

METALOGÉNESIS DE LA VETA FARALLÓN NEGRO RAMA NORTE, FARALLÓN NEGRO, PROVINCIA DE CATAMARCA

Facundo MARTÍNEZ^{1,2}, Ana FOGLIATA^{1,3}, Nicolás MONTENEGRO⁴ y Steffen HAGEMANN⁵

¹ Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Email: facundomartinez29@yahoo.com.ar

³ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán.

⁴ Yacimientos Mineros de Agua de Dionisio, Catamarca.

⁵ Centre for Exploration Targeting, University of Western Australia, Australia.

RESUMEN

La veta Farallón Negro Rama Norte forma parte del yacimiento Farallón Negro ubicado en Hualfín, Departamento Belén, Catamarca. Este yacimiento se encuentra dentro del Complejo Volcánico Farallón Negro de edad terciaria, que constituye la roca de caja de un sistema de vetas rico en oro. La veta Farallón Negro Rama Norte tiene rumbo general N40°O e inclinación de 65° NE, tiene una corrida de 600 m, y se extiende desde la superficie hasta unos 400 m en profundidad. La roca de caja es una monzonita, que presenta distintos tipos de alteración hidrotermal: argílica intermedia, silicificación, filica y propilitica. La veta está compuesta por una ganga de cuarzo, carbonatos y óxidos de manganeso con textura bandeada, coliforme y masiva. Los análisis geoquímicos indican que las muestras de veta ricas en oro son generalmente pobres en Ag y metales base. El oro muestra una correlación positiva con el Sb y una correlación negativa con el Mn. Los altos contenidos en elementos traza (As, Cu, Mo, Pb, V y Zn) de los óxidos de manganeso indican un origen hidrotermal. Los valores de isótopos de carbono y oxígeno de los carbonatos de la ganga sugieren que en el sistema hidrotermal participaron fluidos magmáticos y meteóricos.

Palabras clave: *Vetas auríferas epitermales, metalogénesis, Farallón Negro, Sierras Pampeanas Occidentales*

ABSTRACT

Metallogenesis of the Farallón Negro Rama Norte vein, Farallón Negro, Catamarca province

The Rama Norte vein in Farallón Negro deposit is located in Hualfín, Belén Department, Catamarca. This deposit belongs to the Tertiary Farallón Negro Volcanic Complex, the wall rock of the gold rich vein system. The Farallón Negro Rama Norte vein strikes N40°W, dips 65° NE, has 600 m length extends from the surface to a depth of about 400 meters. The wall rock is a monzonite with different types of hydrothermal alteration: intermediate argillic, silicic, phyllic and propylitic. The vein is composed of quartz, carbonates and Mn-oxides with banded, colloform and massive textures. The geochemical analyses indicate that gold-bearing vein samples are generally Ag- and base-metal poor. Gold also displays a positive correlation with Sb, but a negative correlation with Mn. High trace element contents (As, Cu, Mo, Pb, V and Zn) of polymineralic Mn-oxides suggest a hydrothermal origin. The values of carbon and oxygen isotopes in carbonates indicate magmatic and meteoric fluids participation in the hydrothermal system.

Keywords: *Epithermal gold veins, metallogenesis, Farallón Negro, Sierras Pampeanas Occidentales*

INTRODUCCIÓN

En el distrito Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD), departamento Belén, provincia de Catamarca, se ubican depósitos y prospectos de tipo pórfidos de Cu-Au y epitermales vetiformes de Au-Ag vinculados genéticamente al magmatismo mioceno (Llambías 1970) (Fig. 1). Entre los yacimientos vetiformes se destacan Farallón Negro y Alto de la Blenda (Fig. 2).

La veta Farallón Negro está formada por una veta principal y varias secundarias. La

roca de caja de este sistema de vetas está representada por andesitas y monzonitas. Hacia el este, en la zona de estudio, la roca de caja de la veta Farallón Negro Rama Norte corresponde a la monzonita Alto de la Blenda (Llambías 1970) (Fig. 2).

La veta Farallón Negro Rama Norte (en explotación) constituye una ramificación al SE de la veta Farallón Negro ya explotada. Presenta espesores que varían entre 0,5 y 5 m aproximadamente, un rumbo general NO e inclinación aproximada de 65° NE.

Sobre la base de estudios mineralógicos,

texturales, geoquímicos y de isótopos estables se estableció la génesis del depósito, se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica y se determinó el origen de los fluidos hidrotermales que formaron la veta Farallón Negro Rama Norte.

ANTECEDENTES

Peirano (1944) fue el autor del primer informe técnico sobre los yacimientos del Complejo Volcánico Farallón Negro que incluye un plano de los principales sistemas vetiformes.

