ANDORITA		—	—
ANTIMONITA		—	—
BOULANGERITA		—	—
ZINCKENITA		—	—
JAMESONITA		—	—
MARCASITA		—	—
APATITA			—
SIDERITA			—
ALUNITA			—
CAOLINITA			—
SERICITA			—
CLORITA			—

Fig.3a. Mineralization sequence at "San José de Oruro" mine.

Fig.3a. Secuencia de mineralización en la mina "San José de Oruro".

SECUENCIA DE MINERALIZACION
"MINA "SIETE SUYOS"

SECUENCIA DE MINERALIZACION DEL
CERRO RICO DE POTOSI

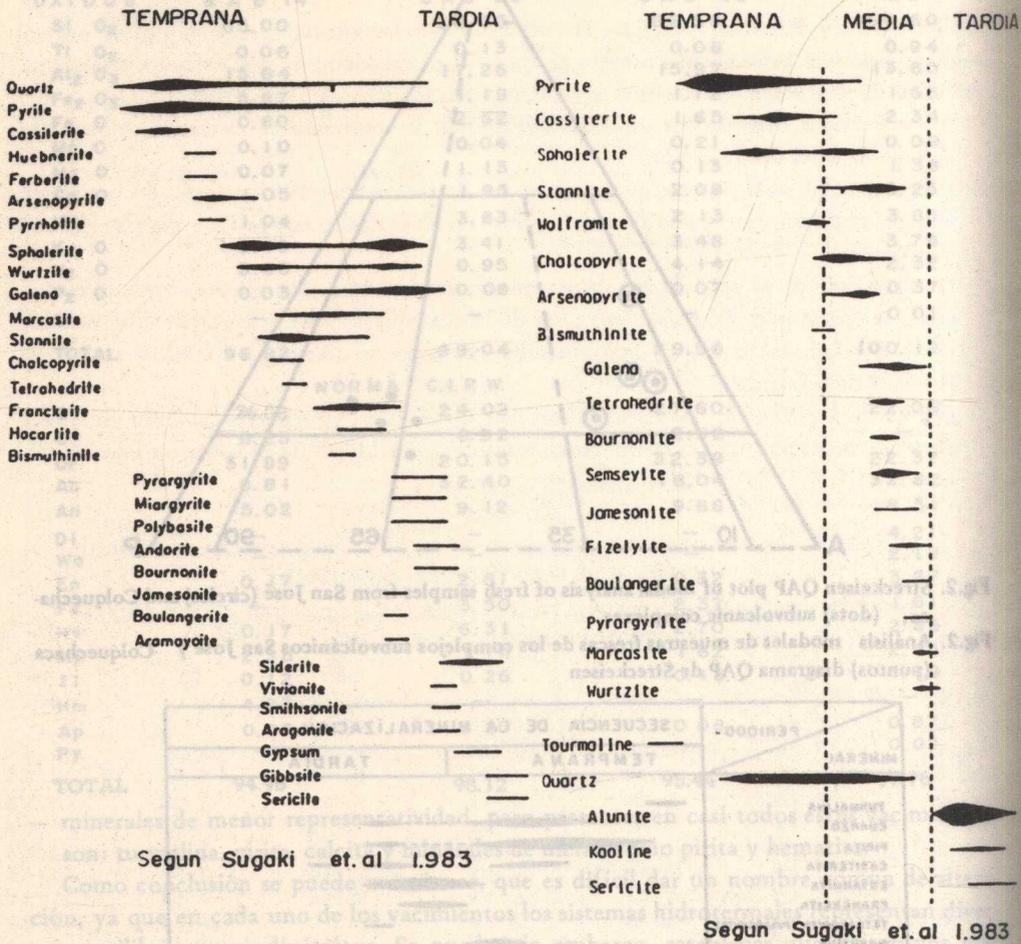


Fig.3b, c. Mineralization sequences at b) "Siete Suyos"; c) Cerro Rico.

Fig.3b, c. Secuencias de Mineralización en b) "Siete Suyos"; c) Cerro Rico.

La etapa temprana se halla caracterizada por la mineralización de pirita, cuarzo y casiterita, como minerales principales. En general, la etapa tardía se halla constituida por minerales arcillosos, así como también siderita y otros minerales de ganga. Todas las etapas se hallan acompañadas de una fuerte brechización.

Con relación a la edad de la mineralización por los datos hasta hoy obtenidos en minerales de sericita, alunita y jarosita, se puede colegir que la alteración hidrotermal se ha efectuado entre los 12 Ma y 7,3 Ma, (comunicación personal del Dr. A. Sugaki), lo que indica una edad correspondiente al *Mioceno superior*, estableciéndose que las soluciones mineralizantes no se depositaron inmediatamente después a la consolidación magmática.

REFERENCE

- Jordan, T. (1984). Cuencas, vulcanismo y acortamientos, cenozoicos, Argentina, Bolivia y Chile 20-28° Latitud Sur, Actas IX Congreso Geológico Argentino. Tomo II.
- Kozłowski, R., Smulikowski, K. (1934). Les roches eruptives des Andes de Bolivie. Arch. Min. Soc. Mh.; H 11; p. 498-505.
- Heinrich E. Wm. 1972. Petrografía Microscópica. Ed. Omega.
- Saavedra, A., Beccar, G., Saavedra, F., Sanjines, O., Villena, H. (1985). Geología Económica de la estructura "D" Sección Itos - Yacimientos de "San José"; Ins. Geo. Econ. UMSA; La Paz - Bolivia (En prensa).
- Sugaki, A., Ueno, H., Kitakaze, A., Hayashi, K., Shimada, N., Sanjines, O., Velarde, O., Sánchez, A., Villena, H. (1983). Geological and mineralogical studies on the polymetallic hydrothermal ore deposits in Andes area of Bolivia; Faculty of Science; Tohoky University; Sendai-Japan.