

NIVELES DE EXPOSICIÓN DE YACIMIENTOS DEL DISTRITO MINERO AGUA DE DIONISIO (YMAD), CATAMARCA

Adolfo A. GUTIÉRREZ¹, Guillermo CHONG D.² y Sergio ESPINOZA R.²

¹ Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L. Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina. Email: terres@csnat.unt.edu.ar

² Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas. Av. Angamos 0610, Antofagasta, Chile. Email: gchong@ucn.cl; sespinoz@ucn.cl

RESUMEN

Los yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio quedaron al descubierto por el desplome y erosión del Complejo Volcánico Farallón Negro. El nivel de emplazamiento y procesos morfotectónicos posteriores son, entre otros, los factores que determinaron el nivel de exposición de cada yacimiento. De acuerdo al nivel de exposición, en las rocas de superficie están presentes elementos químicos representativos de la zonación vertical u horizontal del sistema hidrotermal. Se estudia el nivel de exposición de algunos yacimientos a partir del tratamiento geoestadístico de elementos químicos obtenidos de muestras de rocas de superficie. En el nivel de exposición del yacimiento epitermal Alto de la Blenda están presentes elementos característicos de la zona de sulfosales y otros de la zona de sulfuros del sistema epitermal. En el yacimiento epitermal Farallón Negro los elementos asociados se corresponden con la zona intermedia (sulfuros-sulfosales) del sistema. En los yacimientos tipo pórfidos de cobre La Alumbra y Las Pampitas los grupos de elementos determinados son representativos de la zona propilítica y de la zona sericitica-potásica de un sistema tipo pórfido de cobre. En el yacimiento El Durazno los grupos de elementos representan la zona de alteración sericitica-potásica y otros la zona propilítica de un sistema tipo pórfido de cobre. En la zona de Agua Tapada las muestras representan a prospectos epitermales y tipo pórfido de cobre; los grupos de elementos son representativos de la zona de sulfuros-sulfosales del sistema epitermal y no se logra diferenciar entre un sistema epitermal y otro tipo pórfido de cobre.

Palabras claves: *Pórfidos cupríferos, yacimientos epitermales, geoquímica, geoestadística*

ABSTRACT: *Exposures levels of the deposits of the Agua de Dionisio (YMAD) mining district, Catamarca.*

Deposits from the Agua de Dionisio mining district were uncovered by the collapse and erosion of the Farallón Negro Volcanic Complex. Site level and later morphotectonic processes are, among other, factors that determine the exposure level of each deposit. According to the exposure level, chemical elements being representative of the vertical or horizontal zoning of the hydrothermal system are present. The exposure levels of some deposits are studied from the geostatistical treatment of chemical elements obtained from surface rock samples. At the exposure level of the Alto de la Blenda epithermal deposit, characteristic elements from the sulfosalt zone, and others from the epithermal system sulphide zone are present. In the Farallón Negro epithermal deposit, the associated elements match with the system intermediate zone (sulphides-sulfosalts). In the La Alumbra and Las Pampitas porphyry-type copper deposits, the groups of certain elements are representative of the propylitic and sericytic-potassic zones of a porphyry-type copper system. In the El Durazno deposit, some groups of elements represent the zone of sericytic-potassic alteration while others represent the propylitic zone of a porphyry-type copper system. In the Agua Tapada zone, the samples represent epithermal and porphyry-type copper prospects; the groups of elements are representative of the sulphide-sulphsalt zone of the epithermal system, but an epithermal and a porphyry-type copper system cannot be differentiated.

Keywords: *Porphyry copper, epithermal deposits, geochemistry, geostatistics.*

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Catamarca, en el extremo norte del ambiente morfoestructural de las Sierras Pampeanas, se emplazó a fines del Terciario el Complejo Volcánico Farallón Negro dando origen a yacimientos tipo pórfidos de cobre y epitermales. Estos yacimientos, ubicados en la caldera de un

En la zona periférica se emplazan los yacimientos tipo pórfidos de cobre Agua Tapada, Las Pampitas, El Durazno y La Alumbraera (Fig. 1). En Agua Tapada, por debajo de las vetas epitermales existe un yacimiento tipo pórfido de cobre (JICA 1987), evidenciando la relación espacial y genética entre ambos sistemas hidrotermales como los ejemplos de El Indio,

magmática del Complejo Volcánico Farallón Negro, formándose los yacimientos tipo pórfidos de cobre en un régimen tectónico de carácter compresional y los yacimientos epitermales de baja sulfuración en un régimen tectónico de carácter tensional (Gutiérrez *et al.* 2002, Gutiérrez 2000).

En el proceso tectono-magmático que dio origen a los yacimientos del distrito YMAD, la concentración de elementos químicos tuvo lugar en distintos niveles zonales en cada yacimiento en función de las características físico-químicas del fluido hidrotermal determinando zonaciones horizontales y verticales. El nivel de erosión actual de cada yacimiento expone en la superficie minerales y elementos químicos propios de una zonación geoquímica. En este trabajo estudiamos a través de métodos geoestadísticos la asociación espacial de los elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mn, Mo, As y el grado de dependencia de las variables para determinar el nivel de exposición de cada yacimiento.

Yacimientos del distrito YMAD

En la figura 1 se indica el área que ocupan las muestras estudiadas y en la figura 2 se presenta un esquema geológico que muestra la ubicación espacial de los cuerpos intrusivos del Complejo Volcánico Farallón Negro; el cuadro 1 es un cuadro estadístico que indica el número de muestras estudiadas en cada yacimiento y las concentraciones químicas de los elementos involucrados. En el sector denominado Agua Tapada, al noroeste del distrito YMAD (Fig. 1), las muestras analizadas representan a las manifestaciones minerales epitermales Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa, Morro Bola y al yacimiento tipo pórfido de cobre Agua Tapada, genéticamente relacionado con las vetas epitermales de Agua Tapada (JICA 1987), cuya roca de caja es un intrusivo dacítico (Fig. 2). La zona de alteración filica grada a alteración argílica donde están presentes caolinita-sericita, rodeadas por alteración propilítica con clorita-sericita-caolinita y en las vetas mineralizadas se encuentran óxidos de hierro y manganeso, pirita, calcopirita, esfalerita, galena y cuarzo en ganga de carbonatos y yeso (Suchomel 1983, JICA 1987). Alderete (1999) indicó