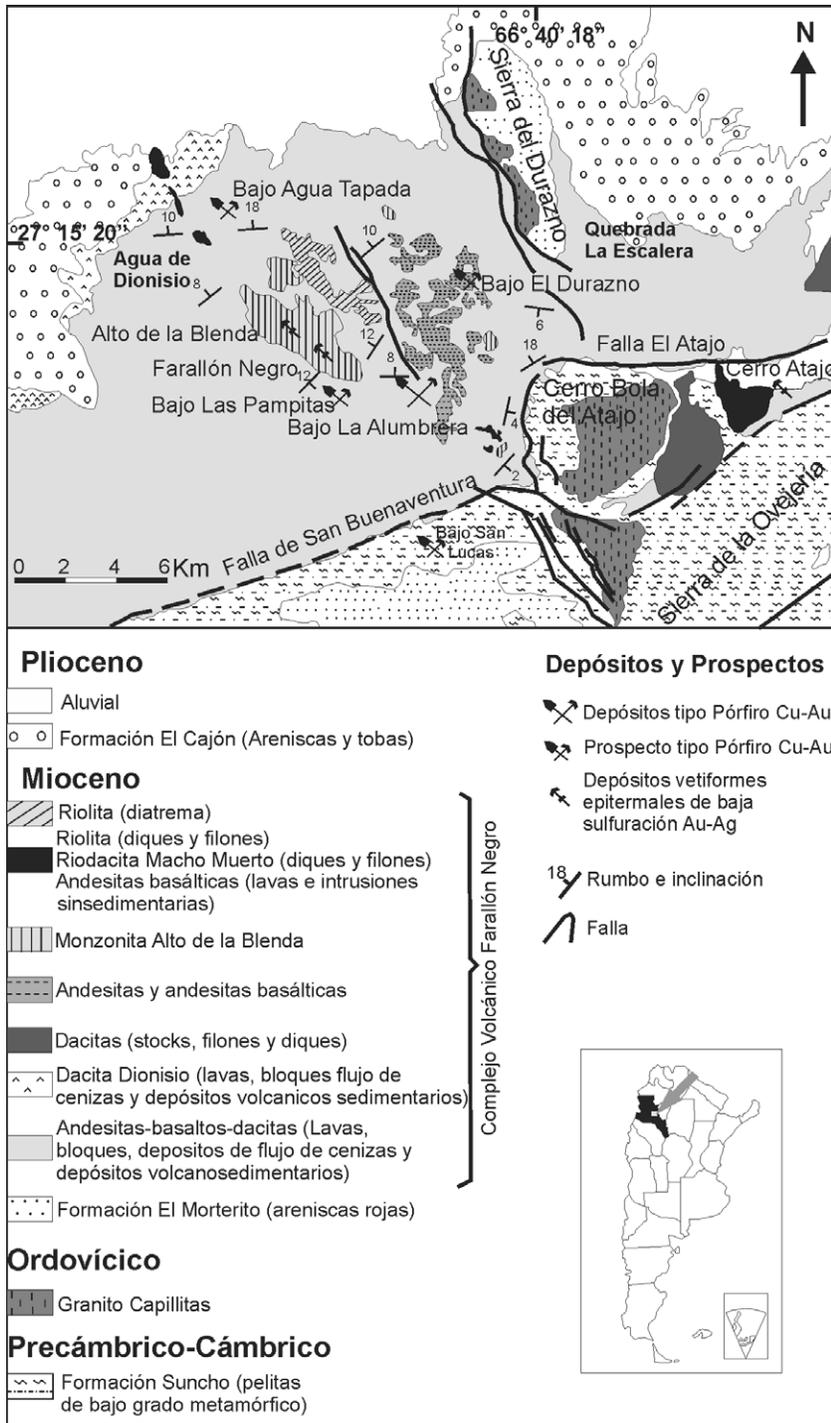


Figura 1: Mapa geológico del distrito mineralizado Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio (modificado de Harris et al. 2006).

Malvicini y Llambías (1963) estudiaron la génesis de los yacimientos Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos, sobre la base de estudios calcográficos, de termometría y texturales de la mena, y concluyeron que se trata de un sistema hidrotermal con temperaturas de formación

que varían entre 350° C y 250°C aproximadamente. Sister (1965) realizó el mapa geológico del Complejo a escala 1:20.000, con la ubicación de los yacimientos más conocidos.

JICA (1991) realizó un informe de factibilidad para el desarrollo minero en el

área de Farallón Negro, que abarca mapeo geológico, estudios por sondeos, descripciones mineralógicas y el cálculo tentativo de reservas.

Sasso y Clark (1999) estudiaron la evolución magmática hidrotermal y tectónica del Complejo Farallón Negro y sus implicancias para la metalogenia, concluyendo que los yacimientos de Bajo de La Alumbra y epitermales cercanos se generaron durante una expansión del arco volcánico andino central en el Mioceno medio a superior y en el límite sur de la zona volcánica central, sin tener implicancias la variación del ángulo de subducción de la placa de Nazca. Alderete (1999) realizó una síntesis geológica del distrito Farallón Negro - Alto de la Blenda.

Gutiérrez et al. (2006) llevaron a cabo un método geoestadístico para determinar los niveles de exposición de los distintos yacimientos ubicados en el distrito minero Agua de Dionisio (YMAD). Finalmente, Fogliata y Hagemann (2011) realizaron una revisión de los distintos sistemas de oro en Argentina, donde se mencionan algunos datos de producción y leyes, indicando que la producción combinada de los yacimientos Farallón Negro y Alto de la Blenda hasta el año 1999 fue de 479.286 t con 61,1 g/tn de Au y 112 g/tn de Ag.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra dentro de las Sierras Pampeanas Occidentales (Ramos 1999). Las rocas más antiguas de la región afloran en la Sierra de la Ovejera y constituyen el basamento cristalino. Corresponden a las metamorfitas de bajo grado de la Formación Suncho de edad cámbrica (Mirrè y Aceñolaza 1972). Están intruídas por cuerpos ígneos de gran extensión de composición granítico - granodiorítica correspondiente al granito Capillitas del Ordovícico Inferior (Pankhurst et al. 2000). Sobre este basamento se depositaron sedimentos clásticos continentales de la Formación El Morterito (Turner 1962) de edad miocena superior (Anzótegui et al. 2007).

El Complejo Volcánico Farallón Negro se desarrolló en un ambiente tectónico

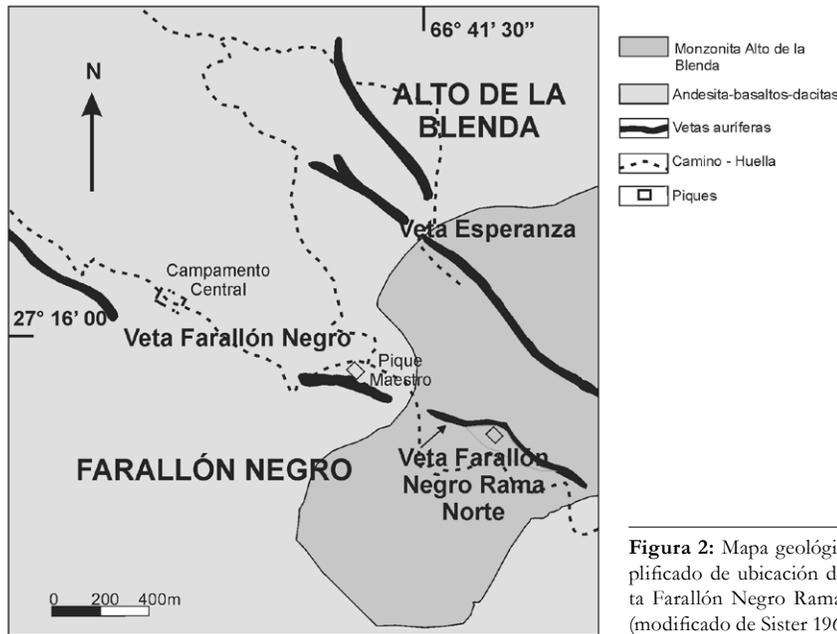


Figura 2: Mapa geológico simplificado de ubicación de la veta Farallón Negro Rama Norte (modificado de Sister 1965).

de torsión transpresivo en la cuenca de retroarco del margen continental (Gutiérrez *et al.* 2002, Gutiérrez 2000). Intruye a las rocas de la Formación El Morterito y su edad es atribuida al Mioceno superior (Sasso 1997, Sasso y Clark 1999 y Halter *et al.* 2004). Proffett (2003) describió la geología del complejo volcánico como una secuencia de rocas volcánicas de composición predominantemente andesíticas con volúmenes menores de rocas dacíticas, intruidas por stocks, diques y filones andesítico-basálticos a riódacíticos. En la parte central del complejo volcánico aflora el stock monzonítico Alto de la Blenda atravesado por un enjambre de diques riódacíticos a riolíticos (Fig. 1).

Las rocas volcánicas están cubiertas por areniscas y tobas pertenecientes a la Formación El Cajón (Turner 1962) de edad miocena superior-pliocena (Parra y Morales 2003). La secuencia termina con depósitos modernos conglomerádicos, aterrazados y fluviales.

GEOLOGÍA LOCAL

La veta Farallón Negro Rama Norte presenta estructura en rosario, con una corrida total de 600 m aproximadamente y una potencia media de 3,5 metros. Posee un rumbo general N40°O e inclinación aproximada de 65° al NE. La roca de caja de la veta es el stock monzonítico, que forma el cuerpo intrusivo Alto de la Blenda, ocurriendo solo en sectores aislados inclusiones de fragmentos de andesitas dentro de la monzonita (observados en las labores subterráneas).

La monzonita Alto de la Blenda fue descrita por Llambías (1970) como una roca de textura microgranosa, equigranular, de grano muy fino, la que presenta en algunos sectores textura porfírica. En el afloramiento la roca tiene morfología escarpada, con una coloración grisácea a verdosa, frecuentemente diaclasada y con estructura maciza.

