

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/262747711>

# La zona de alteración Arroyo La Chilca–Zanjón del Buitre, bloque de San Rafael, Mendoza

Article in *Revista de la Asociacion Geologica Argentina* · June 2012

CITATIONS

4

READS

35

3 authors:



**Nora Rubinstein**

University of Buenos Aires

72 PUBLICATIONS 438 CITATIONS

SEE PROFILE



**Anabel Gómez**

University of Buenos Aires

13 PUBLICATIONS 31 CITATIONS

SEE PROFILE



**Hugo Mallimacci**

Servicio Geológico Minero Argentino

5 PUBLICATIONS 25 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



genesis of porphyry copper deposits [View project](#)

All content following this page was uploaded by [Nora Rubinstein](#) on 01 December 2014.

The user has requested enhancement of the downloaded file. All in-text references [underlined in blue](#) are added to the original document and are linked to publications on ResearchGate, letting you access and read them immediately.

# LA ZONA DE ALTERACIÓN ARROYO LA CHILCA-ZANJÓN DEL BUITRE, BLOQUE DE SAN RAFAEL, MENDOZA

Nora RUBINSTEIN<sup>1</sup>, Anabel GÓMEZ<sup>1</sup> y Hugo MALLIMACCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CONICET-Universidad de Buenos Aires. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pabellón 2, Ciudad Universitaria. C.A.B.A., e-mail: nora@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup> Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Mendoza.

## RESUMEN

La zona de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre está ubicada en el bloque de San Rafael (35°24'8" S; 68°19'25,8" O), Mendoza. Estudios previos definieron preliminarmente que corresponde a un sistema de tipo pórfiro cuprífero vinculado genéticamente al magmatismo gondwánico. Esta área de alteración se desarrolla en una secuencia compuesta por brechas ignimbríticas e ignimbritas traquiandesíticas con intercalaciones de areniscas tobáceas y coladas andesíticas a las que intruyen cuerpos subvolcánicos andesíticos y traquiandesítico-dacíticos. La litología de la secuencia volcánica así como sus características geoquímicas confirman su correlación con la sección inferior del ciclo magmático Choiyoi (Pérmico inferior). El área de alteración presenta una zona potásica con una asociación compuesta por feldespatos potásico-cuarzo-magnetita. A ésta se superpone alteración filica con una asociación de cuarzo-muscovita-pirita-(rutilo) acompañada por venillas de cuarzo-pirita. Por último se reconoce una carbonatación tardía. En las proximidades de la zona de alteración afloran vetillas con mineralización de pirita-calcopirita-galena-esfalerita en ganga de cuarzo. La geoquímica de metales indica moderadas anomalías de Ag y Au y pequeñas anomalías de Cu, Mo, Pb y Zn. El análisis estadístico permite definir la existencia de un pulso mineralizante de Cu-Mo y un segundo pulso de Mo reconocido solamente en Zanjón del Buitre. Asimismo se definen dos pulsos de Zn, uno de los cuales estaría genéticamente vinculado al Cu.

**Palabras clave:** *Alteración hidrotermal, Geoquímica de metales, Pórfiro cuprífero, Sección inferior ciclo magmático Choiyoi, Bloque de San Rafael.*

## ABSTRACT

*The Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre alteration zone, San Rafael Massif, Mendoza.*

The Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre alteration zone is located in the San Rafael Massif (35°24'8" S; 68°19'25,8" W), Mendoza. Previous works defined preliminary this deposit as a porphyry copper system genetically linked to the gondwanan magmatism. This alteration zone is hosted by a sequence composed of ignimbritic breccias and ignimbrites of trachyandesitic composition with interbedded tuffaceous sandstones and andesitic lavas flows intruded by trachyandesitic and andesitic hypabyssal bodies. The lithology and geochemistry of the volcanic sequence confirm the link with the Choiyoi Magmatic Cycle lower section (Lower Permian). The alteration zone consists of a potassic halo with a paragenesis of K-feldspar-quartz-magnetite overprinted by phyllic alteration with an assemblage of quartz-muscovite-pyrite-(rutile) and quartz-pyrite veins. A late carbonatization process overprints both the potassic and phyllic alteration. Outside the alteration zone pyrite-chalcopirite-galena-sphalerite veins with quartz gangue crop out. Metals geochemistry shows moderate Ag and Au anomalies and little Cu, Mo, Pb and Zn anomalies. Statistical analyses allow defining one Cu-Mo mineralizing stage and another Mo mineralizing stage only recognized in Zanjón del Buitre. Moreover, two Zn mineralizing stages, one of them probably genetically related to the Cu stage, were also recognized.

**Keywords:** *Hydrothermal alteration, Metals geochemistry, Porphyry copper, Choiyoi Magmatic Cycle lower section, San Rafael Massif.*

## INTRODUCCIÓN

El área de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre está localizada aproximadamente 110 km al sur de la ciudad de San Rafael (35°24'8" S; 68°19'25,8" O), bloque de San Rafael, provincia de Mendoza, Argentina (Fig. 1). La zona de alteración, ubicada aproximadamente 7,5 km

al SE del pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro (Delpino *et al.* 1993, Gómez y Rubinstein, 2010a), está expuesta sólo en las quebradas homónimas y abarca una extensión máxima de aproximadamente 1 km, afectando rocas volcánicas pertenecientes al ciclo magmático Choiyoi, de edad gondwánica. Este ciclo magmático se divide en una sección inferior (pérmica inferior)

con una geoquímica típica de ambiente de subducción y una superior (pérmica superior) con características transicionales entre un ambiente de subducción y uno de intraplaca continental (Llambías *et al.* 1993, Kleiman y Japas 2009 y referencias allí citadas).

Los principales depósitos minerales del bloque de San Rafael han sido genética-

mente vinculados al magmatismo gondwánico (Carpio *et al.* 2001, Rubinstein *et al.* 2004). Vinculadas a la sección inferior del ciclo magmático Choiyoi se encuentran mineralizaciones de tipo pórfiro de Cu-(Mo) (Delpino *et al.* 1993, Rubinstein *et al.* 2000 y 2002, Gómez y Rubinstein, 2010 a y b, entre otros) en tanto que a la sección superior se relacionan depósitos interpretados como pórfiros de Mo (Delpino, 1997, Carpio *et al.* 2001) y sistemas epitermales de baja sulfuración (Rubinstein y Gargiulo, 2005 y Gargiulo *et al.* 2007). Los primeros antecedentes del área de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre corresponden a los trabajos de prospección realizados por la Secretaría de Minería en el marco del Plan Mendoza (Lavandaio 1979) los cuales comprendieron el mapeo y muestreo geoquímico y petro-mineralógico del sector de interés. A partir de los resultados obtenidos, Lavandaio (1979) concluye que se trata de una mineralización de Pb-Ag-Zn con carácter intermedio entre epitermal y mesotermal cuya edad es incierta. Trabajos metalogénicos posteriores, focalizados particularmente en el estudio de las alteraciones hidrotermales (Rubinstein *et al.* 2000 y Carpio *et al.* 2001), permitieron concluir de forma preliminar que correspondería a un sistema de tipo pórfiro cuprífero de probable vinculación genética con el ciclo magmático Choiyoi.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a la caracterización metalogénica del sistema hidrotermal que dio origen al área de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre sobre la base de nueva información geológica, petro-mineralógica y geoquímica.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

En el área de estudio se reconoce una secuencia homoclinal de Az 125° e inclinación 62° al NE compuesta por ignimbritas, rocas epiclásticas y coladas andesíticas con intrusiones de cuerpos andesíticos, todos ellos asignados al Grupo Cochicó, de edad pérmica inferior (Sepúlveda *et al.* 2007) perteneciente a la sección inferior del ciclo magmático Choiyoi. Esta suce-

sión volcánico-sedimentaria está cubierta por mantos de basaltos plioceno-pleistocenos del Grupo Chapúa (Sepúlveda *et al.* 2007).