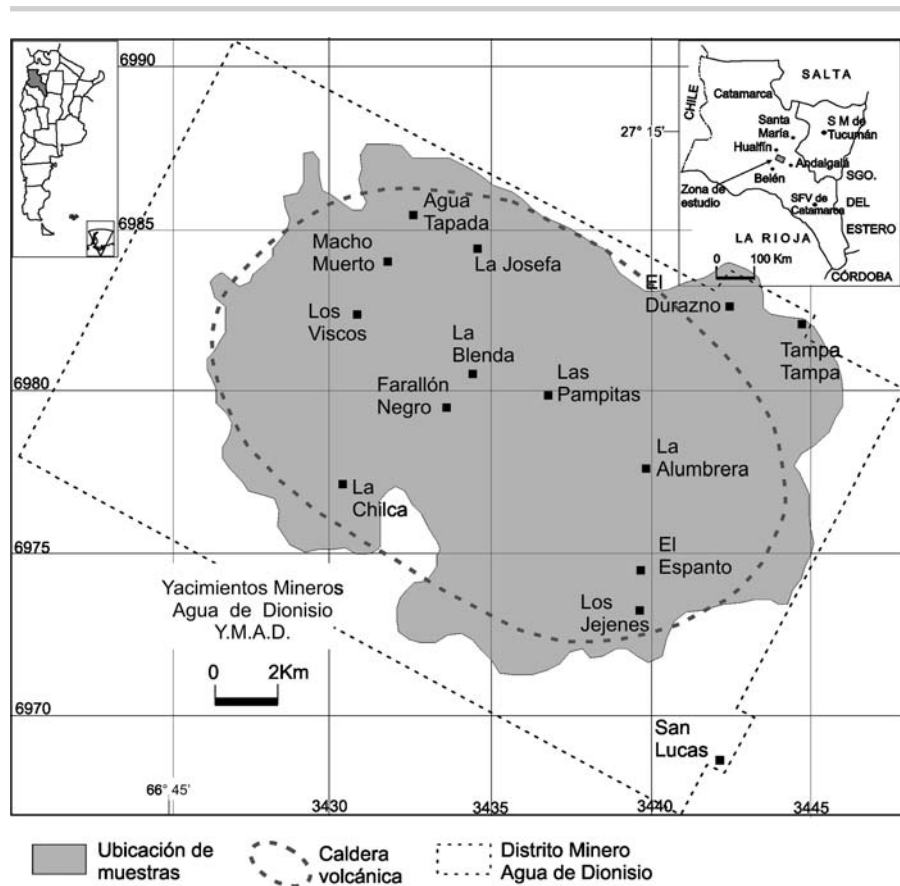


Figura 1: Mapa de ubicación.

estratovolcán erodado (Llambías 1970) forman parte del distrito Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD) (Fig. 1). En la zona central y noroeste se encuentran los yacimientos epitermales [Au (Mn, Ag, As, Pb, Zn)] Farallón Negro, Alto de la Blenda y Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa y Morro Bola respectivamente, cuyas vetas están constituidas por filones de cuarzo y carbonatos conteniendo minerales de oro, plata y manganeso (Malvicini y Llambías 1963, JICA 1987, Pantorrilla 1995) (Fig. 1).

Choquelimpie, El Guanaco, La Coipa, Nevada y Sancarrón en Chile (Sillitoe 1991, Vila y Sillitoe 1991, Henley y Berger 1993). La actividad volcánica intrusiva e hidrotermal del Complejo Volcánico Farallón Negro se ha desarrollado entre los 8,5 y 5,5 Ma (Sasso y Clark 1999), en un ambiente tectónico de torsión transpresivo en la cuenca de retroarco del margen continental (Gutiérrez *et al.* 2002, Gutiérrez 2000). La rotación del eje de acortamiento de NE a NNO controló la evolución estructural y

que los minerales de alteración y ganga eran pirita, magnetita, cuarzo, calcita, epidoto, clorita, sericita, yeso, feldespato potásico y biotita; hay escasa calcopirita diseminada, pirita-calcopirita se presentan en las venas asociadas con cuarzo-magnetita, magnetita y magnetita-pirita y que los contenidos de Cu, Au, Mo sumados al patrón de zonación de alteración sugieren una ubicación en la parte más alta del sistema de alteración-mineralización. Anomalías geoquímicas moderadas de Cu, Pb, Zn y Au se observan en lo que correspondería a la zona de alteración potásica (Alderete 1999).

Las vetas epitermales del yacimiento Alto de la Blenda están emplazadas en el stock monzonítico Alto de la Blenda en la zona central del distrito (Fig. 2). Una zona de alteración filica con sericita-clorita rodea a la zona silicificada cercana a la veta y pasa gradualmente a alteración propilítica donde se observan sericita, clorita, carbonatos, cuarzo y pirita, presentándose a veces argilización con smectita-sericita (clorita) y sericita-clorita (JICA 1987). Pantorrilla (1995) determina tres estadios hipogénicos de mineralización epidermal y un estadio de enriquecimiento supergénico. En el estadio uno sulfuros y sulfosales de grano medio a grueso son importantes portadores de oro y plata, acompañados por pequeños aportes de cuarzo y carbonatos. La mineralización corresponde a pirita, esfalerita, galena y calcopirita; oro está asociado con arsénico y oro y plata están incluidos en galena. El estadio dos se caracteriza por la presencia de cuarzo y carbonatos con sulfuros y sulfosales de grano fino diseminados, portadores de oro y plata. La mineralización está constituida por cuarzo, pirita (arsénico), esfalerita, galena y calcopirita. En el estadio tres predominan carbonatos, escaso cuarzo con sulfuros y sulfosales argentíferas de grano fino diseminados, los minerales presentes son carbonatos, pirita, calcopirita y tetrahedrita. En el estadio cuatro, de enriquecimiento supergénico se produce la redepositación de oro secundario asociado a óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso. Sasso y Clark (1999) expresan que Farallón Negro y Alto de la Blenda están caracterizados por alteración sericítica intensa, relacionadas espacialmente con rocas intrusivas portadoras de mineralización tipo pórfido

de cobre formada a mayor profundidad.

En el yacimiento Farallón Negro, ubicado también en la zona central del distrito, la mineralización vetiforme está hospedada en rocas andesíticas y monzoníticas (Fig. 2), acompañadas por alteración sericítica y propilítica (clorita, carbonatos, sericita, cuarzo y pirita); a veces, se presenta argilización (esmectita, sericita, clorita y sericita, clorita) (JICA 1987, Pantorrilla 1995). Sasso y Clark (1999) indicaron que el oro libre está asociado a zonas con abundante pirita y que las vetas de sulfuros de metales base de Au-Ag fueron intensamente oxidadas a una asociación supergénica rica en óxidos de manganeso, datando la alteración cuarzo-sericítica en $6,55 \pm 0,14$ Ma.

El yacimiento La Alumbra se hospeda en las rocas del intrusivo dacítico Agua Tapada (Fig. 2). La mineralización primaria está constituida por venillas de calcopirita + pirita \pm magnetita; la mineralización de oro-cobre está asociada con la zona de alteración potásica, definida por biotita secundaria-feldespato potásico-magnetita-cuarzo \pm anhidrita y la alteración propilítica constituida por epidota-clorita-albita \pm magnetita. Sericita-pirita-cuarzo caracteriza a la alteración filica sobrepuesta a las zonas de alteración potásica y propilítica (González 1975, Godeas y Svetliza 1980, Sasso 1997, Angera 1999).

El prospecto Las Pampitas se ubica al este del yacimiento Alto de la Blenda (Fig. 2), se emplaza en las rocas del intrusivo monzonítico Alto de la Blenda, en las andesitas del Complejo Volcánico Farallón Negro y en las rocas del intrusivo Dacita Macho Muerto. Los halos de alteración están representados por una zona potásica donde se encuentran las mayores anomalías geoquímicas con vetillas de magnetita, cuarzo-magnetita, biotita secundaria y feldespato potásico secundario rodeando una chimenea de brecha central, hacia fuera se extienden zonas de alteración filica y propilítica; esta última con epidota, clorita, magnetita y carbonatos (JICA 1987, Alderete 1999).