La veta se halla emplazada en una zona de falla. Las características estructurales más importantes son una fracturación principal de rumbo NO coincidente con el rumbo general de la veta y una fractu-

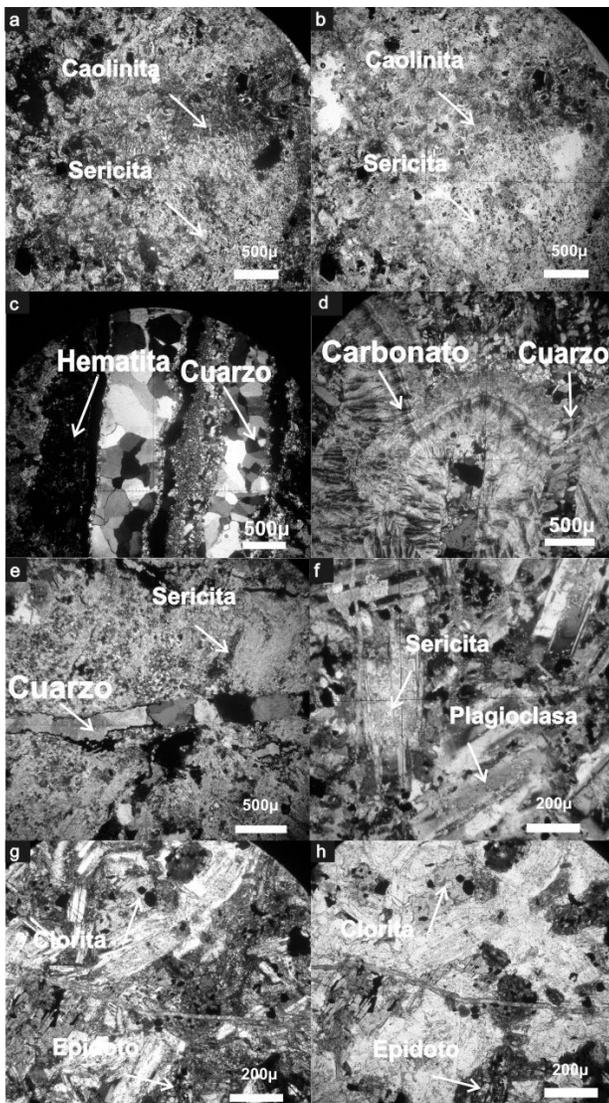


Figura 3: Fotomicrografías mostrando los tipos de alteración hidrotermal en la monzonita: a) Argílica intermedia (4x, analizador intercalado). b) Ídem a (4x, luz paralela). c) Silicificación en venillas asociada a hematita (4x, analizador intercalado). d) Silicificación con carbonatización asociada (4x, analizador intercalado). e) Filica con venillas cuarzo (4x, analizador intercalado). f) Filica, que muestra cristales de plagioclasa parcialmente reemplazados por sericita (10x, analizador intercalado). g) Propilítica, que muestra clorita y epidoto (10x, analizador intercalado). h) Ídem g (4x, luz paralela).

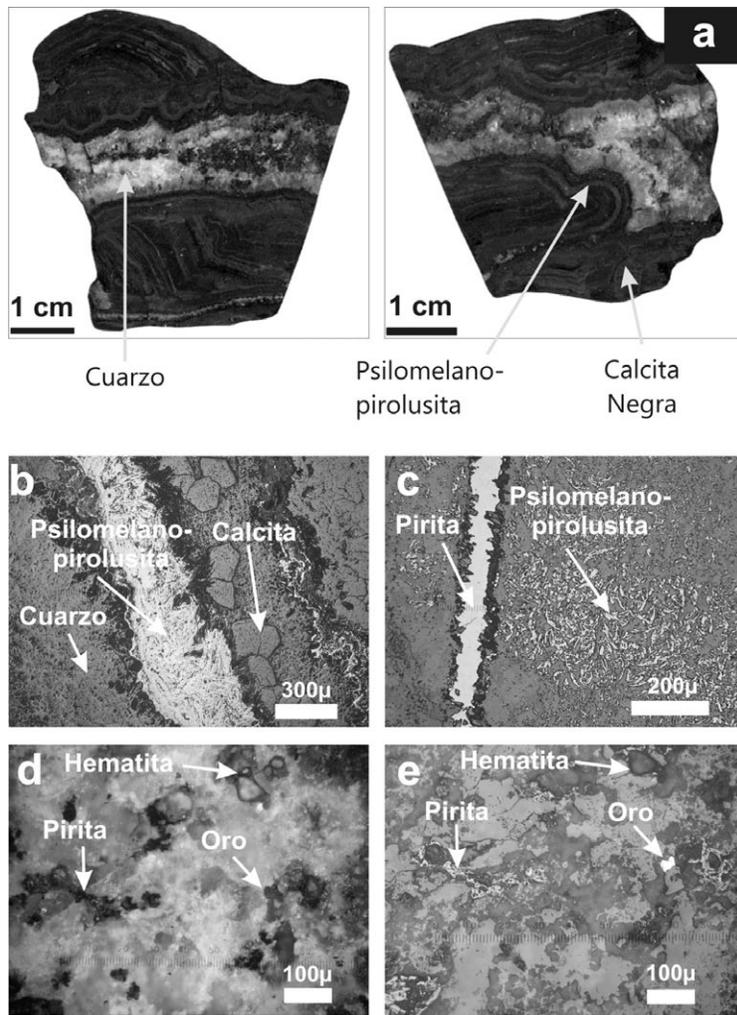


Figura 4: Mineralogía y textura de la veta. a) Textura bandeada colorforme con óxidos de manganeso, calcita y cuarzo. b) Fotomicrografía de óxidos de manganeso. c) Fotomicrografía que muestra venillas de pirita y óxidos de manganeso. d) Fotomicrografía de pequeños cristales de oro y pirita con pátinas de hematita. e) Ídem d.

ración secundaria de rumbo NE posterior a la mineralización.

Al microscopio la monzonita tiene textura granosa, de grano medio a fino inequigranular. Sin embargo en algunos sectores presenta textura porfírica. Está constituida por sanidina, plagioclasa (andesina-oligoclasa), biotita, piroxeno (diópsido-augita), cuarzo, apatito y minerales opacos tales como magnetita, ilmenita y en menor medida pirita y calcopirita.

ALTERACIONES HIDROTERMALES

Los halos de alteración se localizan como zonas irregulares y muchas veces discontinuas en las salbandas de la veta. El es-

pesor de estos halos varía desde algunos centímetros hasta cuatro metros aproximadamente.

Sobre la base de observaciones de campo y al microscopio se determinó una zonación hidrotermal, donde se pueden distinguir las siguientes alteraciones en función de la distancia a la veta: filica, argílica intermedia (dominante) con carbonatización asociada, silícica y propilitización (más restringida).

La alteración argílica se caracteriza por presentar un color blanco, muchas veces con tintes amarillentos a anaranjados dados por la presencia de óxidos de hierro. Al microscopio, se pudo observar que la alteración argílica es penetrante y de intensidad fuerte. Afecta a todos los mine-

rales primarios de la roca, obliterando la textura original de la misma. Los minerales de alteración observados son caolinita y sericita, que se encuentran comúnmente asociados (Fig. 3a y b). También se reconocen óxidos de hierro generalmente presentes en venillas o como pátinas.

La alteración silícica consiste en venillas de cuarzo con un espesor de 5 mm y coloración roja debido a los óxidos de hierro y cuarzo masivo que reemplaza a los minerales primarios de la roca.

Al microscopio, se determinó que esta alteración es penetrante, de intensidad fuerte. El cuarzo se presenta de tres formas diferentes: 1) venillas de cuarzo policristalino con extinción ondulosa, (Fig. 3c); 2) cuarzo intersticial con extinción *flash*; 3) agregados de pequeños cristales anhedrales de cuarzo con extinción ondulosa de distribución intersticial dentro de la roca. En las rocas que presentan silicificación se observó también alteración carbonática penetrante de intensidad fuerte. El carbonato se presenta como un agregado de grano fino intersticial con aspecto terroso. En algunas muestras se observan cristales subhedros de grano medio, con hábito fibroso y textura bandeada de relleno. Las relaciones texturales observadas al microscopio indican que el proceso de silicificación es posterior al de carbonatización (Fig. 3d).

La alteración filica presenta un moderado desarrollo y su distinción respecto a la alteración argílica en los afloramientos es dificultosa debido a las tonalidades blanquecinas que presentan las rocas. Al microscopio se observó que algunas muestras tienen sericitización penetrante de intensidad fuerte y es común la presencia de venillas de cuarzo posteriores (Fig. 3e); sin embargo en la mayoría de las muestras tomadas esta alteración es selectiva y de intensidad moderada afectando principalmente a los cristales de plagioclasa y en menor medida al feldespato potásico (Fig. 3f).

La alteración propilitica se halla muy restringida a algunos sectores y es poco frecuente; sin embargo se reconoce debido a que le otorga a la roca una leve coloración verdosa. Al microscopio se observó que

CUADRO 1: Análisis químicos de muestras de la veta Farallón Negro Rama Norte.

Muestra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	LOI	Total	S	CO ₂
M1	0,17	0,92	1,29	22,43	0,55	28,15	0,10	13,87	2,39	27,58	100,60	< 0,01	25,70
M3	0,36	0,49	0,19	9,48	0,23	37,96	0,02	13,40	0,44	34,51	100,10	< 0,01	31,50
M5	0,20	0,48	0,28	12,85	0,17	35,63	0,05	13,60	0,64	32,67	99,63	0,06	29,50
M6	0,26	0,43	0,06	30,94	0,24	8,76	0,02	37,14	0,56	14,01	100,80	0,01	10,10
M7	0,12	0,48	0,61	60,22	0,19	14,34	0,04	5,52	0,99	16,06	99,81	< 0,01	14,20
M9	0,12	0,86	1,37	29,02	0,39	29,51	0,13	7,10	2,40	28,60	101,10	0,14	25,10
M10	0,28	0,56	0,13	41,32	0,73	17,54	0,04	16,77	0,45	20,20	101,80	0,01	19,70
M11	0,17	0,38	0,25	78,79	0,62	0,49	0,04	10,81	0,75	4,24	98,97	< 0,01	0,33
M12	0,11	0,12	0,24	84,74	0,70	0,35	0,04	10,31	0,61	2,59	102,10	< 0,01	0,21
FN1	0,20	0,32	0,12	29,17	0,17	27,95	0,04	9,13	0,59	29,02	98,76	< 0,01	28,50
FN3	0,37	0,57	0,08	1,34	0,20	36,87	0,04	12,24	0,45	44,91	99,83	0,01	43,70
FN5	0,22	0,24	0,18	17,72	0,12	34,46	0,05	10,76	0,74	31,97	98,88	< 0,01	27,30
FN10	0,33	0,48	0,18	39,30	0,60	20,82	0,04	14,71	0,63	19,27	99,65	< 0,01	16,30
FN11	0,18	0,44	0,26	60,38	0,38	15,96	0,04	8,34	0,41	12,31	100,60	< 0,01	11,40

Muestra	V	Sc	Cr	Au	Be	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs	Ba
M1	27	<1	30	1,94	<1	4	<20	170	5530	7	0,8	98	20	1028	18,2	47	1,7	3	1	<0,1	<1	10,3	1,2	5
M3	6	<1	60	2,38	<1	<1	<20	70	210	6	<0,5	17	3	1441	5,9	22	0,5	15	0,6	<0,1	<1	7,7	0,2	28
M5	<5	<1	30	12,2	<1	<1	<20	510	5580	7	<0,5	33	2	1084	3,8	40	0,4	4	2,8	<0,1	<1	70,9	0,2	18
M6	9	<1	90	2,08	<1	<1	<20	40	380	13	0,9	<5	4	1270	1,8	12	0,3	4	<0,5	<0,1	<1	5,7	0,6	5
M7	11	8	120	10	<1	1	<20	350	1060	6	1,3	55	5	656	2,6	14	0,6	4	1,9	<0,1	<1	30,5	0,8	10
M9	28	<1	30	3,34	<1	3	<20	40	90	8	1,2	84	13	341	8,4	30	2,6	3	<0,5	<0,1	<1	7,5	2,9	8
M10	<5	<1	80	1,16	<1	<1	<20	90	1740	9	1,1	<5	5	1498	2,2	11	0,7	<2	0,9	<0,1	<1	10,5	0,3	10
M11	9	16	190	4,24	<1	4	<20	280	640	8	6,7	147	22	630	4,1	9	0,7	17	0,7	<0,1	<1	17,1	21,2	4
M12	9	18	240	12,1	<1	3	80	110	250	9	9,6	202	18	977	2	8	1	9	0,7	<0,1	<1	36,3	3,8	11
FN1	<5	<1	130	2,44	<1	<1	<20	300	1510	7	0,9	14	3	756	1,7	6	0,4	5	2,8	<0,1	<1	27,8	0,4	<3
FN3	6	<1	100	2,22	<1	<1	<20	40	40	7	<0,5	19	2	1248	3,9	13	0,5	18	<0,5	<0,1	<1	3,5	0,1	6
FN5	<5	<1	40	1,9	<1	<1	<20	500	2630	6	0,5	23	2	1040	4,2	10	0,4	21	2,2	<0,1	<1	34,8	0,2	<3
FN10	<5	<1	210	1,63	<1	<1	<20	100	1890	8	1,2	5	4	1321	2,4	7	0,4	2	0,8	<0,1	<1	10	0,2	7
FN11	<5	5	90	5,78	<1	<1	<20	80	300	6	2	8	3	817	1,2	6	0,4	<2	1,8	0,1	<1	11,5	0,3	13

Muestra	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
M1	0,3	0,12	1,5	0,31	775	<0,1	0,77	0,87	18,10	29,00	3,83	15,60	3,51	5,83	3,60	0,47	2,59	0,46	1,22	0,06	0,92	0,46
M3	<0,1	0,04	<0,5	<0,05	79	<0,1	0,31	4,12	4,38	6,71	0,86	3,45	0,87	2,04	0,96	0,14	0,79	0,14	0,34	0,02	0,21	0,32
M5	<0,1	0,06	<0,5	<0,05	2460	<0,1	0,4	1,86	5,20	7,96	1,01	4,00	0,89	2,30	0,86	0,12	0,58	0,09	0,24	0,00	0,20	0,44
M6	<0,1	0,03	<0,5	<0,05	10	<0,1	0,24	0,94	2,69	4,20	0,45	1,68	0,39	3,04	0,35	0,05	0,24	0,03	0,10	0,00	0,07	0,26
M7	<0,1	0,08	<0,5	0,09	252	<0,1	0,43	1,42	2,71	4,75	0,59	2,35	0,62	1,13	0,55	0,08	0,42	0,06	0,19	0,02	0,18	0,31
M9	0,4	0,16	0,8	0,55	23	<0,1	1,16	0,79	4,08	6,03	0,89	3,75	0,87	0,74	1,07	0,17	1,01	0,22	0,58	0,07	0,46	0,34
M10	<0,1	0,03	<0,5	<0,05	55	<0,1	0,41	1,66	3,89	5,80	0,68	2,66	0,53	3,77	0,47	0,06	0,31	0,04	0,13	0,01	0,08	0,22
M11	<0,1	0,05	0,8	0,37	214	<0,1	0,33	0,87	2,30	4,13	0,52	2,18	0,47	1,75	0,58	0,08	0,49	0,09	0,27	0,01	0,22	0,21
M12	<0,1	0,09	<0,5	2,26	31	<0,1	0,35	0,8	1,69	2,91	0,38	1,47	0,33	0,89	0,35	0,05	0,30	0,05	0,17	0,01	0,11	0,29
FN1	<0,1	0,03	<0,5	0,08	167	<0,1	0,24	0,93	1,37	2,06	0,26	0,95	0,26	0,72	0,23	0,03	0,17	0,03	0,07	0,00	0,06	0,31
FN3	<0,1	0,04	<0,5	<0,05	<5	<0,1	0,29	3,49	4,59	6,99	0,83	3,25	0,71	3,26	0,76	0,10	0,54	0,08	0,22	0,00	0,14	0,29
FN5	<0,1	0,02	<0,5	0,06	1120	<0,1	0,22	1,95	5,41	8,31	1,13	4,66	1,02	2,32	0,99	0,13	0,62	0,10	0,26	0,00	0,20	0,23
FN10	<0,1	0,04	<0,5	<0,05	96	<0,1	0,27	2,11	3,27	4,20	0,55	2,24	0,46	3,70	0,46	0,05	0,30	0,05	0,13	0,00	0,09	0,19
FN11	<0,1	0,03	<0,5	<0,05	103	<0,1	0,24	1,37	1,73	3,29	0,36	1,31	0,28	1,57	0,28	0,04	0,17	0,03	0,10	0,00	0,06	0,34

Elementos mayores (%), elementos traza y tierras raras (ppm).

esta alteración es selectiva y de intensidad leve a moderada. La clorita aparece reemplazando a los cristales de biotita, mientras que el epidoto se presenta en forma de agregados, alterando a los cristales de plagioclasa (Fig. 3g y h). El carbonato presenta un desarrollo importante y se encuentra en forma de finas venillas irregulares que atraviesan la roca.

MINERALOGÍA Y TEXTURA

La veta presenta un color gris oscuro y tiene textura bandeada coliforme y en escarapela. En algunos sectores también se observa textura masiva. La paragénesis de la veta corresponde a pirita, calcopirita y oro en una ganga de cuarzo, carbonato y óxidos de manganeso. Son muy frecuentes las drusas formadas

principalmente por cuarzo y carbonato (Fig. 4a). Los óxidos de manganeso se presentan formando bandas con hábito fibrorradial y botroidal. El carbonato corresponde a calcita blanca y en menor medida calcita negra debido a la presencia de óxidos de manganeso (Malvicini y Llambrías 1963). El cuarzo es blanco, con textura maciza y en peine. En algunas ocasiones se observa que los minerales poseen

CUADRO 2: Análisis químicos de los óxidos de manganeso de la veta Farallón Negro Rama Norte.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
FN1 OX	2,64	< 0,01	0,20	32,90	0,49	24,00	0,53	0,34	0	< 0,01	36,43	98,09
FN3 OX	0,79	< 0,01	0,11	24,50	0,55	29,54	0,53	0,23	0	< 0,01	42,06	98,44
FN5 OX	5,89	0,15	1,04	30,60	0,24	22,70	0,42	0,24	0,01	0,01	35,85	97,95
FN10 OX	7,72	< 0,01	0,17	28,90	0,39	24,62	0,38	0,77	0,01	< 0,01	38,56	> 101,00
FN11 OX	19,74	0,27	0,25	47,60	0,95	11,60	0,71	0,77	0,01	0,03	16,38	98,78
M1 OX	2,35	0,18	0,55	24,60	0,77	27,72	0,20	0,36	0,02	0,02	43,80	> 101,00
M3 OX	2,19	0,07	0,24	26,20	0,39	27,14	0,53	0,27	0,01	0,02	44,73	> 101,00
M5 OX	1,92	0,10	1,07	29,60	0,45	25,77	0,25	0,19	0,01	0,03	37,52	98,76
M6 OX	14,08	0,06	0,65	73,90	0,50	3,06	0,63	0,42	0,01	0,01	4,97	98,46
M9 OX	19,33	0,07	0,28	62,10	0,11	6,28	0,32	0,13	0,01	0,01	11,48	100,20
M10 OX	1,80	< 0,01	0,47	34,80	0,56	24,44	0,45	0,74	0,00	0,02	37,85	> 101,00
M12 OX	38,33	0,36	0,13	54,20	0,16	0,43	1,19	2,17	0,02	0,05	2,23	99,85

Muestra	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag	Cs	Ba	W	Tl	Pb	Th	U
FN1 OX	7	120	0	19	520	3550	15	< 0,5	53	4	1898	2,8	11	9	11,8	0,4	10	0,6	< 0,05	314	< 0,05	0,26
FN3 OX	50	200	0	19	20	80	12	< 0,5	69	1	1761	3,6	9	25	1,5	0,1	14	< 0,5	< 0,05	6	< 0,05	3,71
FN5 OX	40	220	0	19	680	3930	15	< 0,5	81	2	2221	4,8	6	26	12,6	0,1	14	< 0,5	0,05	1240	< 0,05	2,43
FN10 OX	42	190	0	20	100	2920	16	< 0,5	38	4	2032	2,3	5	2	2,4	< 0,1	39	< 0,5	< 0,05	107	< 0,05	1,28
FN11 OX	28	150	2	19	160	1120	26	0,7	55	5	3213	2,1	26	3	10,1	0,3	85	11	< 0,05	216	0,08	4,78
M1 OX	53	300	3	220	140	5830	15	< 0,5	77	4	1310	14,9	8	13	1,3	0,3	21	1,2	0,13	269	0,08	0,13
M3 OX	47	190	0	30	40	360	14	< 0,5	56	3	1904	5	4	16	2	0,1	52	0,6	< 0,05	125	< 0,05	6,84
M5 OX	60	230	0	19	1430	10000	16	< 0,5	137	2	1364	4,1	2	8	12,2	< 0,1	13	0,5	< 0,05	6010	1,57	17,7
M6 OX	31	140	2	19	10	140	39	< 0,5	41	6	2727	2,6	17	2	1,3	1,1	28	< 0,5	< 0,05	13	0,35	0,48
M9 OX	65	210	2	19	40	430	38	1,2	44	4	341	1,4	4	2	2,8	0,5	57	0,9	< 0,05	28	0,08	0,24
M10 OX	54	210	0	19	60	2780	24	< 0,5	40	4	2001	2,4	< 1	2	4,2	< 0,1	18	< 0,5	< 0,05	187	< 0,05	2,13
M12 OX	102	280	6	19	290	840	40	12,2	881	61	4399	5,7	4	21	6,4	11,4	270	2,7	5,37	87	0,11	0,59

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
FN1 OX	1,42	1,92	0,22	0,75	0,15	1,11	0,15	0,01	0,1	0,03	0,09	0,05	0,012
FN3 OX	4,8	8,11	0,82	3,29	0,71	3,1	0,69	0,08	0,43	0,09	0,21	0,16	0,417
FN5 OX	5,92	11,5	1,14	4,31	1,05	2,28	1,1	0,14	0,8	0,13	0,31	0,24	0,11
FN10 OX	4,51	7,36	0,68	2,73	0,47	4,38	0,46	0,04	0,3	0,07	0,13	0,1	0,021
FN11 OX	3,76	9,11	0,63	2,38	0,6	2,31	0,44	0,05	0,31	0,07	0,18	0,11	0,266
M1 OX	16,9	28	3,44	12,4	2,79	6,08	2,89	0,36	1,87	0,33	0,86	0,58	0,446
M3 OX	4,27	6,34	0,74	3,25	0,71	2,05	0,93	0,11	0,65	0,12	0,32	0,21	0,185
M5 OX	8,26	12,4	1,45	5,92	1,17	2,68	1,16	0,14	0,74	0,13	0,32	0,2	0,05
M6 OX	4	5,96	0,64	2,38	0,57	4,35	0,54	0,06	0,34	0,06	0,15	0,1	0,122
M9 OX	2,03	3,52	0,32	1,16	0,3	4,5	0,22	0,01	0,11	0,03	0,05	0,02	1,45
M10 OX	5,99	12,6	1,01	3,71	0,75	4,45	0,59	0,07	0,42	0,05	0,16	0,08	0
M12 OX	4,93	7,57	0,99	4,1	0,91	3,09	1	0,11	0,66	0,13	0,35	0,27	0

Elementos mayores (%), elementos traza y tierras raras (ppm).

pátinas de óxidos de hierro.

Al microscopio, se observa textura bandeada donde se reconoce la alternancia de bandas de cuarzo, óxidos de manganeso (pirolusita y psilomelano) de hábito fibroso, carbonatos (calcita blanca y negra) y ocasionalmente óxidos de hierro (hematita). La hematita también se presenta como pátinas y en venillas que atraviesan al carbonato y al cuarzo. Además se observan pirita, calcopirita y oro presentes en la ganga de cuarzo masivo. Los sulfuros son escasos y se presentan como agregados anhedrales y el oro se encuentra en pequeñas inclusiones anhedrales. (Fig. 4b, c, d y e).

GEOQUÍMICA

Se analizaron 14 muestras de la veta tomadas de interior de mina y 12 muestras de concentrados de óxidos de manganeso seleccionados manualmente. Se determinaron los elementos mayoritarios, trazas y tierras raras en el Laboratorio Genanalyses en Perth con XRF (Fluorescencia de Rayos X) e ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Los resultados se presentan en los cuadros 1 y 2.

Los análisis geoquímicos de los elementos traza en la veta presentan altos contenidos en Sr, Zn y Cu, elementos indica-

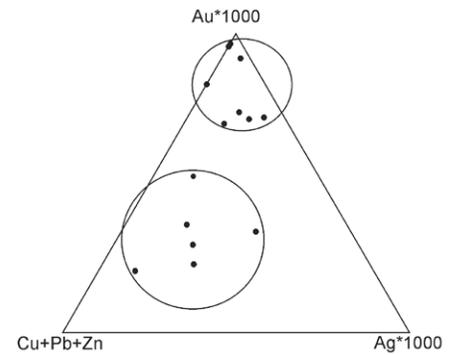


Figura 5: Diagrama ternario que muestra el contenido en Au, Ag y Cu+Pb+Zn de la veta.

dores de origen hidrotermal (Nicholson 1992). La relación Co/Zn utilizada como indicador genético (Toth 1980 y Rodrí-

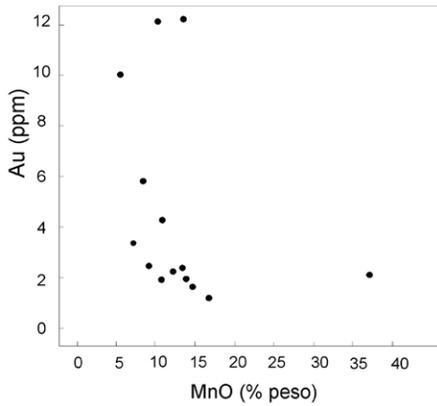


Figura 6: Diagrama binario que muestra la relación entre el oro y los óxido de manganeso.

guez Díaz *et al.* 2010) indica un origen hidrotermal para valores de Co mucho menores que Zn y un origen supergénico cuando los valores de Co son mayores que los de Zn. La baja relación Co/Zn observada en todas las muestras de la veta sugiere un origen hidrotermal y no supergénico.

En cuanto a los valores de Au en la veta, se observa que las muestras que poseen altos contenidos de Au, en general, son pobres en Ag y pueden distinguirse dos grupos: 1) con altos contenidos de Au y bajos contenidos de metales base y 2) con menores tenores de Au y un significativo enriquecimiento en metales base (Fig. 5).

Se plotearon las muestras de veta en un diagrama Au vs. MnO (Fig. 6) en donde se observa que a medida que aumentan los contenidos de Au, disminuyen los valores de MnO mostrando una débil correlación negativa. En cuanto a la relación del Au con Sb y As, es posible observar una correlación positiva moderada, que es más marcada en el caso de Sb (Fig. 7a y b).

Con respecto a la concentración de tierras raras en la veta, se puede observar que el contenido de tierras raras livianas promedio es de 18,85 ppm; mientras que el de las tierras raras pesadas es 2,46 ppm. En el diagrama normalizado a condrito de Taylor y McLennan (1985) se observa una marcada anomalía positiva en Eu (Fig. 8). Las muestras analizadas de los óxidos de manganeso de la veta presentan altos contenidos en As (38 a 881 ppm), Cu (10 a 1430 ppm), Mo (2 a 26 ppm), Pb (6 a 6010 ppm), V (7 a 102 ppm) y Zn (80

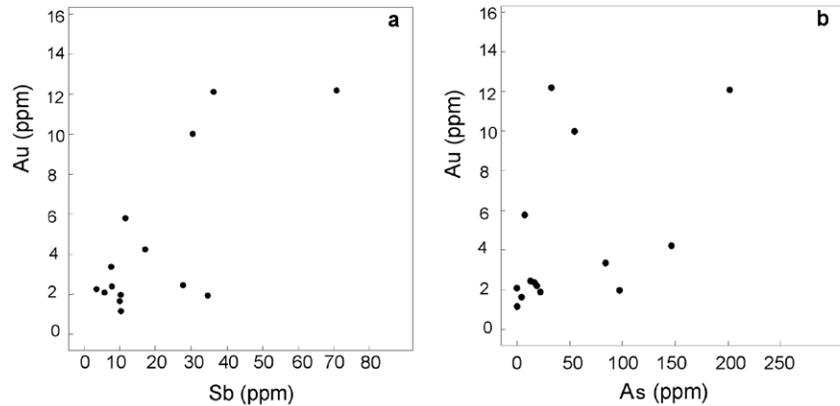


Figura 7: Diagramas binarios: a) Relación entre Au y Sb. b) Relación entre Au y As.

a 10000 ppm). La relación Co+Ni vs. As+Cu+Mo+Pb+V+Zn (Fig. 9) indica que los óxidos de manganeso se formaron bajo condiciones hidrotermales (Nicholson 1992).

Isótopos de carbono y oxígeno

Se analizaron 8 muestras de carbonatos para el estudio de isótopos estables. Las muestras de calcita para el análisis isotópico se seleccionaron a mano de la veta previamente molida en el Laboratorio Isotópico G.G Hatch de la Universidad de Ottawa, Canadá. Los valores $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ se determinaron utilizando un XP Delta y un banco de Gas II siguiendo los métodos de Coplen *et al.* (1983) y Al-Asam *et al.* (1990).

Los valores de los isótopos de carbono de los carbonatos presentes en la veta varían desde -4,05 a 1,90‰ PDB. Estos datos son coherentes con los valores de carbonatos precipitados a partir de aguas superficiales cuyo $\delta^{13}C$ en general se encuentra entre -5 y 15‰ (Hoefs 1997). Los isótopos de oxígeno varían de 20,94 a 26,84‰ SMOW (Cuadro 3).

Los valores $\delta^{13}C$ (PDB) y $\delta^{18}O$ (SMOW) del fluido hidrotermal en equilibrio con la calcita varían entre 3,18 y -2,77‰ y 13,67 y 19,57‰ respectivamente (Cuadro 3). Para el cálculo, se utilizaron las ecuaciones de fraccionamiento de O’Neil *et al.* (1969) y Bottinga (1968) a una temperatura media inferida de 250°C, teniendo en cuenta, por un lado la paragénesis mineral y la textura de la veta que reflejan bajas temperaturas y por el otro, los resultados

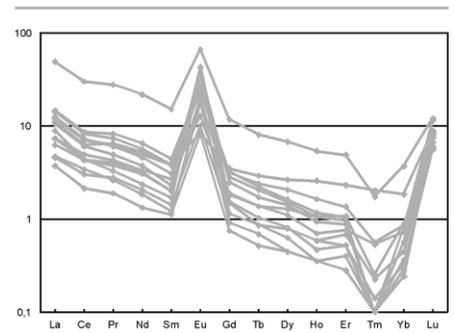


Figura 8: Diagrama de tierras raras normalizadas a condrito (Taylor y McLennan 1985) de la veta Farallón Negro Rama Norte.

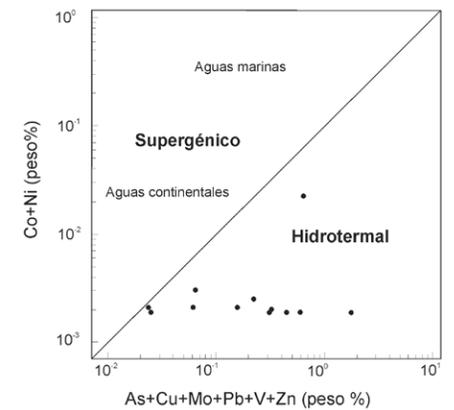


Figura 9: Diagrama binario de Nicholson (1992) para diferenciar ambientes de formación supergénico e hidrotermal en los óxidos de manganeso.

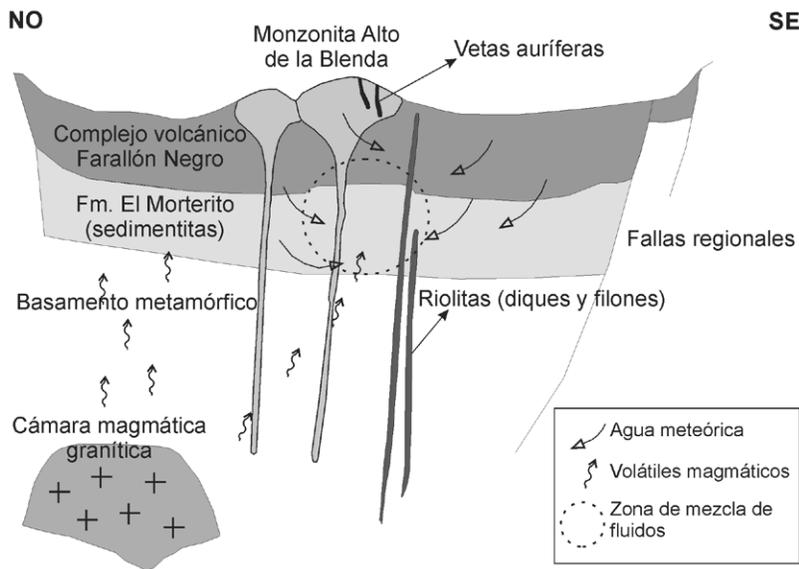
geoquímicos obtenidos que indican temperaturas ligeramente superiores.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio geoquímico de la mineralización permite distinguir dos grupos de muestras con bajos contenidos en plata:

CUADRO 3: Composición isotópica de la ganga carbonática de la veta Farallón Negro Rama Norte.

Muestra de veta	Comp. de la calcita		Comp. del fluido (250°)	
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} \text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \text{‰}$
FN1	-1,08	20,94	0,20	13,67
FN11	-0,68	26,42	0,60	19,15
M6	-1,82	24,33	-0,54	17,06
M7	-4,05	26,84	-2,77	19,57
FN3	-1,75	22,08	-0,47	14,81
FN5	-2,46	22,36	-1,18	15,09
M1	-0,80	22,72	-0,48	15,45
M9	1,90	26,37	3,18	19,10

**Figura 10:** Modelo esquemático de formación de las vetas auríferas del área de estudio. (modificado de Sillitoe y Hedenquist 2003).

uno con altos contenidos en Au y bajo en metales base y otro con menor contenido en Au y un significativo enriquecimiento en metales base. Esto podría indicar la presencia de dos pulsos de mineralización.

La correlación negativa observada entre Au y MnO indicaría que la mineralización aurífera no estaría acompañada por la presencia de estos óxidos.

La baja relación Co/Zn observada en las muestras es coherente con el origen hidrotermal de la mineralización (Toth 1980 y Rodríguez Díaz *et al.* 2010).

El análisis de tierras raras en la veta muestra una marcada anomalía positiva en Eu. El Eu es un elemento móvil en los fluidos hidrotermales (Michard *et al.* 1983 y Michard y Albarde 1986); su movilidad depende de las condiciones redox. El empobrecimiento en Eu indica fluidos hidrotermales oxidados y de baja tempe-

ratura, y un enriquecimiento revela fluidos calientes y reducidos (Parr 1992). La anomalía positiva de Eu observada en las muestras indicaría que la mineralización se habría depositado en condiciones reductoras a partir de fluidos con temperaturas superiores a 250° C (Parr 1992).

Los datos de isótopos de C y O indican que la mena se depositó a partir de un sistema epitermal constituido por una mezcla de fluidos magmáticos y meteóricos. Esto se evidencia por el rango de valores del $\delta^{13}\text{C}$ que presentan los carbonatos (Ohmoto y Rye 1979, Field y Fifarek 1985 y Kerrich 1987). Asimismo, los altos valores del $\delta^{18}\text{O}$ calculados para el fluido, indicarían que los mismos circularon y se reequilibraron isotópicamente en un ambiente de rocas sedimentarias (Rollinson 1993) lo que sugeriría su presencia en el subsuelo (Fig. 10).

La mineralogía y textura de la veta, la alteración argilíca intermedia, la escasa presencia de sulfuros, el bajo contenido en plata y las condiciones reductoras del fluido hidrotermal son características que permitirían clasificar a la veta Farallón Negro Rama Norte dentro de un sistema epitermal de baja sulfuración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD) por permitir realizar el trabajo dentro de la mina, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Fundación Miguel Lillo, a la *Society of Economic Geologists* (SEG) y al *Centre for Exploration and Targeting* (CET) por el apoyo económico para realizar los estudios geoquímicos e isotópicos. Así mismo agradecemos las valiosas sugerencias brindadas en el apartado de isótopos por el Dr. Esteban Cardelach y a los revisores que con sus aportes y comentarios enriquecieron de manera sustancial este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Al-AAsm, I.S., Taylor, B.E. y South, B. 1990. Stable isotope analysis of multiple carbonate samples using selective acid extraction. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 80: 119-125.
- Alderete, M. C. 1999. Distrito Farallón Negro - Alto de la Blenda, Catamarca. En Zapettini, E.O. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1637-1642, Buenos Aires.
- Anzótegui, L.M., Garralla, S. y Herbst, R. 2007. *Fabaceae de la Formación El Morterito (Mioceno Superior) del valle del Cajón, provincia de Catamarca, Argentina*. *Ameghiniana* 44: 183-196.
- Bottinga, Y. 1968. Calculation of fractionation factors for carbon and oxygen isotopic exchange in the system calcite-carbon dioxide-water. *Journal Physics Chemistry* 72: 800-808.
- Coplen, T.B., Kendall, C., y Hopple, J. 1983. Comparison of stable isotope reference samples, *Nature* 302: 236-238.
- Field, C.W. y Fifarek, R.H. 1985. Light stable isotope systematics in the epithermal environment, in Berger, B.R., y Bethke, P.M. (eds.), *Geology*

- and geochemistry of epithermal systems. *Reviews in Economic Geology* 2: 99-128.
- Fogliata, A. y Hagemann, S. 2011. Diverse gold systems in Argentina. 11th Biennial Meeting SGA 2011 (Society for Geology Applied to Mineral Deposits) Ore Forming Processes: 61-63. Antofagasta.
- Gutiérrez, A.A. 2000. Dispersión Geoquímica Primaria y Metalogénesis de Depósitos Tipo Pórfido Cuprífero y Epitermal, Distrito Minero Agua de Dionisio, Argentina. Tesis de magister, Universidad Católica del Norte, (inédita), 131p., Antofagasta.
- Gutiérrez, A. A., Guerra S., N. y Alderete, M. C. 2002. Zonación geoquímica del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Argentina. 11° Congreso Peruano de Geología, Actas 1: 15 p., Lima.
- Gutiérrez, A. A., Chong D., G. y Espinoza R., S. 2006. Niveles de exposición de yacimientos del distrito minero Agua de Dionisio (YMAD), Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 61: 269-278.
- Halter, W.E., Heinrich, C.A., and Pettke, T. 2004. Magma evolution and the formation of porphyry Cu-Au ore fluids: Evidence from silicate and sulfide melt inclusions. *Mineralium Deposita* 389: 845-863.
- Harris, A.C., Bryan, S.E. y Holcombe R.J. 2006. Volcanic setting of the Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, Farallón Negro volcanics, Northwest Argentina *Economic Geology* 101: 71-94.
- Hoefs, J. 1997. *Stable Isotope Geochemistry* 4ª edición. Springer-Verlag, 201 p. Berlin.
- JICA-MMAJ 1991. Informe Provisional sobre el Estudio de Factibilidad previa para el desarrollo Minero en el área de Farallón Negro, República Argentina. YMAD, (inédito), 106 p., Catamarca.
- Kerrick, R. 1987. The Stable Isotope Geochemistry of Au-Ag Vein Deposits in Metamorphic Rocks. En Kyser T.K. (eds.). *Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Fluids*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook 13: 287-336.
- Llambías, E. 1970. Geología de los Yacimientos Mineros de Agua de Dionisio, provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 1: 3-32.
- 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, Hualfín, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18: 177-179.
- Michard, A. y Albarede, F. 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. *Chemical Geology* 55: 51-60.
- Michard, A., Albarede, F., Michard, G., Minster, J.F. y Charlou, J.L. 1983. Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from the East Pacific Rise hydrothermal vent field (13). *Nature* 303: 795-797.
- Mirré, J.C. y Aceñolaza, F.G. 1972. El hallazgo de *Oldhamia* sp. (Traza fósil) y su valor como evidencia de edad Cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde Occidental del Aconquija, provincia de Catamarca. *Ameghiniana* 9: 72-78.
- Nicholson, K. 1992. Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides: guides to metallogenesis. *Economic Geology* 87: 1253-1264.
- Ohmoto, H. y Rye, R.O. 1979. Isotope of sulfur and carbon. En Barnes, H.L. (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal deposits*, John Wiley & Sons, 567 p., New York.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N. y Mayeda, T.K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *Journal Chemistry Physics* 51: 5547-5558.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W. y Fanning, C. M. 2000. Age and origin of coeval TTG, I- and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 91: 151-168.
- Parr, J.M. 1992. Rare-earth element distribution in exhalites associated with Broken Hill-type mineralisation at the Pinnacles Deposit, New South Wales, Australia. *Chemical Geology* 100: 73-91.
- Parra, L.E. y Morales, J.A. 2003. Descripción e interpretación de la columna estratigráfica tipo de la serie vulcano-sedimentaria neógena del Valle del Cajón (Catamarca, Argentina). *Geogaceta* 33:55-58.
- Peirano, A. 1944. Un centro volcánico moderno en el Distrito de Hualfín, provincia de Catamarca. 3° Cuadernos de Mineralogía y Geología, Universidad Nacional de Tucumán: 12- 13: 272-281 y 28-60.
- Proffett, J.M. 2003. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, Argentina. *Economic Geology* 98: 1535-1574.
- Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 41-96, Buenos Aires.
- Rodríguez Díaz, A.A, Florido, D.B, Canet, C., Linares, F.G, Partida, E.G, Prol Ledesma, R. M, Morales-Ruano, S. y García-Vallès, M. 2010. Metalogenia del depósito de manganeso Santa Rosa, Baja California Sur, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62: 141-159.
- Rollinson, H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman, Essex, 352 p., New York.
- Sasso, A. 1997. Geological evolution and metallogenetic relationships of the Farallón Negro Volcanic Complex, NW Argentina. Tesis doctoral, Universidad de Queens, (inédita), 842 p., Kingstom.
- 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.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. En Simmons, S.F., y Graham, I.J., (eds.), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth: Society of Economic Geologists Special Publication* 10: 315-343.
- Sister, R.G. 1965. Informe geológico económico de Farallón Negro y zona adyacente, Distrito Hualfín, Departamento Belén, provincia de Catamarca. *Ópera Lilloana* 8:15-35 y 81- 83.
- Taylor, S.R. y McLennan, S.M. 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*: Surrey, U.K., Blackwell Scientific Publications, 312 p., Oxford.
- Toth, J.R. 1980. Deposition of submarine crust rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin*: 91: 44-54.
- Turner, J.C. 1962. Estratigrafía de la región al naciente de Laguna Blanca (Catamarca). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17:11-14.

Recibido: 30 de diciembre, 2013

Aceptado: 14 de septiembre, 2014