La secuencia de rocas piroclásticas (Fig. 1) está constituida por brechas ignimbríticas masivas con aproximadamente 25% de fragmentos líticos de hasta 30 centímetros que corresponden a volcanitas porfíricas con variable grado de cloritización y bancos de ignimbritas masivas con muy escasos fragmentos líticos milimétricos las que hacia sus techos desarrollan fina lajosidad. Las ignimbritas están constituidas por cristaloclastos de feldespatos (dentro de los cuales se reconoce plagioclasa), cuarzo, biotita y anfíbol, muy escasos vitroclastos recristalizados y como mineral accesorio apatita, inmersos en una matriz felsítica a microgranosa compuesta por cuarzo y feldespato alcalino.

Intercalados en la secuencia piroclástica, se reconocen paquetes de areniscas tobáceas finamente bandeadas que constituyen bancos de hasta 20 centímetros. Las areniscas son de color gris con tonalidad rosada, tienen textura clasto-sostén y están compuestas principalmente por feldespato alcalino y plagioclasa y en menor proporción cuarzo, escasa biotita y anfíbol (?), apatita y circón como accesorios y fragmentos líticos de volcanitas e ignimbritas, todos ellos inmersos en una matriz sericítico-arcillosa. Presentan moderada alteración carbonática a la que se asocian óxidos de Fe y Ti, epidoto y clorita.

Por debajo de la secuencia piroclástica e intercaldos en ella se encuentran niveles de coladas andesíticas con desarrollo local de autobrechamiento (Fig. 1). Tienen color morado y verde, textura porfírica y están compuestas por fenocristales de plagioclasa y escasos minerales máficos –probablemente anfíboles– completamente alterados inmersos en una pasta pilotáxica. Presentan moderada propilitización penetrante y en venillas con una asociación de minerales de alteración constituida por clorita, carbonato, epidoto, sericita y escasa titanita.

Las piroclastitas están intruidas por numerosos diques de Az  $\approx$  60°, 90° y 120° (Fig. 1) que alcanzan hasta 10 metros de

potencia. Se caracterizan por la presencia de fenocristales de feldespato centimétricos inmersos en una pasta afanítica de color castaño con tonalidad rosada. Están compuestos por abundantes fenocristales de feldespato potásico y plagioclasa con biotita subordinada, escasos cuarzo y anfíbol, abundante apatita y una pasta felsítica a microgranosa de composición cuarzo-feldespática. Incluyen xenolitos de ignimbritas y exhiben moderada silicificación y alteración sericítico-arcillosa e incipiente carbonatización.

En las cabeceras del Arroyo La Chilca, intruyendo a la secuencia piroclástica, aflora un pequeño cuerpo andesítico de color gris con alteración feldespática y textura porfírica compuesto por fenocristales de plagioclasa y minerales máficos completamente alterados inmersos en una pasta cuya textura se encuentra obliterada por la alteración.

Por último, extensos mantos de basaltos pertenecientes al Grupo Chapúa cubren los depósitos paleozoicos rellenando paleovalles (Fig. 1). Tienen textura porfírica a glomeroporfírica con fenocristales de plagioclasa, olivina y anfíbol y una pasta pilotáxica afieltrada con abundante vidrio intersticial y cristales de minerales opacos. Por debajo de estos basaltos afloran niveles de travertino que alcanzan hasta 3 metros de espesor los cuales presentan impurezas de óxidos de Fe y Mn.

## GEOQUÍMICA

Los resultados de los análisis químicos realizados en muestras de ignimbritas y diques del área de estudio se presentan en el cuadro 1. Con el fin de compararlas con rocas de otras áreas mineralizadas del bloque de San Rafael se incluyeron datos geoquímicos de rocas pertenecientes a la sección inferior (Pórfiros de Cu-(Mo) El Infiernillo y San Pedro) y superior (depósito epitermal Don Sixto, ex-La Cabeza) del ciclo magmático Choiyoi.

Según el diagrama de Winchester y Floyd (1977) las ignimbritas tienen composición traquiandesítica en tanto que el dique se ubica en el límite de las traquiandesitas-dacitas. (Fig. 2a). El diagrama mul-

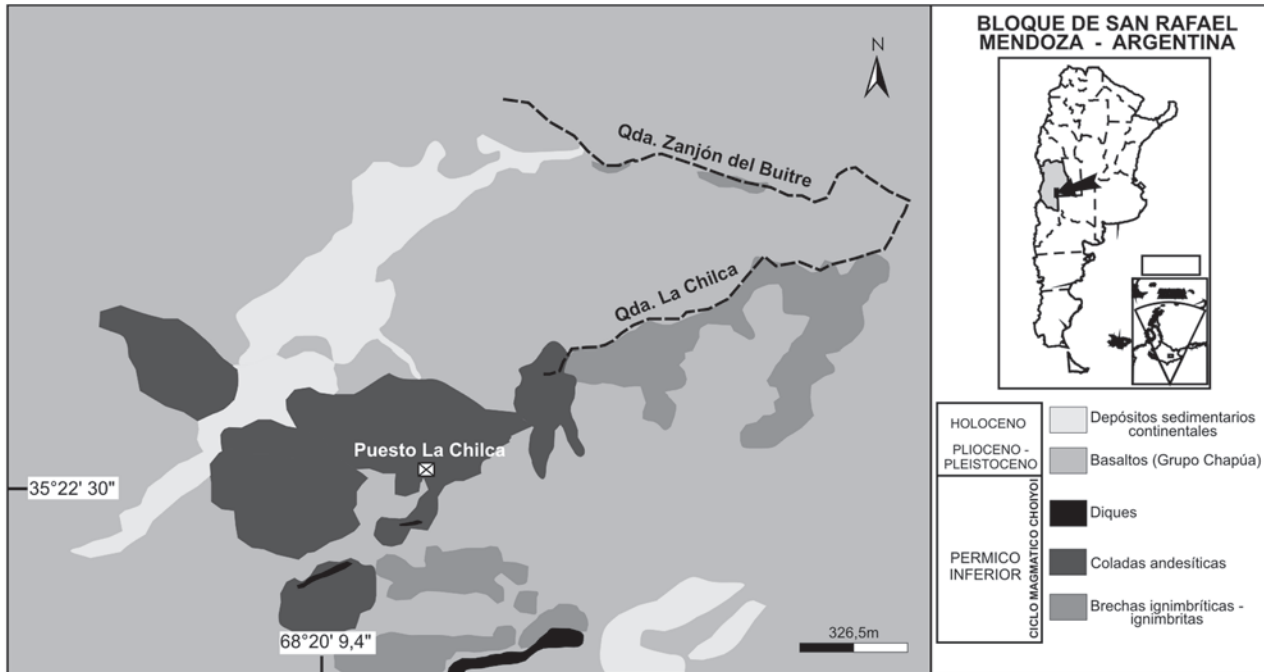


Figura 1: Ubicación y geología del área de estudio.