La mineralización de Cu-Au en el Bajo El Durazno está asociada a la intrusión de un pórfido andesítico (Fig. 2) con menor cantidad de Ag y Mo (Alderete 1999). En la zona central del yacimiento se desarrolló alteración potásica compuesta por feldespato

potásico-biotita, acompañada de mineralización diseminada de pirita y calcopirita con magnetita, hematita, bornita, esfalerita y molibdenita. Hacia la zona externa continúa la alteración de sericita-arcilla con abundantes minerales de sulfatos como jarosita, natrojarosita, yeso, con mayor diseminación y vetillas de pirita que en la zona potásica (sin la presencia de mineral de cobre), pasando luego a la alteración propilítica. El mayor volumen mineralizado está en las venas entre el stock y sus paredes con cuarzo, calcita, magnetita, pirita, calcopirita y menor proporción de sericita, clorita, ortoclase, biotita, siderita, molibdenita, bornita, esfalerita, galena, tetrahedrita-tenantita y oro nativo (Allison 1986, JICA 1987, Sasso 1997, Alderete 1999).

MÉTODOS GEOQUÍMICOS Y GEOESTADÍSTICOS

Como parte del programa de exploración en el distrito YMAD, JICA (1987) recolectó y analizó muestras de roca de superficie de algunos yacimientos. De un total de 402 muestras determinaron ocho elementos: Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mn, Mo y As. El oro fue analizado por ensayo al fuego y los otros siete elementos con el método de absorción atómica. Los límites de detección fueron los siguientes: Au: 0.005 ppm; Ag: 1 ppm; Cu: 2 ppm; Pb: 5 ppm; Zn: 2 ppm; Mn: 5 ppm; Mo: 5 ppm y As: 2 ppm. JICA (1987) realizó un tratamiento estadístico de los datos químicos obteniendo valores de anomalía, correlación de elementos, histogramas y curvas cumulativas, indicando que en los yacimientos Las Pampitas, La Alumbra y El Durazno las anomalías de Au, Cu y Mo coinciden con la zona de alteración potásica-sericítica de la parte central y en los yacimientos Farallón Negro y Alto de la Blenda hay alta concentración de Mn, Au y As.

A los datos químicos de roca obtenidos por JICA (1987) los estudiamos también con métodos geoestadísticos obteniendo parámetros de estadística descriptiva y estadística analítica: análisis de grupos para determinar los elementos espacialmente asociados y análisis de factores para determinar el grado de dependencia de las variables. El 80% del elemento plata, el 49% del elemen-

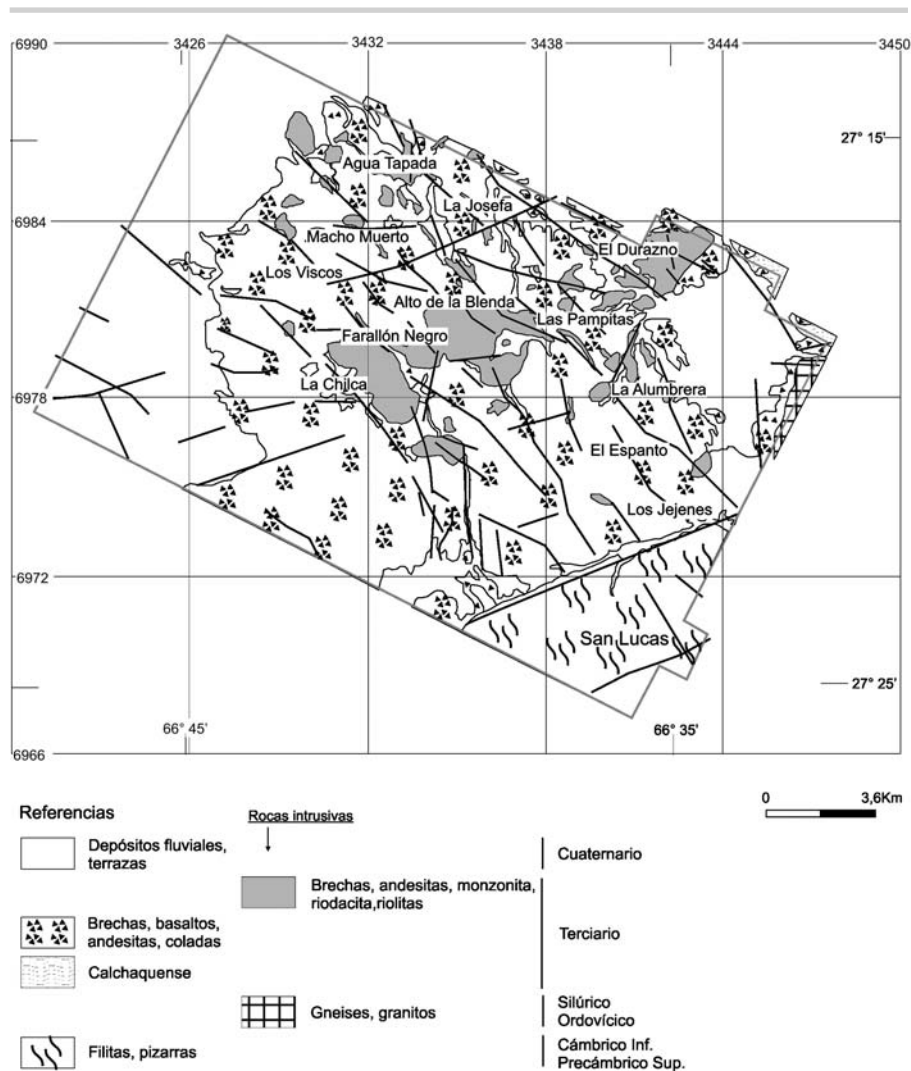


Figura 2: Esquema geológico del distrito Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (basado en Llambías 1970, Sasso 1997 y Gutiérrez 2000).

to arsénico y el 57% del elemento molibdeno presentan valores que se encuentran por debajo del límite de detección (1 ppm; 5 ppm y 2 ppm, respectivamente); sin embargo, estos elementos reflejan en el análisis estadístico su asociación espacial con yacimientos epitermales y pórfidos de cobre, respectivamente (Gutiérrez *et al.* 2002, Gutiérrez 2000). El análisis de grupos es un método basado en el coeficiente de correlación como medida de la semejanza de las variables y se utiliza para clasificar datos geoquímicos por grupos, de tal manera que cada grupo sea más o menos homogéneo y distinto de otros; a partir de este análisis

se puede interpretar cuáles son los factores que influyen en la distribución de los elementos estudiados (Lepeltier 1969, Sinclair 1974, Saager y Sinclair 1974, Siegel 1992). El análisis de factores tiene como objetivo expresar la relación de un grupo de variables por un número mínimo de variables causales o de control que se denominan factores; el método "R", que utilizamos en este trabajo, hace comparaciones entre variables. De la matriz de correlación se extrae la componente principal que luego es rotada de acuerdo a criterios matemáticos específicos; cada eje en esta nueva posi-

ción es conocido como factor y cada factor representa la variación generada por un solo proceso geológico-geoquímico, teniendo en cuenta que la concentración geoquímica de un elemento representa con más frecuencia la suma de varios procesos geológicos y geoquímicos (Saager y Sinclair 1974, Siegel 1992).