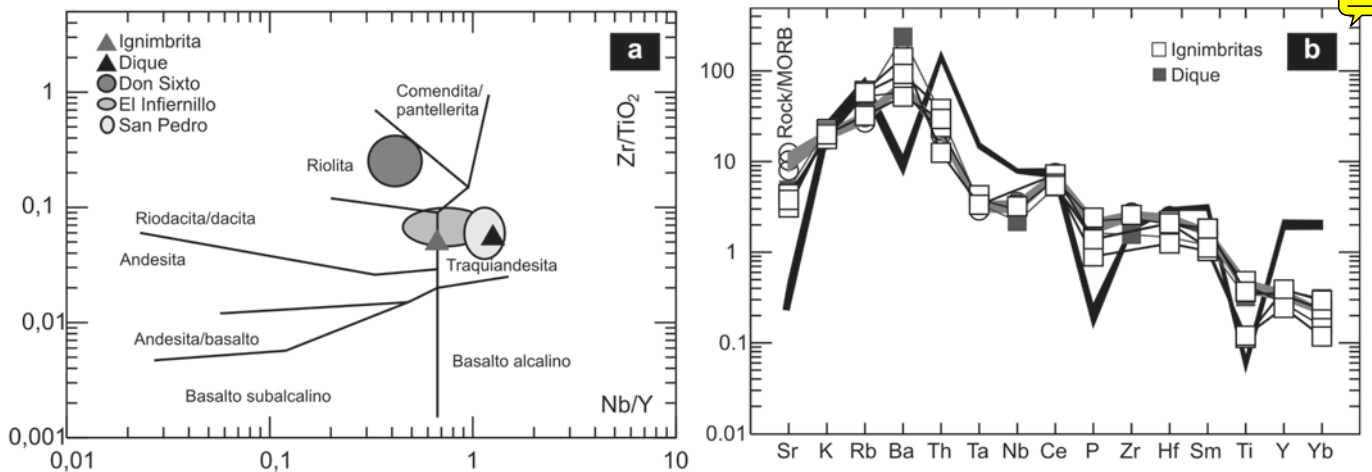


Figura 2: a) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas de Winchester y Floyd (1977). Las áreas sombreadas representan muestras pertenecientes a la sección inferior y superior del Ciclo magmático Choyoi. b) Diagrama multielemento normalizado a Pearce (1983). El área sombreada en gris oscuro representa las pertenecientes a la sección inferior del Ciclo magmático Choyoi en tanto que el área sombreada en negro representa rocas de la sección superior del Ciclo magmático Choyoi.

tiemento es similar para todas las rocas analizadas, con un patrón aserrado de pendiente negativa que muestra enriquecimiento relativo en LILE (elementos litófilos de gran radio iónico) y marcados valles en Nb, Ta, Ti y P (Fig. 2b), los que constituyen rasgos típicos de rocas de ambientes de subducción. Se registran altas relaciones La/Yb (27,62 a 60,96) y La/Sm (5,67 a 8,18) lo cual sugiere que los magmas se emplazaron en una corteza engrosada con posible fraccionamiento de gra-

nate. El patrón general del diagrama es similar al de volcanitas de la sección inferior del ciclo magmático Choyoi provenientes de otras áreas mineralizadas del bloque de San Rafael (Fig. 2b).

### ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN

La zona de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre conforma fajas de rum-

bo general N 50° E e inclinación 63° NE que alcanzan un ancho máximo de 20 metros y se distinguen por la coloración ocre amarillenta resultado de una fuerte decoloración y oxidación (Fig. 3a). Fajas menores de similar actitud y características, las cuales no superan los 0,5 metros de potencia, han sido reconocidas en áreas aledañas.

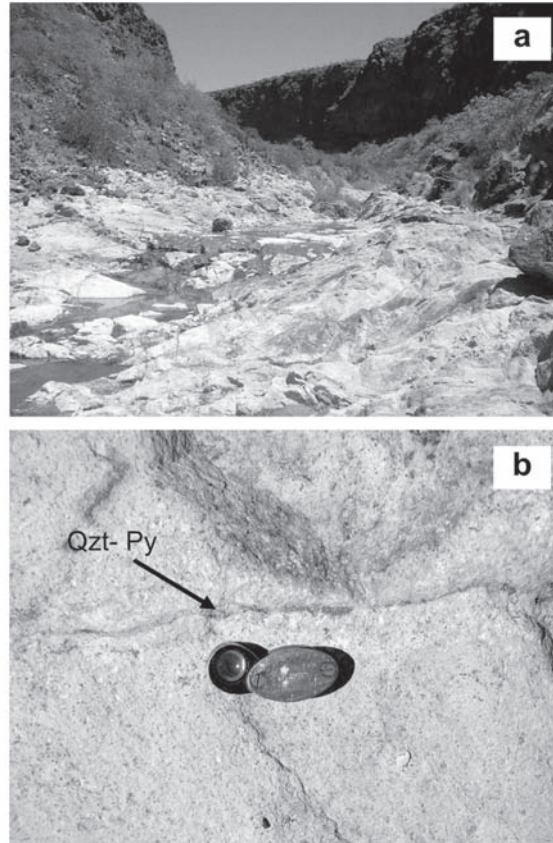
La zona de alteración se caracteriza por una alteración fílica penetrante muy fuerte acompañada de venillas de cuarzo-

**CUADRO 1:** Análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios (%) y trazas (ppm).

Muestra	La Chilca - Zanjón del Buitre				San Pedro							El infernillo							Don Sixto		
	LCH5*	LCH10*	86015†	86017†	CSP093	CSP0913	CSP095	CSP096	M11	M13	M15	M22	EP82	EPI04	CM101	CM106					
Litología	Dique dacítico	Ignimbritas	Ignimbritas	Porfiro monzodiorítico	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Ignimbritas dacíticas	Diques riolíticos	Riolitas	Riolitas	Riolitas					
SiO <sub>2</sub>	62,46	60,03			63,01	58,99	15,71	15,68	68,80	69,11	78,72	77,08	78,03	78,81	77,19	77,5					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,70	16,26			16,90	18,07	4,28	4,44	14,14	15,30	8,99	11,36	12,00	12,56	13,63	12,22					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	3,95	4,65			4,32	5,70	0,11	0,07	2,70	2,94	2,96	2,27	0,98	0,37	1,22	0,98					
MnO	0,10	0,09			0,07	0,09	0,11	0,07	0,11	0,10	0,01	0,00	0,02	0,005	0,012	0,03					
MgO	1,62	1,38			1,36	1,52	0,53	0,44	0,39	0,30	0,32	0,51	0,07	0,07	0,40	0,04					
CaO	3,82	4,04			3,66	4,73	4,31	5,75	3,30	1,46	0,08	0,19	0,58	0,24	0,17	0,64					
Na <sub>2</sub> O	3,37	3,01			4,98	4,89	4,44	4,42	2,67	3,01	0,10	0,21	3,90	4,97	1,52	3,21					
K <sub>2</sub> O	3,50	3,09	2,66	3,17	2,98	2,64	2,23	2,30	3,05	3,82	3,24	3,75	3,97	2,73	5,47	4,88					
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,66	0,55	0,17	0,56	0,72	0,54	0,57	0,36	0,38	0,41	0,28	0,08	0,093	0,04	0,09					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,27	0,17	0,17	0,22	0,27	0,21	0,23	0,15	0,19	0,02	0,10	0,02	0,03	0,04	0,02					
LOI	4,80	6,26			2,73	1,66	5,83	6,55	4,74	3,05	4,12	2,73	1,20	0,95	1,94	0,92					
V	72,00	74,00	97,00	47,00	58,00	83,00	63,00	61,00	40,00	40,00	34,00	31,00	2,00	9,00	17,00	2,00					
Ba	4722,00	1171,00	2810,00	1850,00	1359,00	1421,00	1611,00	1254,00	745,00	943,00	627,00	296,00	159,00	216,00	762,00	84,00					
Sr	583,00	479,00	524,00	374,00	1494,00	1231,00	470,00	478,00	315,00	244,00	12,00	19,00	28,00	57,00	39,00	21,00					
Y	11,40	8,20	10,00	11,60	10,50	11,00	9,70	10,30	10,00	11,00	12,00	6,00	66,00	55	29	41					
Zr	141,00	213,00			246,00	211,00	193,00	195,00	139,00	143,00	171,00	112,00	155,00	173	253	164					
Ga	20,00	24,00			23,00	26,00	23,00	22,00	23,00	23,00	17,00	24,00	20,00	21	18	17					
Ge	1,10	1,00			1,40	1,20	1,20	1,10	1,00	2,00	1,00	3,00									
Rb	99,00	104,00	120,00	115,00	62,00	54,00	52,00	52,00	120,00	122,00	110,00	154,00	164,00	115,00	173,00	149,00					
Nb	7,60	10,30			11,80	12,50	10,70	10,90	7,00	7,00	7,00	5,00	28,00	27	14	15					
Cs	5,00	7,90	12,00		8,00	4,50	5,60	8,50	11,20	8,00	1,60	1,50	1,20	1,90	3,50	1,60					
La	29,00	31,70	34,00	27,30	35,30	37,50	30,90	31,50	29,50	30,00	39,50	20,50	34,00	33,90	38,30	35,80					
Ce	52,30	64,00	72,00	57,00	69,90	74,60	61,30	62,70	62,30	63,10	79,80	43,90	81,10	68,10	50,60	82,40					
Pr	5,88	7,67			8,27	8,95	7,25	7,44	6,98	7,02	8,77	5,02	10,10	9,68	8,02	9,82					
Nd	22,40	30,40	162,00	127,00	28,20	31,10	25,30	25,70	26,10	26,30	31,90	18,80	38,00	36,30	29,90	36,20					
Sm	3,94	5,44	6,00	3,40	5,12	5,75	4,88	5,00	4,50	4,40	5,50	3,20	10,70	9,90	5,10	8,60					
Eu	1,06	1,46	1,50	0,60	1,40	1,74	1,40	1,42	1,26	1,22	1,42	0,89	0,15	0,22	0,29	0,16					
Gd	2,83	3,62			3,33	3,69	3,33	3,49	3,10	3,20	3,80	2,20	8,90	8,1	3,8	6,8					
Tb	0,39	0,43			0,44	0,48	0,43	0,45	0,40	0,40	0,50	0,30	2,00	1,80	0,70	1,30					
Dy	2,11	1,99			2,05	2,21	1,89	2,05	2,10	2,10	2,50	1,20	11,70	10,20	4,60	7,70					
Ho	0,38	0,29			0,33	0,35	0,30	0,33	0,40	0,40	0,40	0,20	2,50	2,10	1,00	1,60					
Er	1,07	0,73			0,82	0,91	0,76	0,82	1,00	1,00	1,20	0,60	7,00	6,10	3,10	4,50					
Tm	0,16	0,09			0,11	0,13	0,11	0,11	0,15	0,15	0,18	0,09	1,21	1,06	0,54	0,76					
Yb	1,05	0,52	0,80	1,00	0,73	0,78	0,66	0,67	1,00	0,90	1,20	0,60	7,40	6,30	3,40	4,60					
Lu	0,16	0,07	0,31	0,13	0,11	0,12	0,10	0,10	0,15	0,15	0,18	0,08	1,04	0,88	0,52	0,65					
Hf	3,50	4,90	5,00	3,00	6,00	5,40	4,90	5,00	4,00	3,90	4,60	3,10	7,20	2,70	7,40	6,10					

La Chilca - Zanjón del Buitre		San Pedro				El Infiernillo				Don Sixto							
Muestra	LCH5*	86010*	86015†	86017†	CSP093	CSP0913	CSP095	CSP096	M11	M13	M15	M22	EP82	EP104	CM101	CM106	
Litología	Dique dacítico	Ignimbritas				Porfiro monzodiorfítico				Ignimbritas dacíticas				Diques riolíticos			
Ta	0,62	0,60	35,00	117,00	0,63	0,62	0,58	0,57	0,60	< 1	0,70	0,50	2,80	2,60	1,20	1,40	
W				59,00	0,70	0,70	1,00	0,60	< 1	< 1	1,00	2,00					
TI	0,80	1,08			0,10	0,24	0,49	0,45	1,10	1,30	1,00	1,20	0,80	1,00	0,80	0,40	
Th	6,67	4,40	2,50	7,60	4,36	3,92	3,74	3,67	6,60	7,60	6,40	3,90	30,00	28,00	18,40	17,60	
U	2,76	1,24	1,70	3,60	2,35	1,83	1,91	1,48	6,30	2,10	1,80	1,70	9,50	6,60	3,70	5,10	
Σ REE	122,73	148,41	276,61	216,93	156,12	168,31	138,60	141,78	138,94	140,34	176,85	97,58	215,80	194,64	149,87	200,89	
La/Yb	27,62	60,96	42,50	27,80	48,36	48,08	46,82	47,01	29,50	33,33	32,92	34,17	4,59	5,38	11,26	7,78	
La/Sm	7,36	5,83	5,67	8,18	6,89	6,52	6,33	6,30	6,56	6,82	7,18	6,41	3,18	3,42	7,51	7,51	

Análisis realizados por los métodos de ICP e ICP/MS (Induced Coupled Plasma/ Mass Spectrometry) e ICP e INAA (Neutron Activation Analysis) en los laboratorios de Actlabs (Canadá). Muestras tomadas de Gómez y Rubinstein 2011 (San Pedro), Gómez y Rubinstein, 2010b (El Infiernillo) y Magas Lobos *et al.*, 2010 (Don Sixto).