DESCRIPCIÓN GEOQUÍMICA

En el sector donde se ubican las manifestaciones minerales epitermales Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa, Morro Bola y el pórfido de cobre Agua Tapada (Fig. 2) los elementos Cu-Zn-Mn y Au-Ag-Pb están espacialmente asociados, a los que se agregan As y Mo en forma subordinada (Cuadro 2a). Del conjunto de datos se determinaron tres factores. El primer factor está representado por los elementos Cu-Zn y (Au), en el segundo factor se presentan los elementos Ag-Au y (Pb) subordinado y en el tercer factor se destaca la asociación Mn-As con (Pb) subordinado (Cuadro 3a). Del análisis multivariante se interpreta que los elementos Cu-Zn-(Au) y Ag-Au-(Pb) son representativos de la zonación del área en el nivel de exposición actual, encontrándose además Mn-As y (Pb). La asociación de elementos representa con mayor claridad a un sistema epitermal que a un sistema tipo pórfido de cobre. Los elementos Cu-Zn-(Au) del primer factor son representativos del horizonte de metales base (Fig. 3a) de un sistema epitermal. La asociación de elementos Ag-Au-(Pb) del segundo factor y Mn-As-(Pb) del tercer factor se corresponden con la zona de óxidos-sulfosales (Fig. 3a) por encima del nivel de ebullición.

La matriz de correlación que representa a las muestras del yacimiento vetiforme Alto de la Blenda indica que el nivel de exposición actual del yacimiento está caracterizado por la asociación espacial de los elementos Au-As-Mn y Pb-Mo-Zn, a los que se agregan en forma subordinada los metales Cu-Ag (Cuadro 2b). Del análisis multivariante se extractaron tres factores. La asociación de elementos Au-As y (Cu-Mn) en el primer factor (Cuadro 3b) se corresponde con la zona superior del sistema epitermal (óxidos-sulfosales) (Fig. 3a); sin embargo, la presencia subordinada de los elemen-

CUADRO I: Estadística descriptiva de muestras de roca de los yacimientos

		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mn	Mo	As
Agua	Mínimo	0,003	0,60	1,00	15,00	5,00	40,00	3,00	1,12
	Máximo	0,31	51,00	2450	2390	5400	39700	111	170
	N: 146	Promedio	0,021	1,28	59,96	110,53	258,02	1859,86	7,08
Alto de la Blenda (ppm)	Mínimo	0,007	0,20	4,00	14,00	21,00	227,00	1	0,40
	Máximo	1,25	13,00	72,00	62,00	1860	3750	5	170
	N: 23	Promedio	0,09	1,34	19,48	23,04	180,39	1579,74	1,17
Farallón Negro (ppm)	Mínimo	0,003	0,20	3,00	13,00	24,00	91	1	0,40
	Máximo	1,04	31,00	93,00	473,00	313,00	30500	16	350
	N: 46	Promedio	0,08	2,6	21,28	48,65	106,02	1752,61	2,87
Las Pampitas (ppm)	Mínimo	0,05	0,20	6,00	15,00	7,00	16	1	0,40
	Máximo	1,06	2,00	1320	2910	6500	1040	59	52
	N: 45	Promedio	0,07	0,37	111,80	16487	268,47	347,53	8,18
La Alumbraera (ppm)	Mínimo	0,013	0,40	6,00	16,00	5,00	22	2	0,40
	Máximo	2,26	5,00	2280	580,00	395	2800	197	150
	N: 85	Promedio	0,18	0,65	243,65	35,40	42,54	332,094	20,41
El Durazno (ppm)	Mínimo	0,003	0,40	5,00	17,00	22,00	67	2	112
	Máximo	2,66	2,00	43800	990,00	570,00	11200	155	26
	N: 57	Promedio	0,18	0,60	1270	61,74	120,33	800,35	17,30

tos Cu en este factor y los elementos Pb-Mo-(Zn) del segundo factor son propios de la zona de metales base del sistema. El elemento Ag en el tercer factor no proporciona mayor información porque puede estar presente en ambas partes del sistema. Las asociaciones de elementos del primer y segundo factor se corresponden con el estadio uno de mineralización descrito por Pantorrilla (1995) y el factor tres con el estadio tres.

En el yacimiento epitermal Farallón Negro los elementos Au-Mn, Ag-Pb-As-Zn están espacialmente asociados y se agregan en forma subordinada los metales Cu-Mo (Cuadro 2c). Se extractaron tres factores. La asociación Ag-Pb con (Zn-As) del primer factor (Cuadro 3c) se corresponde con el horizonte de metales base de un sistema epitermal y los elementos Au-Mn del segundo factor con la zona de óxidos-sulfosales, por encima del nivel de ebullición (Fig. 3a). La relación negativa entre (-)Mo y (Cu) en el tercer factor (Cuadro 3c) se explica por la disminución de la solubilidad de los elementos en función de la temperatura. En la matriz de correlación que representa a las muestras del yacimiento tipo pórfido de cobre La Alumbraera (Cuadro 2d) se observa que los elementos espacialmente

asociados son Zn-Mn, Pb-Zn-Mn, Ag-Mo y Au-Cu, agregándose en forma subordinada As al grupo Pb-Zn-Mn. Tres factores representan a las variables con mayor dependencia. En el primer factor la asociación Pb-Zn-Mn (Cuadro 3d) es característica de la zona superior de un sistema tipo pórfido de cobre (propilítica) (Fig. 3b). En el segundo factor la asociación Au-Ag-Mo-(Cu) (Cuadro 3d) es representativa de la zona sericitica-potásica en el sistema de la Fig. 3b, indicado también por la relación inversa del elemento As en el tercer factor. En el yacimiento tipo pórfido de cobre Las Pampitas los grupos principales de elementos están representados por la asociación Au-Cu, Pb-Zn, a los que se agregan Ag-Mn (Cuadro 2e); los elementos Mo-As forman un grupo aparte. De estos grupos, tres factores determinan el grado de dependencia de las variables (Cuadro 3e). En el primer factor los elementos Pb-Zn se corresponden con la zona propilítica de un sistema tipo pórfido de cobre como el de la Fig. 3b. En el segundo factor los elementos Au-Cu son indicadores de la zona sericitica-potásica del sistema pórfido de cobre (Fig. 3b). No es clara la relación Mo-As en el tercer factor (Cuadro 3e), sin embargo, Rose *et al.* (1979) expresan que esta asociación se

encuentra en algunas menas y, probablemente el As esté relacionado con el sistema epitermal Alto de la Blenda hospedado en la roca intrusiva común a ambos yacimientos (Monzonita Alto de la Blenda) (Fig. 2). En el yacimiento tipo pórfido de cobre El Durazno el análisis de grupos indica que los elementos Au-Cu-Mo y Zn-Mn están espacialmente asociados, a los que se agregan en forma subordinada los elementos Pb-Ag-As (Cuadro 2f). En el primer factor la asociación Au-Cu-Mo (Cuadro 3f) es característica de la zona sericitica-potásica de un sistema tipo pórfido de cobre (Fig. 3b). En el segundo factor la asociación de elementos Zn-Mn (Cuadro 3f) nos indica que ellos están espacialmente asociados al primer factor, pero en forma subordinada, la concentración de estos elementos disminuye en profundidad en un sistema tipo pórfido de cobre y aumenta hacia la zona superior propilítica (Fig. 3b). La correlación negativa entre los elementos Ag-(-)As en el tercer factor, nos indica que ante la presencia de plata disminuye la concentración de arsénico (Cuadro 3f).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados geoestadísticos se interpretaron teniendo en mente los conocimientos geoquímicos de los modelos de sistemas hidrotermales descritos en la literatura. Rose *et al.* (1979), Levinson (1980), Cruzat (1984), Silberman y Berger (1985) y Pirajno (1992) expresaron que los minerales en el ambiente primario configuran una zonación vertical y horizontal en torno al yacimiento producto del proceso hidrotermal que les dio origen; y la zonación geoquímica del yacimiento depende de las características físico-químicas del fluido hidrotermal que está condicionado por distintos factores del sistema como ser permeabilidad, brechamiento, silicificación, fracturación, temperatura, presión, concentración de volátiles, contenido salino, etc. (Park y Mac Diarmid 1964, Skinner 1979). Consideramos que los procesos morfotectónicos, entre otros, que actuaron con posterioridad al emplazamiento de un cuerpo mineralizado, expone a éste a la superficie en un determinado nivel de su zonación geoquímica. En ese nivel de exposición

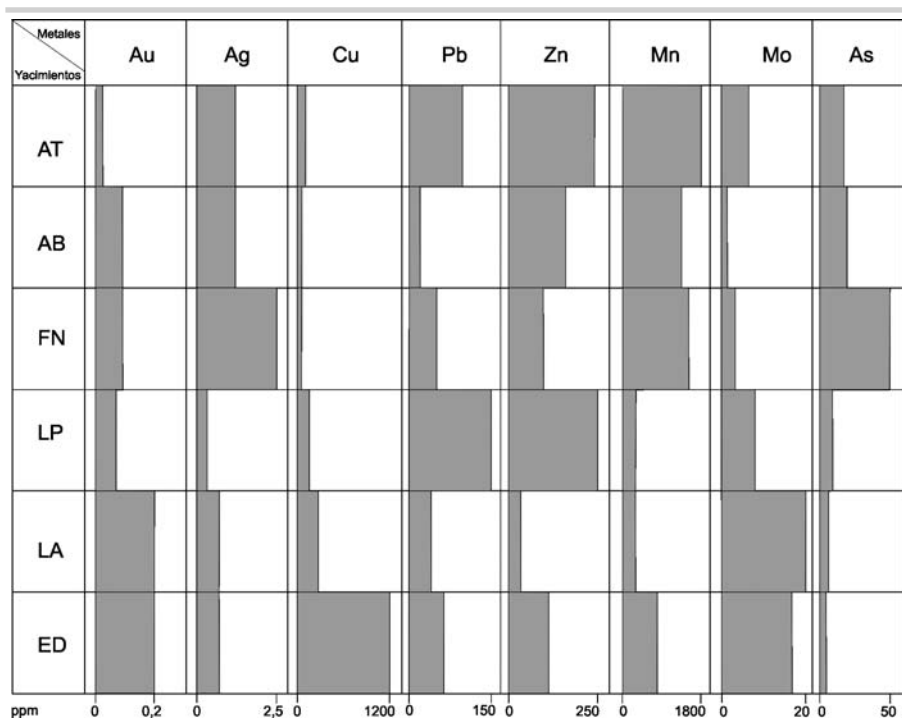


Figura 4: Esquema de la dispersión geoquímica en los sistemas hidrotermales epitermales y tipo pórfido de cobre, representado por la concentración promedio de los elementos. AT: Comprende a los epitermales de Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa, Morro Bola y el pórfido de Agua Tapada. AB: Alto de la Blenda (epitermal). FN: Farallón Negro (epitermal). LP: Las Pampitas (pórfido de cobre). LA: La Alumbraera (pórfido de cobre). ED: El Durazno (pórfido de cobre).

están presentes elementos que reflejan las condiciones físico-químicas del fluido hidrotermal y ellos forman grupos dependiendo del grado de solubilidad de cada elemento. El carácter de la zonación descrito por diferentes índices físico-químicos no cambia y éste puede ser definido por la diferencia entre especies minerales, por los distintos tipos de metales asociados, por el contenido de sulfuros, por el contenido de elementos menores y otros parámetros (Thompson 1993, Tvalchrelidze 1993).

Los métodos geoestadísticos que empleamos permiten discriminar en una población de datos a aquellos elementos que forman grupos y establecer el grado de dependencia entre ellos; esos grupos y/o factores son indicadores de un determinado nivel de la zonación del yacimiento. Gutiérrez *et al.* (2002) y Gutiérrez (2000) utilizando métodos geoestadísticos observaron que la dispersión de elementos en el distrito YMAD refleja la ubicación de los yacimientos epi-

termales (Au-Ag-As), pórfidos de cobre (Cu-Au-Mo) y las zonas periféricas de los mismos (Pb-Zn-Mn) correspondiéndose además con un patrón estructural NO y NE, respectivamente; evidenciando un orden de depositación secuencial decreciente de la solubilidad de los elementos como función de la disminución de temperatura. En un sistema hidrotermal, los sulfuros junto con los arseniuros de Fe, Ni, Co, Mo siguen secuencialmente o contemporáneos a la depositación de los óxidos (Park y Mac Diarmid 1964, Krauskopf 1967, Dana y Ford 1969). Según la teoría clásica, molibdenita, casiterita, wolframita, magnetita, ilmenita, se encuentran en el rango de temperatura de 500°-300° C; mientras que oro, galena, esfalerita, pirita, calcopirita, bornita, arsenopirita, tetrahedrita, enargita constituyen la etapa intermedia entre 300°-150° C y finalmente pirita, marcasita, estibina y cinabrio se ubican entre 150°-50° C (Dana y Ford 1969, Sawkins 1990). Los elementos

Zn, Mn, Pb, Ag, Mo, entre otros, se separan en la fase de salmuera rica en cloro, mientras que los elementos Cu, As, Au, S y otros se separan en la fase de vapor debido a la acción del HS- (Heinrich *et al.* 1999) y en general la secuencia de depositación de los sulfuros muestra que la movilidad de los metales en el fluido transportado sigue una secuencia de decrecimiento: Hg, Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Co (Barnes y Czamanske 1967, Tvalchrelidze 1993). En los yacimientos epitermales por debajo de la zona de ebullición se depositan sulfuros de metales base (Cu-Pb-Zn) y en la zona superior se depositan metales preciosos, óxidos y sulfosales de (Au y Ag-Sb-As-Hg) (Sawkins 1990, Reed y Spycher 1985, Silberman y Berger 1985) (Fig. 3a). La zonación vertical de los yacimientos tipo pórfido de cobre está caracterizada por la concentración de los elementos Cu-Mo-Au-Ag en profundidad, asociados con las zonas de alteración potásica y sericitica disminuyendo gradualmente hacia la zona superior, y por la concentración de los elementos Pb-Zn-Mn-As en la zona propilítica superior disminuyendo gradualmente hacia las zonas más profundas (Rose *et al.* 1979, Levinson 1980, Cruzat 198, Silberman y Berger 1985, Thompson 1993, Pirajno 1992) (Fig. 3b). En el distrito YMAD la dependencia de los elementos Pb-Zn-Mn y Au-Cu-Mo, espacialmente asociados, determinan zonas de menor y mayor temperatura, respectivamente, y Ag-As forma complejos con Pb-Zn-Mn indicando que el nivel de exposición del distrito YMAD corresponde a la zona media del sistema hidrotermal (Gutiérrez *et al.* 2002, Gutiérrez 2000).

No se obtiene una determinación absoluta del nivel de zonación y exposición de los yacimientos porque los elementos en el medio natural están presentes en todos los niveles de zonación y/o alteración y gradualmente disminuye la concentración de uno y otro en función de las características del fluido hidrotermal y de la solubilidad de los metales. Esto se explica mejor observando la figura 4 donde se representa la dispersión geoquímica de los elementos en los distintos yacimientos. La concentración de los elementos Au, Cu y Mo es mayor en la parte inferior de un sistema hidrotermal (tipo pórfido de cobre) disminuyendo hacia

CUADRO 2: Análisis de grupos de la muestra de rocas de los yacimientos.

a) AGUA TAPADA Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,3503218	Cu	Zn						
0,3634902	Cu	Zn	Mn					
0,3690045	Au	Ag						
0,3888827	Au	Ag	Pb					
0,4273078	Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Mn		
0,5340531	Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Mn	As	
0,8224002	Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Mn	As	Mo

b) ALTO DE LA BLENDA Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0676909	Au	As						
0,388249	Au	As	Mn					
0,4037957	Pb	Mo						
0,4141667	Pb	Mo	Zn					
0,4741451	Au	As	Mn	Pb	Mo	Zn		
0,5169424	Au	As	Mn	Pb	Mo	Zn	Cu	
0,8149043	Au	As	Mn	Pb	Mo	Zn	Cu	Ag

c) FARALLÓN NEGRO Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,2502583	Au	Mn						
0,3478186	Ag	Pb						
0,5149016	Ag	Pb	As					
0,5632724	Ag	Pb	As	Zn				
0,5954061	Au	Mn	Ag	Pb	As	Zn		
0,6368629	Au	Mn	Ag	Pb	As	Zn	Cu	
0,6814778	Au	Mn	Ag	Pb	As	Zn	Cu	Mo

d) LA ALUMBRERA Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,2753324	Zn	Mn						
0,2940228	Pb	Zn	Mn					
0,5232739	Ag	Mo						
0,5491779	Au	Cu						
0,5931721	Au	Cu	Ag	Mo				
0,843549	Pb	Zn	Mn	As				
0,875457	Au	Cu	Ag	Mo	Pb	Zn	Mn	As

e) LAS PAMPITAS Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0666308	Au	Cu						
0,0817497	Pb	Zn						
0,52714	Ag	Pb	Zn					
0,5777758	Ag	Pb	Zn	Zn				
0,592763	Mo	As		Zn				
0,6795335	Au	Cu	Ag		Zn	Mn		
0,7281353	Au	Cu	Ag	Ag	Zn	Mn	Mo	As

f) EL DURAZNO Método de unión: Enlace simple Medida de distancia: 1-Pearson r								
Distancia de enlace	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0986672	Au	Cu						
0,2613085	Au	Cu	Mo					
0,03024729	Zn	Zn						
0,6324311	Au	Au	Mo	Zn	Mn			
0,7179993	Au	Au	Mo	Zn	Mn	Pb		
0,7973279	Au	Au	Mo	Zn	Mn	Pb	Ag	
0,9022453	Au	Au	Mo	Zn	Mn	Pb	Ag	As

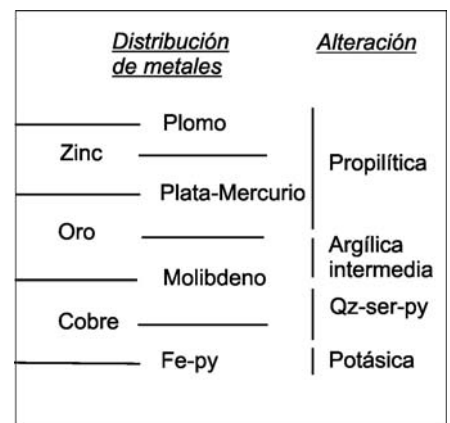
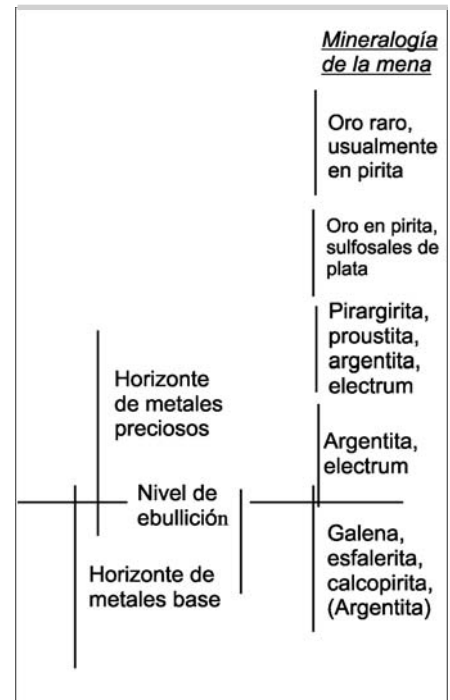


Figura 3: a) Esquema de un sistema epitermal y b) Esquema de un sistema pórfido de cobre (basado en Sawkins 1990 y Thompson 1993).

la zona superior (Fig. 4). En cambio la concentración de los elementos Ag, Pb, Zn, Mn y As es mayor en la parte más alta de un sistema hidrotermal (epitermal), disminuyendo hacia la zona inferior (Fig. 4), tal como los ejemplos citados en la literatura (Figs. 3a y b).

En el sector de Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa y Morro Bola donde están presentes manifestaciones minerales epitermales y tipo pórfido de cobre, la asociación de elementos se corresponde más

con un sistema epitermal que con un sistema pórfido de cobre. Los elementos Cu-Zn-(Au) del primer factor representan el horizonte de metales base de un sistema epitermal y los elementos Ag-Au-(Pb) del segundo factor y Mn-As-(Pb) del tercer factor a la zona de sulfosales por encima del nivel de ebullición (Cuadro 3a; Figs. 3a y 5). Sin embargo la concentración de los elementos Cu y Mo es mayor comparada con los yacimientos epitermales Alto de la Blenda y Farallón Negro (Fig. 4). Esto

sugiere un aporte extra de estos metales al sistema epitermal, probablemente relacionado con un sistema tipo pórfido de cobre en profundidad, como ha sido indicado por JICA (1987) y Alderete (1999).

Es más clara la asociación de elementos en los yacimientos epitermales Alto de la Blenda, Farallón Negro y en los tipos pórfidos de cobre La Alumbraera, Las Pampitas y El Durazno. En el yacimiento Alto de la Blenda los elementos Au-As y (Cu-Mn) en el primer factor se corresponden con la

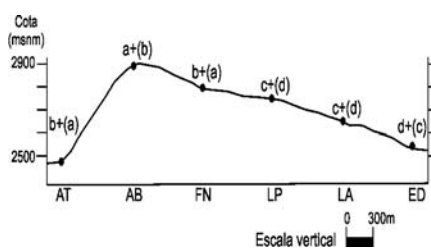


Figura 5: Esquema topográfico para indicar el nivel de exposición de cada yacimiento considerando un sistema hidrotermal como el de la figura 3 y la asociación de elementos determinada por métodos geoestadísticos. AT: Comprende a los epitermales de Agua Tapada, Santo Domingo, La Josefa, Morro Bola y el pórfido de Agua Tapada. AB: Alto de la Blenda (epitermal). FN: Farallón Negro (epitermal). LP: Las Pampitas (pórfido de cobre). LA: La Alumbarrera (pórfido de cobre). ED: El Durazno (pórfido de cobre). a: Zona de sulfosales. b: Zona de sulfuros. c: Zona propilítica. d: Zona sericitica-potásica.

zona superior del sistema epitermal (sulfosales); sin embargo, la presencia subordinada de los elementos Cu en este factor y los elementos Pb-Mo-(Zn) del segundo factor son propios de la zona de metales base del sistema (Cuadro 3b; Figs. 3a y 5). En el yacimiento Farallón Negro la asociación Ag-Pb con (Zn-As) del primer factor se corresponde con el horizonte de metales base de un sistema epitermal y los elementos Au-Mn del segundo factor con la zona de sulfosales, por encima del nivel de ebullición (Cuadro 3c; Figs. 3a y 5). Tanto en el yacimiento Alto de la Blenda como en el yacimiento Farallón Negro los elementos Cu y Mo están asociados a otros metales (Cu subordinado y Mo en la asociación principal), indicando un aporte adicional de estos metales al sistema epitermal; Sasso y Clark (1999) sugieren la presencia de un intrusivo tipo pórfido de cobre por debajo de las vetas epitermales de Alto de la Blenda. La relación inversa entre (-)Mo y (Cu) en el tercer factor en Farallón Negro se explica por la disminución de la solubilidad de los elementos en función de la temperatura, y la concentración de Mo es mayor en Farallón Negro que

CUADRO 3: Análisis de factores de las muestras de rocas de yacimientos.

a) AGUA TAPADA Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)				b) AGUA DE LA BLENDA Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Au	0,602827	0,691914	0,061813	Au	0,925777	-0,087903	0,129534
Ag	0,020741	0,946398	0,056298	Ag	0,118390	-0,062468	0,880380
Cu	0,920107	0,025774	-0,000318	Cu	0,694022	0,126224	-0,410548
Pb	0,276295	0,587799	0,623585	Pb	0,260549	0,899776	-0,037036
Zn	0,790626	0,026555	0,501488	Zn	0,050487	0,674895	-0,241673
Mn	0,355100	-0,084764	0,832478	Mn	0,625197	0,468833	0,264556
Mo	-0,024100	0,364729	0,071783	Mo	-0,092280	0,770332	0,090581
As	-0,106155	0,274274	0,776321	As	0,943987	0,080450	0,118266
Expl. Var	2,049802	1,936728	1,948486	Expl. Var	2,713678	2,112330	1,112357
Prp. Total	0,256225	0,242091	0,243523	Prp. Total	0,339210	0,264041	0,139045

c) FARALLÓN Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)				d) LA ALUMBARRERA Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Au	0,221174	0,910691	0,093042	Au	-0,029460	0,758105	-0,075637
Ag	0,802412	-0,071886	-0,071221	Ag	0,081765	0,711196	0,277645
Cu	0,381190	0,313384	0,678116	Cu	0,022994	0,656292	-0,342548
Pb	0,865210	0,005725	0,169499	Pb	0,806298	-0,042399	0,071650
Zn	0,681142	0,256092	-0,164019	Zn	0,938623	-0,069893	-0,183313
Mn	-0,028904	0,895667	-0,135857	Mn	0,831326	0,034268	0,053050
Mo	0,297483	0,356418	-0,719353	Mo	-0,133018	0,713948	0,125220
As	0,591082	0,324990	0,118528	As	0,013175	-0,043567	-0,894627
Expl. Var	2,489341	2,033222	1,079178	Expl. Var	2,248180	2,030718	1,057736
Prp. Total	0,311168	0,254153	0,134897	Prp. Total	0,281023	0,253840	0,132217

e) LAS PAMPITAS Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)				f) EL DURAZNO Factor de carga ("Varimax" normalizado) Extracción: Componentes principales (Es significativo: >0,7)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Au	0,031891	0,956905	0,057926	Au	0,960923	0,078823	0,082353
Ag	0,526212	-0,053736	0,496933	Ag	0,019832	0,168925	0,801329
Cu	0,148683	0,964961	0,072818	Cu	0,910907	-0,172197	0,097794
Pb	0,958769	0,006002	0,008543	Pb	-0,181629	0,420491	-0,043255
Zn	0,928492	0,84009	-0,088082	Zn	0,135527	0,919708	0,087881
Mn	0,515544	0,331324	0,023149	Mn	0,242186	0,815324	-0,057829
Mo	-0,056455	0,278244	0,773762	Mo	0,847374	0,213621	-0,041155
As	-0,013636	-0,071236	0,823677	As	-0,056344	0,166889	-0,634845
Expl. Var	2,350516	2,049066	1,541118	Expl. Var	2,584748	1,82536	1,076135
Prp. Total	0,293814	0,256133	0,192640	Prp. Total	0,323093	0,228165	0,13417

en Alto de la Blenda (Fig. 4). En el yacimiento La Alumbarrera los elementos del primer factor (Pb-Zn-Mn) son característicos de la zona propilítica de un sistema tipo pórfido de cobre y los elementos Au-Ag-Mo-(Cu) del segundo factor de la zona sericitica-potásica (Cuadro 3d y Fig. 5); la concentración de As es menor en la zona inferior de un sistema tipo pórfido de cobre como lo indica la relación inversa de este elemento en el tercer factor (Cuadro

3d). En el yacimiento Las Pampitas los elementos Pb-Zn en el primer factor se corresponden con la zona propilítica de un sistema tipo pórfido de cobre y en el segundo factor los elementos Au-Cu son indicadores de la zona sericitica-potásica del sistema (Cuadro 3e; Figs. 3b y 5). Probablemente el As esté relacionado con el sistema epitermal Alto de la Blenda; en la figura 4 se observa que la concentración de este elemento y de los elementos Pb-Zn es mayor

que en los yacimientos tipo pórfidos de cobre La Alumbraera y El Durazno. En el yacimiento El Durazno, en el primer factor la asociación Au-Cu-Mo es característica de la zona sericitica-potásica de un sistema tipo pórfido de cobre y la asociación Zn-Mn del segundo factor de la zona superior propilítica (Cuadro 3f; Figs. 3b y 5). La correlación inversa de los elementos Ag(-As) en el tercer factor (Cuadro 3f) se refleja también en la figura 4 (la concentración de Ag es mayor que la de As).

En los yacimientos epitermales Alto de la Blenda, Farallón Negro y en el sector de Agua Tapada se han determinado las zonas de alteración sericitica y propilítica, presentándose además argilización en Alto de la Blenda y Farallón Negro (JICA 1987, Pantorrilla 1995, Sasso 1997, Alderete 1999, Sasso y Clark 1999). En los yacimientos tipo pórfidos de cobre Agua Tapada, La Alumbraera, Las Pampitas y El Durazno se determinaron las zonas de alteración potásica, sericitica y propilítica (González 1975, Godeas y Svetliza 1980, Suchomel 1983, Allison 1986, JICA 1987, Sasso 1997, Alderete 1999, Sasso y Clark 1999, Angera 1999). Los métodos geoestadísticos que utilizamos permiten determinar los niveles de exposición de los yacimientos a partir de la asociación de elementos, no con el grado de precisión que se determinan las zonas de alteración con los métodos convencionales, pero los resultados contrastan, a grandes rasgos, con las observaciones y determinaciones realizadas por otros autores.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina), al Programa de Magíster de la Universidad Católica del Norte (Antofagasta, Chile) y a la empresa YMAD (Argentina). Nuestro agradecimiento también a la colaboración del Dr. Nelson Guerra S., Dr. Shoji Kojima y Lic. Mario C. Alderete. Las correcciones y sugerencias de los árbitros contribuyeron a mejorar sustancialmente este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Alderete, M. C. 1999. Bajo El Durazno, Catamarca. En Zapettini, E.O. (ed.) Recursos

- Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1463-1466, Buenos Aires.
- Alderete, M. C. 1999. Prospecto Minero Las Pampitas, Catamarca. En En Zapettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1467-1470, Buenos Aires.
- Alderete, M. C. 1999. Bajo de Agua Tapada, Catamarca. En En Zapettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1475-1478, Buenos Aires.
- Angera, J. A. 1999. Mina Bajo de la Alumbraera, Catamarca. En En Zapettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1451-1461, Buenos Aires.
- Allison, A. E. 1986. The Geology of the Bajo El Durazno Porphyry Copper-Gold Prospect, Catamarca Province, Argentina. University of Arizona, M.Sc. Dissertation (inédita) 167 p., Tucson.
- Barnes, H. L. y Czamanske, G. K. 1967. Solubilities and transport of Ore Minerals. En Barnes, H. L. (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, John Wiley & Sons: 335-378.
- Cruzat, A. 1984. Prospección Geoquímica Aplicada a Yacimientos de Oro. Revista Geológica de Chile 21: 3-10.
- Dana, E. S. y Ford, W. E. 1969. Tratado de Mineralogía. Compañía Editorial Continental S. A., 912 p.
- Godeas, M. C. y Svetliza S., S. J. de 1980. Alteración hidrotermal y mineralización en el Bajo La Alumbraera, provincia de Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35(3): 318-331.
- González, O. E. 1975. Geología y alteración en el cobre porfídico Bajo La Alumbraera, República Argentina. Segundo Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 2: 247-270, Buenos Aires.
- Gutiérrez, A. A. 2000. Dispersión Geoquímica Primaria y Metalogénesis de Depósitos Tipo Pórfido Cuprífero y Epitermal, Distrito Minero Agua de Dionisio, Argentina. Universidad Católica del Norte, Tesis de Magíster (inédita), 131p., Antofagasta.
- Gutiérrez, A. A., Guerra S., N. y Alderete, M. C. 2002. Zonación geoquímica del distrito mine-ro Agua de Dionisio (YMAD), Argentina. 11° Congreso Peruano de Geología, 15 p.
- Heinrich, C. A., Günther, D., Audétat, A., Ulrich, T. y Frischknecht, R. 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions. *Geology* 27(8): 755-758.
- Henley, R. W. y Berger, B. R. 1993. What is an Exploration Model Anyway? – An Analysis of the Cognitive Development and Use of Models in Mineral Exploration. En Kirkham, R. V., W. D. Sinclair, R. I. Thorpe y J. M. Duke (eds.) Mineral Deposit Modeling, GAC Special Paper 40: 32-41.
- JICA–MMAJ 1987. Informe sobre Exploración de Minerales del área de Alto de la Blenda, República Argentina. Fase I. YMAD (inédito) 166 p., Catamarca.
- Krauskopf, K.B. 1967. Source Rocks for Metal-Bearing Fluids. En Barnes H. L. (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: 1-33.
- Lepeltier, C. 1969. A Simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology* 64: 538-550.
- Levinson, A. A. 1980. Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd. Wilmette, 924 p., Illinois.
- Llambías, E. J. 1970. Geología de los Yacimientos Mineros Agua de Dionisio, provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista A. M. P. S.* 1(1-2): 2-32.
- Malvicini, L. y Llambías, E. J. 1963. Mineralogía y origen de los minerales de manganeso y sus asociados en Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos; Hualfin, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18(3-4): 177-200.
- Pantorrilla, A. V. 1995. Estudio Mineralógico y Metalogénico del Complejo Vetiforme Alto de la Blenda, su aplicación en el beneficio de los elementos oro y plata. Distrito Hualfin-departamento Belén, Catamarca. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán (inédita) 366 p., Tucumán.
- Park, C. F. y Mac Diarmid, R. A. 1964. Ore Deposits. Gilluly J., y A. O. Wood-ford (Eds). Freeman Co. San Francisco, 475 p.
- Pirajno, F. 1992. Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. Springer-Verlag, 709 p., Berlín Heidelberg.
- Reed, M. H. y Spycher, N. F. 1985. Boiling, Cooling, and Oxidation in Epithermal

- Systems: a Numerical Modeling Approach. En Berger, B. R. and P. M. Bethke (eds.) *Geology and Geochemistry of epithermal Systems*, Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology* 2: 249-272.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. y Webb, J. S. 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press Inc., Second Edition, 657 p., London.
- Saager, R. y Sinclair, A. J. 1974. Factor analysis of stream sediment geochemical data from the Mount Nansen Area, Yukon Territory, Canada. *Mineral Deposita* 9: 243-252.
- Sasso, A. M. 1997. *Geological Evolution and Metallogenetic Relationships of the Farallón Negro Volcanic Complex, NW Argentina*. Queen's University, Kingston, Ontario, Canadá. Tesis Doctoral (inédita) Volúmenes 1 y 2, 842 p.
- Sasso, A. y Clark, A. 1999. El Grupo Farallón Negro: evolución magmática, hidrotermal y tectónica e implicancias para la metalogenia de cobre-oro en el retroarco andino, Catamarca. En Zapettini, E.O. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, *Anales* 35: 1437-1450, Buenos Aires.
- Sawkins, F. J. 1990. *Metal deposits in relation to plate tectonics*. 2nd Ed., Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg, New York. 461 p.
- Siegel, F. R. 1992. *Geoquímica aplicada*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía 35: 166 p., Washington, D. C.
- Silberman, M. L. y Berger, R. B. 1985. Relationship of Trace-Element Patterns to Alteration and Morphology in Epithermal Precious-Metal Deposits. En Berger, B. R. y Bethke, P. M. (eds.) *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*, Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology* 2: 203-232.
- Sillitoe, R. H. 1991. Gold Metallogeny of Chile an-Introduction. *Economic Geology* 86: 1187-1205.
- Sinclair, A. J. 1974. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration* 3: 129-149.
- Skinner, B. J. 1979. The Many Origins of Hydrothermal Mineral Deposits. 2nd Edition, pp. 1-21. in H. L. Barnes (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley, New York.
- Suchomel, B. J. 1983. An economic geologic evaluation of the Bajo de Agua Tapada base and precious metal prospect, Catamarca province, Argentina. United Nation Development Program, (inédito) 48 p., New York.
- Thompson, J. F. H. 1993. Application of Deposit Models to Exploration. En *Mineral Deposit Modeling*, Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe R. I., y Duke, J. M. (eds.) GAC Special Paper 40: 42-51.
- Tvalchrelidze, A.G. 1993. Quantitative Models of Vein-type Ore Deposits and a Theory of Rhythmical Zoning. En Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R. I. y Duke, J.M. (eds.) *Mineral Deposit Modeling*, AC Special Paper 40: 751-760.
- Vila, T. y Sillitoe, R. H. 1991. Gold-rich Porphyry Systems in the Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology* 86: 1238-1260.

Recibido: 24 de octubre, 2005

Aceptado: 9 de marzo, 2006