**Figura 3:** a) Vista de Arroyo La Chilca mostrando las coloraciones amarillas y ocres que la caracterizan. b) Detalle de una venilla D (cuarzo-pirita) en Arroyo La Chilca.

pirita (Fig. 3b) las cuales en Arroyo La Chilca tienen rumbo predominante NO y NE mientras que en Zanjón del Buitre son subparalelas y de rumbo NE. La asociación hidrotermal está compuesta por cuarzo-sericita (identificada como muscovita 2M por difracción de rayos X)-pirita-(rutilo). Superpuesta a la alteración filica se observa una suave a moderada carbonatización penetrante y en venillas. En forma muy localizada se reconoce alteración potásica, tanto relictica por debajo de la alteración filica como en el cuerpo de andesita que aflora en la cabecera del Arroyo La Chilca. Es moderada, de distribución penetrante y comprende feldespaticación –en forma de cristales en crecimiento, motas, orlas y venillas desarrollados en los feldespatos primarios– acompañada por silicificación y magnetita martitizada. A nivel de las quebradas los procesos de oxidación generaron abundante jarosita a la que se asocia hematita e hidróxidos de Fe (como impregnaciones, venillas y ocasionalmente pseudomorfos de los cristales de pirita). En el techo de la secuencia

piroclástica, inmediatamente por debajo del basalto cenozoico, la oxidación dio lugar a abundantes óxidos de Fe que le dan a la roca un color rojo intenso. En Arroyo La Chilca se observan ocasionales pátinas e impregnaciones de malaquita, azurita y sulfatos de Cu. En la zona de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre el único mineral metálico reconocido es la pirita que se presenta en pequeños cristales diseminados (llegando a conformar el 5% del volumen total de la roca) y en venillas de cuarzo. En la roca de caja los cristales aparecen fuertemente corroídos y fragmentados (con los fragmentos en ocasiones alineados) y especialmente vinculados a la asociación muscovita-cuarzo. En las cabeceras de Arroyo La Chilca, emplazadas en las coladas andesíticas, se encuentran venillas de hasta 10 centímetros de espesor de las que participan sulfuros. La asociación de minerales opacos está compuesta por pirita-calcopirita-galena-esfalerita en ganga de cuarzo y con una carbonatización tardía. Los análisis químicos arrojaron tenores de Cu de has-

CUADRO 2: Análisis por elementos metálicos (en ppm).

Muestra	Latitud	Longitud	Observaciones	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
A2451	35° 24' 54,72"	68° 19' 27,45"	Vetillas subparalelas de qzt-py	0,06	0,69	361	50	39	362
A2452	35° 24' 54,65"	68° 19' 27,18"		<b>0,11</b>	0,56	<b>606</b>	48	25	337
A2453	35° 24' 54,53"	68° 19' 27,26"		<b>0,20</b>	0,96	270	39	36	365
A2454	35° 24' 54,20"	68° 19' 27,42"		0,07	---	<b>589</b>	46	26	<b>547</b>
A2455	35° 24' 57,52"	68° 19' 28,10"		0,09	1,39	67	38	47	40
A2456	35° 24' 57,52"	68° 19' 28,10"		0,09	0,52	126	35	35	410
A2457	35° 24' 56,77"	68° 19' 28,11"		0,06	---	166	28	25	391
A2458	35° 24' 56,77"	68° 19' 28,11"		0,06	1,05	118	32	51	69
A2459	35° 24' 54,17"	68° 19' 26,86"	Stockwork de qzt-py	0,09	0,68	256	38	24	121
A2460	35° 24' 54,17"	68° 19' 26,39"	Vetillas subparalelas de qzt-py	0,05	0,72	<b>526</b>	58	45	383
A2461	35° 24' 54,43"	68° 19' 26,82"		0,05	---	472	29	25	289
A2462	35° 24' 54,46"	68° 19' 26,86"		0,06	0,62	254	36	34	467
A2463	35° 24' 55,39"	68° 19' 20,23"		0,03	0,99	13	6	431	35
A2464	35° 24' 55,39"	68° 19' 20,23"		0,03	---	8	7	96	22
A2465	35° 24' 55,27"	68° 19' 20,31"		0,05	---	17	10	69	20
A2466	35° 24' 55,62"	68° 19' 20,43"		0,05	---	32	22	78	22
A2467	35° 24' 55,62"	68° 19' 20,43"		0,04	---	25	7	98	30
A2468	35° 24' 55,65"	68° 19' 19,91"		0,07	0,78	30	13	90	37
A2469	35° 24' 55,65"	68° 19' 19,91"		0,04	0,60	19	12	51	33
A4434	35° 24' 55,53"	68° 19' 20,87"		0,04	---	9	4	64	10
A4435	35° 24' 55,40"	68° 19' 21,03"		0,09	3,41	17	4	210	16
A4436	35° 24' 55,37"	68° 19' 21,03"	Oxidados de Cu	0,06	6,66	69	2	281	336
A4437	35° 24' 55,33"	68° 19' 21,07"	Venilla de galena	0,07	8,65	106	15	<b>10000</b>	<b>1095</b>
A4438	35° 24' 55,14"	68° 19' 21,46"	Oxidados de Cu	0,03	0,78	121	38	125	179
A4439	35° 24' 55,54"	68° 19' 23,40"		0,07	0,82	165	32	49	158
A4440	35° 24' 55,54"	68° 19' 23,48"		0,07	0,95	200	33	29	75
A4441	35° 24' 55,54"	68° 19' 23,56"		0,08	1,17	356	26	27	146
A4442	35° 24' 55,54"	68° 19' 23,88"		0,05	---	156	36	26	106
A4443	35° 24' 54,59"	68° 19' 27,10"		<b>0,11</b>	1,43	221	38	40	70
A4444	35° 24' 54,85"	68° 19' 27,89"		0,09	1,28	48	40	39	34
A4445	35° 24' 54,82"	68° 19' 27,89"		<b>0,13</b>	3,14	158	62	87	46
A4446	35° 24' 54,79"	68° 19' 27,93"		0,06	---	37	45	32	19
A4447	35° 24' 54,76"	68° 19' 27,93"		0,07	1,71	53	47	39	40
A4448	35° 24' 54,72"	68° 19' 27,97"		<b>0,10</b>	2,41	53	45	64	93
A4449	35° 24' 54,99"	68° 19' 28,48"		---	---	111	2	5	17
A4450	35° 24' 55,85"	68° 19' 32,28"		<b>0,18</b>	3,70	64	37	57	69
A4451	35° 24' 55,82"	68° 19' 32,36"		0,09	1,45	190	23	201	413
A4452	35° 24' 55,79"	68° 19' 32,44"		<b>0,11</b>	2,23	45	23	75	206
A4453	35° 24' 55,79"	68° 19' 32,48"		0,02	---	47	12	26	110
A4454	35° 24' 55,76"	68° 19' 32,60"		0,03	---	26	15	74	176
A4455	35° 24' 55,76"	68° 19' 32,72"		0,05	1,20	64	19	123	336
A4456	35° 24' 55,72"	68° 19' 32,91"		0,03	1,05	69	10	196	405
A4457	35° 24' 54,79"	68° 19' 34,67"		0,06	---	86	6	79	115
A4458	35° 24' 54,76"	68° 19' 34,67"		0,03	---	29	5	117	186
A4459	35° 24' 54,73"	68° 19' 34,67"		0,03	---	54	3	69	108
A4460	35° 24' 53,73"	68° 19' 35,51"		0,04	---	26	4	37	54
I1496	35° 24' 45,48"	68° 19' 34,35"		0,03	---	161	27	29	110
I1497	35° 24' 44,84"	68° 19' 23,81"		0,09	0,54	285	72	59	170
A2401	35° 25' 25,12"	68° 19' 50,19"	Vetillas de óxidos de Fe	---	---	14	5	29	400
A2470	35° 25' 21,69"	68° 19' 40,35"		---	<b>0,88</b>	81	2	91	399
A2471	35° 25' 20,69"	68° 19' 41,70"	Escasas vetillas de óxidos de Fe	---	---	19	2	129	214
A2472	35° 25' 17,88"	68° 19' 36,93"	Escasas vetillas de óxidos de Fe	---	---	5	3	16	16
A2473	35° 25' 16,84"	68° 19' 36,62"		---	---	45	4	16	307
A2474	35° 25' 16,12"	68° 19' 36,43"		---	---	10	2	11	23
A2475	35° 25' 16,13"	68° 19' 31,44"		---	---	4	2	15	119
A2476	35° 25' 13,12"	68° 19' 27,74"	Stockwork de qzt-py	---	---	8	2	27	219

Los Buitres

La Chilca

Continuación Cuadro 2

Muestra	Latitud	Longitud	Observaciones	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
A2477	35° 25' 12,21"	68° 19' 26,75"		---	---	5	1	38	26
A2478	35° 25' 10,78"	68° 19' 15,07"		---	---	8	2	3	11
A2479	35° 25' 6,83"	68° 19' 11,85"		---	---	3	1	3	2
A2490	35° 25' 27,52"	68° 20' 25,97"		---	---	11	2	9	29
A2491	35° 25' 26,08"	68° 20' 22,21"		---	---	4	-1	11	42
A2492	35° 25' 26,23"	68° 20' 20,55"		---	---	2	1	10	28
A2493	35° 25' 25,97"	68° 20' 20,11"		---	---	4	1	7	51
A2494	35° 25' 26,06"	68° 20' 19,87"		---	---	2	1	35	44
A2495	35° 25' 26,16"	68° 20' 19,56"		---	---	2	1	20	51
A2496	35° 25' 26,44"	68° 20' 18,21"	Vetillas de óxidos de Fe	---	---	4	1	9	103
A2497	35° 25' 26,44"	68° 20' 18,21"		---	---	5	3	10	210
A2498	35° 25' 26,48"	68° 20' 18,28"		0,03	<b>20,09</b>	147	33	<b>1137</b>	304
A2499	35° 25' 26,70"	68° 20' 17,29"		0,03	7,10	184	45	<b>1413</b>	<b>632</b>
A2500	35° 25' 22,57"	68° 19' 46,76"	Vetillas de óxidos de Fe	---	---	40	6	129	<b>2990</b>

En negrita se destacan los valores significativos. Los análisis fueron realizados en muestras de *rock chip* (Davicino 2008) realizado el método de ICP- OES Radial (*Induced Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy-Radial*) excepto el Au que fue analizado por ensayo a fuego (*fire assay*).

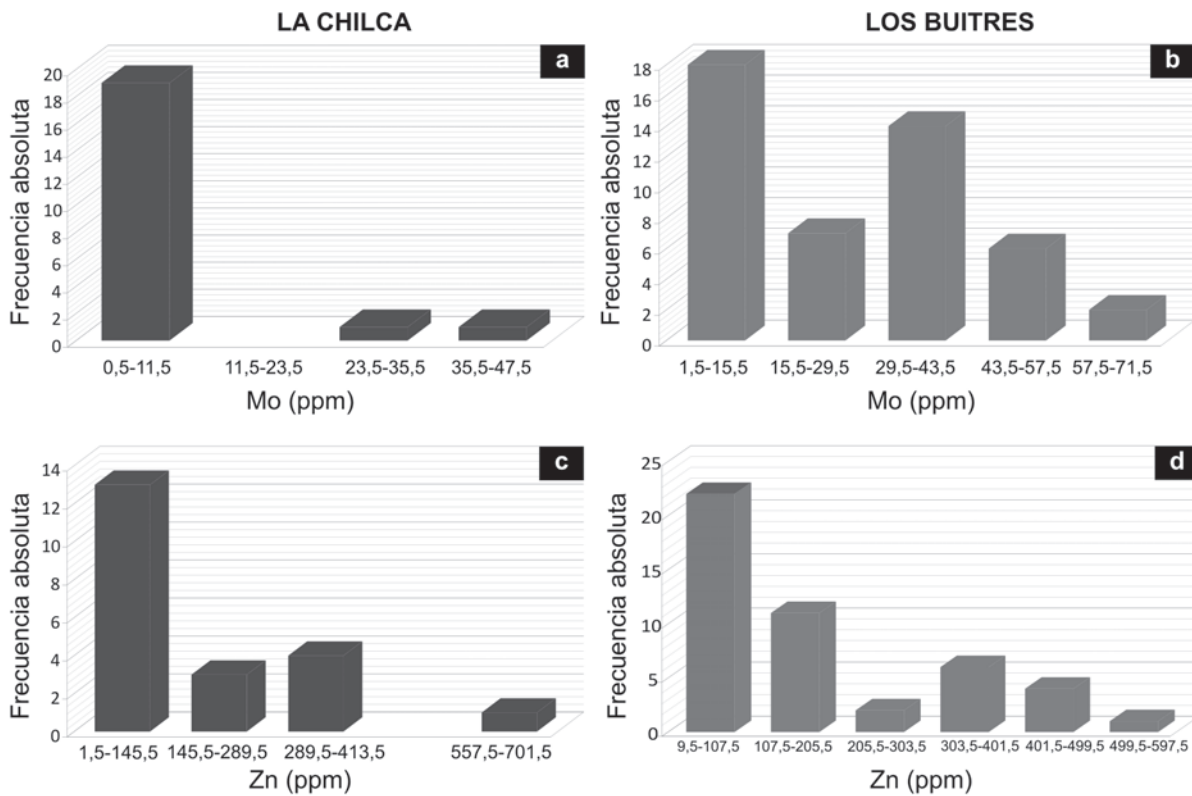


Figura 4: Histogramas de Mo de: a) Arroyo La Chilca. b) Zanjón del Buitre. Histograma de Zn de: c) Arroyo La Chilca. d) Zanjón del Buitre.

ta 16%, de Pb de hasta 1,5%, de Zn de hasta 1,13% y anomalías variables de Ag que excepcionalmente alcanzan los 450 ppm, registrándose además valores de Au entre 0,09 y 0,6 ppm (Lavandaio, 1979).

### GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS METÁLICOS

La empresa Portal Resources realizó 70 análisis químicos en muestras de super-

ficie tomadas en las zonas de alteración expuestas en Arroyo La Chilca y Zanjón del Buitre (Davicino, 2008). Los resultados obtenidos (Cuadro 2) muestran que los mayores contenidos de Cu, Mo, Ag y Au se registran en Zanjón del Buitre en tanto que los contenidos de Pb y Zn son similares para ambas quebradas.

Los datos fueron tratados con estadística descriptiva, observándose en todos los casos una distribución lognormal. En

particular se registra una distribución bimodal para el Mo en Zanjón del Buitre y una distribución bimodal para el Zn en ambas quebradas (Fig. 4a, b, c y d).

Para cada uno de los elementos analizados se calculó el valor de fondo (*background*) que corresponde al valor normal de un elemento en un área determinada y el umbral (*threshold*) que indica el límite inferior de los valores anómalos (Cuadro 3). Los valores de fondo y de umbral fueron



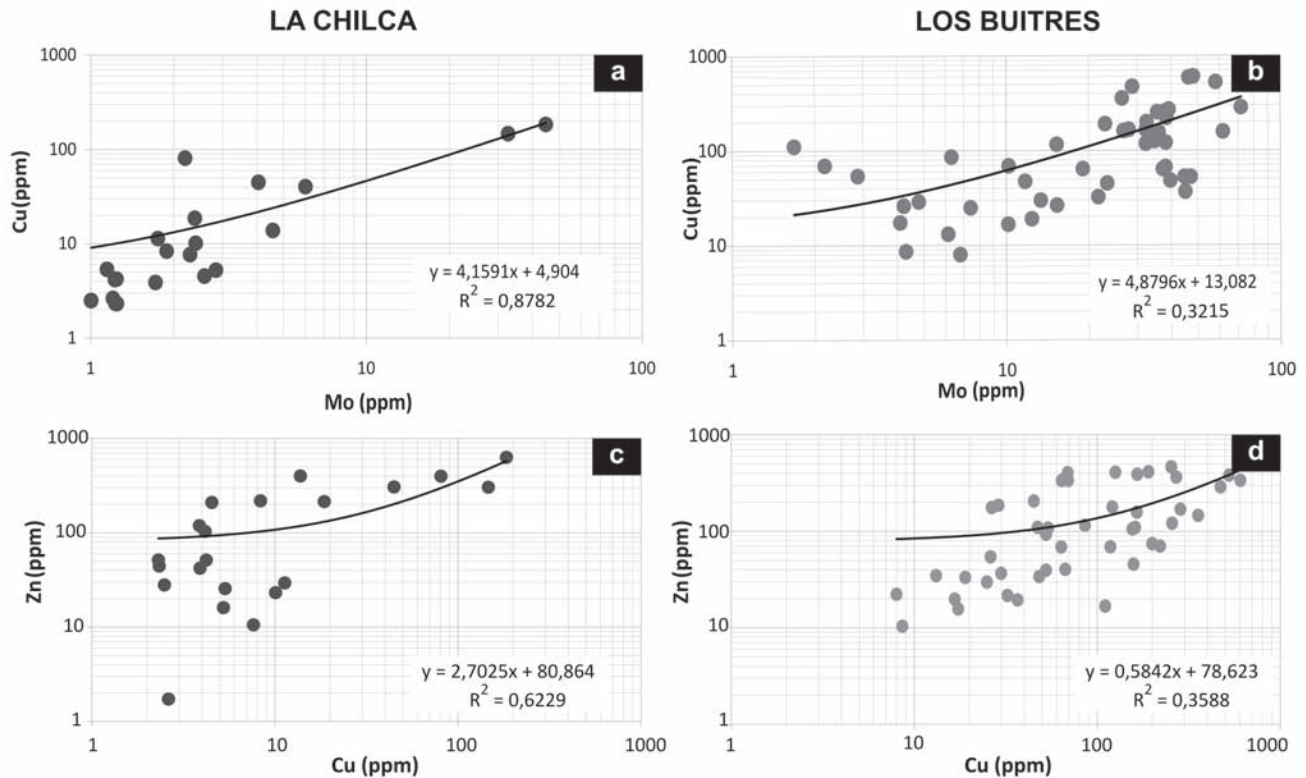


Figura 5: Diagramas de correlación de Cu-Mo para a) Arroyo La Chilca. b) Zanjón del Buitre. Diagrama Cu-Zn para c) Arroyo La Chilca. d) Zanjón del Buitre.

**CUADRO 3:** Valores de fondo, desviación estándar y umbral (en ppm) calculados para todos los elementos analizados.

Elementos	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
Valor de fondo	1,73	0,0002	15,55	8,14	2,16	55,2
Desviación estándar	0,036	3,71	141,06	18,73	217,67	139,07
Umbral	1,84	7,41	297,67	45,60	407,5	333,34

calculados siguiendo el tratamiento estadístico simplificado propuesto por Lepeltier (1969) para distribuciones de tipo log-normal. Las muestras correspondientes a sectores de venillas registran valores muy distantes con respecto al resto de los datos por lo que se consideran *outliers*, es decir datos atípicos que no pertenecen al conjunto de datos analizados y producen una fuerte dispersión en la desviación estándar por lo cual no fueron considerados en el tratamiento estadístico.

Sobre la base de los resultados obtenidos se define la presencia de anomalías puntuales de uno a dos órdenes de magnitud para Ag y Au mientras que Cu, Mo, Pb y Zn registran pequeñas anomalías.

Para establecer una vinculación genética entre los metales se realizaron diagramas de correlación. Debido a la distribución espacial heterogénea y al carácter bimo-

dal de algunos de los elementos analizados, se trabajaron los datos en forma separada para cada quebrada.

En Arroyo La Chilca se observa una marcada correlación positiva entre Cu y Mo (Fig. 5a) con un  $R^2=0,8$  y una moderada correlación positiva entre Cu y Zn (Fig. 5c) con un  $R^2=0,6$ . En Zanjón del Buitre no se observa correlación entre Cu y Mo ( $R^2=0,32$ ) ni entre Cu y Zn ( $R^2=0,36$ ) aunque en ambos casos se insinúa una tendencia positiva en la distribución de los datos (Fig. 5b y d).

## CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de los estudios petro-mineralógicos permiten confirmar, sobre la base del tipo y patrón de distribución de la alteración hidrotermal, que se trata de

un sistema de tipo pórfiro cuprífero tal como fuera propuesto por Rubinstein *et al.* (2000). El área de alteración presenta una zona potásica de distribución localizada con una asociación de feldespato potásico-cuarzo-magnetita. A ésta se superpone alteración fílica con cuarzo-muscovita-pirita-(rutilo) acompañada por venillas de cuarzo-pirita (tipo D, ver Gustafson y Hunt 1975). Las venillas con mineralización de pirita-calcopirita-galena-esfalerita en ganga de cuarzo pueden asignarse preliminarmente a la etapa fílica, tal como ocurre con las vetas polimetálicas del pórfiro de Cu-(Mo) de San Pedro (Korseniewski *et al.* *en prensa*). Por último se reconoce una suave a moderada carbonatización tardía.

El tratamiento estadístico de los elementos metálicos permite definir la presencia de moderadas anomalías de Ag y Au y pequeñas anomalías de Cu, Mo, Pb y Zn. El Cu y el Mo muestran una clara correlación positiva en Arroyo La Chilca, en tanto que solo se registra una tendencia positiva en Zanjón del Buitre, lo cual, unido al carácter bimodal de la distribución del Mo en Zanjón del Buitre, per-

mite inferir la presencia de un segundo pulso molibdenífero que sólo tuvo lugar en esta última quebrada. La distribución bimodal del Zn en ambas quebradas sugiere dos pulsos cincíferos, al menos uno de los cuales podría estar genéticamente vinculado al Cu, tal como lo sugiere la moderada correlación positiva registrada en Arroyo La Chilca y la tendencia positiva observada en Zanjón del Buitre.

Las características litológicas de la secuencia volcánica aflorante en el área de estudio son comparables con las de rocas asociadas con mineralizaciones de génesis similar y edad pérmica inferior dentro del bloque de San Rafael (Gómez y Rubinstein 2010b y 2011). Asimismo su litogeoquímica, típica de rocas de arco magmático, confirma su correlación con la sección inferior del Ciclo magmático Choiyoi.

Los estudios realizados en el área de alteración Arroyo La Chilca-Zanjón del Buitre permiten confirmar la presencia de un sistema de tipo pórfiro de Cu-(Mo) vinculado genéticamente a la sección inferior del Ciclo magmático Choiyoi de edad pérmica inferior. Esta mineralización, junto con otros depósitos de génesis similar en el ámbito del bloque de San Rafael, contribuye a la definición de este magmatismo como un metalotecto de carácter regional para depósitos diseminados de Cu-(Mo).

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con los proyectos UBACyT 20020090100182 (Universidad de Buenos Aires), PIP 11220090100589 (CONICET) y por el SEGEMAR. Se agradece a la Empresa Portal Resources por conceder la información geoquímica utilizada en este trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Carpio, F., Mallimacci, H., Rubinstein, N., Salvarredi, J., Sepúlveda, E., Centeno, R., Rosas, M. y Vargas, D. 2001. Metalogenia del Bloque de San Rafael, Mendoza. Serie Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales, N° 20. Servicio Geológico Minero Argentino, 109 p., Buenos Aires.
- Davicino, R. 2008. A review of the Anchoris Projct, Mendoza, Argentina (inédito), 39p., Buenos Aires
- Delpino, D. 1997. Geología regional y petrología del Complejo Los Corrales, paleozoico superior – triásico, provincia de Mendoza. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 297 p., La Plata.
- Delpino, D., Pezzutti, N., Godeas, M., Donnari, E., Carullo, M. y Núñez, E. 1993. Un cobre porfírico paleozoico superior en el centro volcánico San Pedro, distrito minero El Nevado, Provincia de Mendoza. *Comptes Rendus 12° ICC-P*, Actas 1: 477-490, Buenos Aires.
- Gargiulo, M., Rubinstein, N., Carpio, F. y Salvarredi, J. 2007. Caracterización de la zona de alteración Central II, Bloque San Rafael, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 387-395.
- Gómez, A. y Rubinstein, N. 2011. Caracterización petrológica del magmatismo gondwánico asociado a la mineralización del distrito minero San Pedro, Bloque de San Rafael, Mendoza. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas 16: 1098-1099, Neuquén.
- Gómez, A. y Rubinstein, N. 2010a. Geology of the San Pedro mining district, San Rafael Massif, Argentina. *International Geological Congress on the Southern Hemisphere (GEOSUR 2010)*, Bolletino de Geofísica, teorica ed aplicada 51 (suplemento): 236-239, Mar del Plata.
- Gómez, A. y Rubinstein, N. 2010b. Caracterización genética del distrito minero El Infiernillo, Bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 231-238.
- Gustafson, L.B. y Hunt, J.P. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology* 70: 857-912.
- Kleiman, L.E. y Japas, M.S. 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S–36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Paleozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473: 283-299.
- Korseniewski, L., Rubinstein, N. y Gómez, A. 2012. Análisis de inclusiones fluidas en las vetas polimetálicas del pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69: 13-18.
- Lavandaio, E. 1979. Área de interés N°1, Arroyo La Chilca. Informe Final sobre la prospección de Superficie. Secretaría de Estado de Minería, Servicio Minero Nacional (inédito), 60 p., Buenos Aires.
- Lepeltier, C. 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology* 64: 538-550.
- Llambías, E.J., Kleiman, L.E. y Salvarredi, J.A. 1993. El magmatismo gondwánico. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y recursos naturales de Mendoza, Relatorio 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de hidrocarburos*, Actas 1(6): 53-64, Mendoza.
- Mugas Lobos, A.C., Marquez-Zavalía, M.F. y Galliski, M.A. 2010. Petrografía y geoquímica de las rocas gondwánicas del proyecto minero Don Sixto, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 392-402.
- Pearce, J.A. 1983. Roll of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En Hawkesworth, C.J. y Norry, M.J. (eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths*: 230-249, Nantwich.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2000. La zona de alteración Las Chilcas, provincia de Mendoza. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogía (MINMET), Actas 1:454-456, La Plata.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2002. La zona de alteración del cerro Tres Hermanos, Mendoza, Argentina. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogía (MINMET), Actas 1: 419 -420, Buenos Aires.
- Rubinstein, N., Ostera, H., Mallimacci, H. y Carpio, F. 2004. Lead isotopes from gondwanan ore polymetallic vein deposits, San Rafael Massif, Argentina. *Journal of South America Earth Sciences* 16: 595-602.
- Rubinstein, N. y Gargiulo M.F. 2005. Análisis textural de cuarzo hidrotermal del depósito El Pantanito, provincia de Mendoza: nuevos aportes sobre su génesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 96-103.
- Sepúlveda, E., Bermudez, A., Bordonaro, O. y Delpino, D. 2007. Hoja Geológica 3569-IV, Emblase El Nihuil, provincia de Mendoza. Instituto de Geología y recursos minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 268, 52p., Buenos Aires.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.

Recibido:

Aceptado: