

El yacimiento de Zn-Pb-Cu-Ag tipo VMS María Teresa, Perú: geología y exploración

Edgar Pichardo¹, Lluís Fontboté², Thed Mena¹, Oscar Chirinos¹, William Halter²

¹ Minera Colquisiri S.A., Parque Norte 724, Lima, Perú (epichardo@colquisiri.com.pe)

² Department of Earth Sciences, University of Geneva, Switzerland, (lluis.fontbote@unige.ch)

Abstract

Mineralization at the María Teresa VMS deposit (>18 Mt high grade Zn-Pb-Ag±Cu ore) replaces essentially volcanic and subvolcanic rocks of uppermost Cretaceous age with compositions ranging from basaltic andesite to rhyodacite. Subvertical andesitic and dacitic/rhyodacitic dykes oriented N150E cross-cut the volcanic sequence. All these rocks belong to the calc-alkaline series, typical of mature arcs. The ore occurs mainly in a set of elongated parallel massive sulfide±barite bodies oriented in the same direction 150E. The richest bodies and the strongest hydrothermal alteration are located within a corridor oriented N100E. This geometry can be explained by extensional fractures acting as feeders in a "pull-apart" caused by a N100E dextral fault (subsequently cut by the N160 trending El Abra strike-slip fault that displaces the western block W of the deposit about 500 m to the North). The ore bodies, planar to irregular with "root" zones, occur in a subhorizontal "prospective horizon" outlined by an alteration front between intense sericitization (±chlorite) at the footwall of the ore bodies and epidote-albite-chlorite-carbonates in the hanging wall and distal parts. The "prospective horizon" is interpreted as a paleo-horizon in which hydrothermal fluids ascending along N150E feeders mixed with seawater percolating in the volcanic pile. The intense sericitic alteration, the abundance of tetrahedrite-tennantite and the presence of enargite suggest that the ascending fluids were moderately acidic and oxidizing, characteristics compatible with fluids of magmatic-hydrothermal origin. This is consistent with the location of the María Teresa deposit in an intra-arc position.

1. Introducción

En la Mina María Teresa (Zn-Pb-Cu-Ag), situada a 11 km al NW de Huaral y 85 km al N de Lima, se explota un yacimiento de sulfuros masivos hospedado en rocas volcánicas (VMS). Forma parte del cinturón de yacimientos tipo VMS en el arco volcánico-plutónico del Cretácico en la región costera del centro de Perú y que incluye también los yacimientos de Cerro Lindo (Zn-Cu-Pb-Ag), Perubar (Zn-Pb), Palma (Zn-Pb), y Aurora Augusta (Zn-Cu) (Polliand et al., 2005, Romero et al., 2008, Farfán et al., 2019, Fontboté, 2019)

El yacimiento de María Teresa es explotado desde 1985 por Minera Colquisiri, S.A. La mina empezó en el sector de Calera (Fig. 1), donde afloraban cuerpos oxidados, en parte erosionados, con altos valores de plata y cuyo seguimiento en labores subterráneas permitió la identificación de cuerpos de sulfuros masivos de alta ley. Más tarde, se perforaron cuerpos similares al norte, en los sectores de Mina 2 y Bubulina (Fig. 1). La

producción acumulada hasta diciembre 2017 es de 9.5 Mt con 7.44% Zn, 0.49% Cu, 1.39% Pb, 4.02 oz Ag/t (Informes internos Colquisiri, S.A.). Recursos sin minar a julio 2018 son del orden de 8.7 Mt con 6.20% Zn, 1.10% Cu, 0.68% Pb, 1.93 oz Ag/t y corresponden en su mayor parte al cuerpo masivo Sofía D rico en Cu (7.1% Zn, 1.37% Cu, 0.64% Pb, 1.93 oz Ag/t).

En esta contribución se presentan aspectos de la geología, alteración y mineralización del yacimiento María Teresa, subrayando su génesis y contextualización geodinámica, en particular que el yacimiento se formó reemplazando rocas volcánicas y subvolcánicas en el mismo arco volcánico. También se discuten los parámetros y métodos que han permitido encontrar el cuerpo de sulfuro masivo Sofía D.

2. Marco geológico

La Fig. 1 presenta un mapa geológico simplificado del yacimiento de María Teresa. La litología principal son rocas volcánicas y

subvolcánicas de composición andesita basáltica a andesítica (Tabla 1, Fig. 2), que en parte forman diques de dirección N150E subverticales. Algunas rocas extrusivas son félsicas. La secuencia es atribuida al Cretácico terminal (Romero et al., 2008). El conjunto es cortado por diques dacíticos a riodacíticos, también de dirección N150E y subverticales. Debido a la alteración hidrotermal (Fig. 3), se han utilizado principalmente elementos traza inmóviles para la clasificación de las rocas volcánicas y subvolcánicas (Fig. 2). Según el diagrama Zr-Y-Nb de Wood (1980, Fig. 4), estas rocas, incluyendo los diques félsicos, pertenecen a

la serie calco-alcalina, típica de arcos volcánicos maduros. Las andesitas basálticas y andesitas muestran textura afanítica, localmente porfídica con fenocristales milimétricos de plagioclasa y anfíbol. En general, no se reconocen límites claros entre diferentes coladas volcánicas. Texturas amigdaloidales y autobrechas son frecuentes. En la parte superior de la secuencia volcánica se observan pillow lavas y hialoclastitas, en parte dentro de brechas caóticas, típicas de colapso de un edificio volcánico.

Aún a falta de contactos claros entre coladas, los datos existentes sugieren que las rocas volcánicas

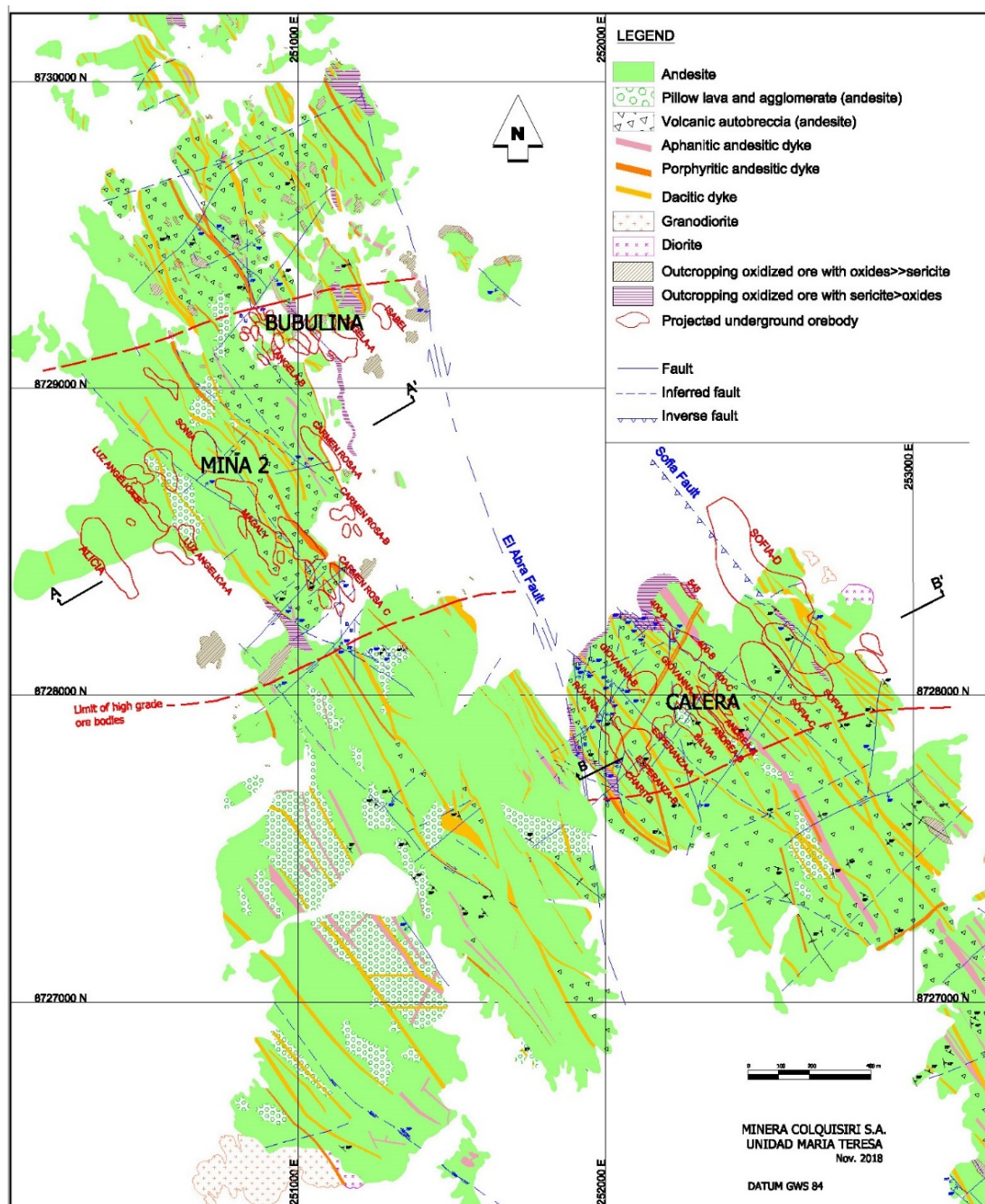


Fig. 1. Mapa geológico del yacimiento tipo VMS de María Teresa. Se ha mapeado como "andesita" a rocas principalmente de composición andesítica basáltica a andesítica. También hay algunas coladas félsicas que no se han representado.

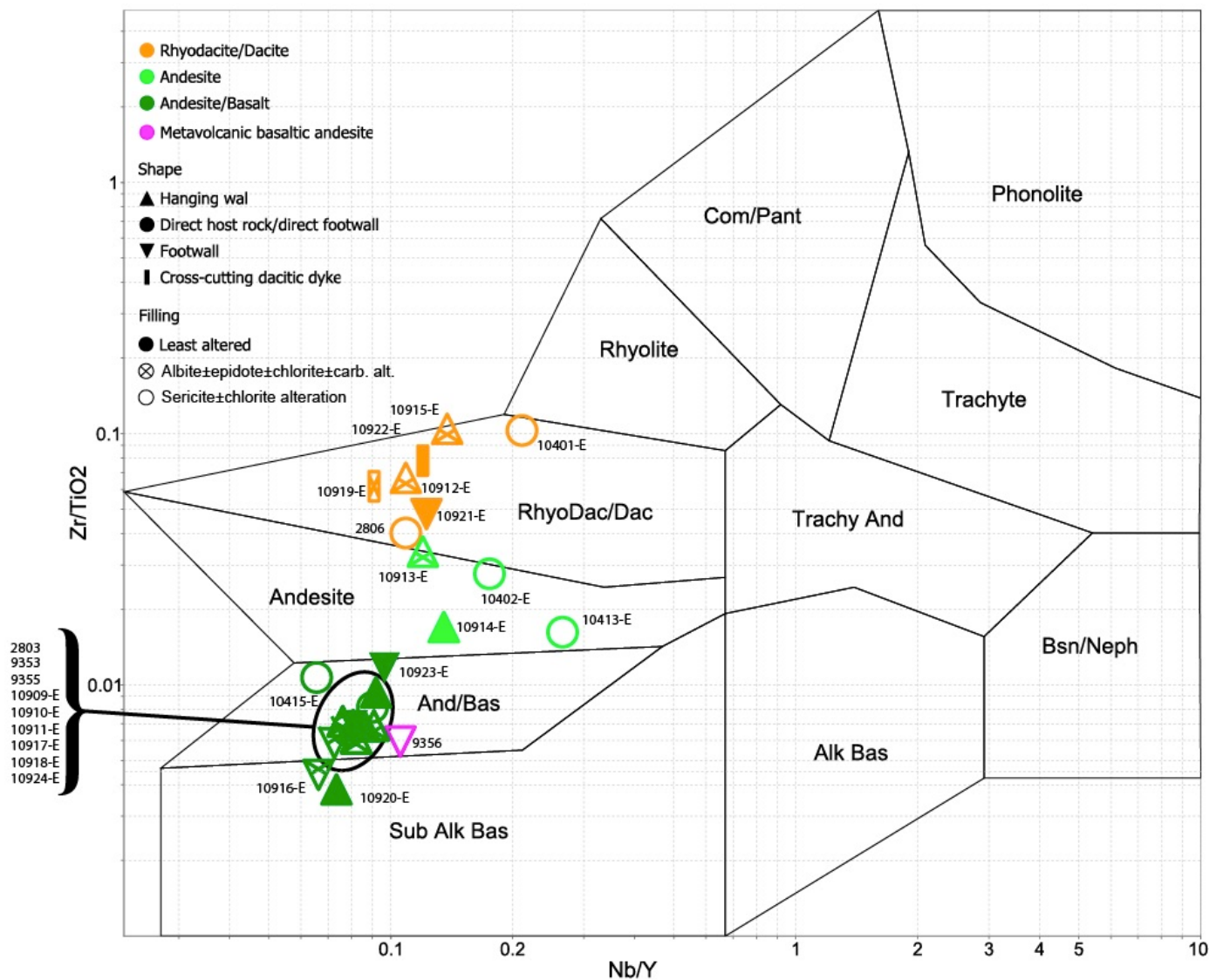


Fig. 2 Rocas volcánicas y subvolcánicas del yacimiento de Maria Teresa ubicadas en el diagrama de discriminación Zr/TiO₂ vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977). Datos de los análisis en tabla 1.

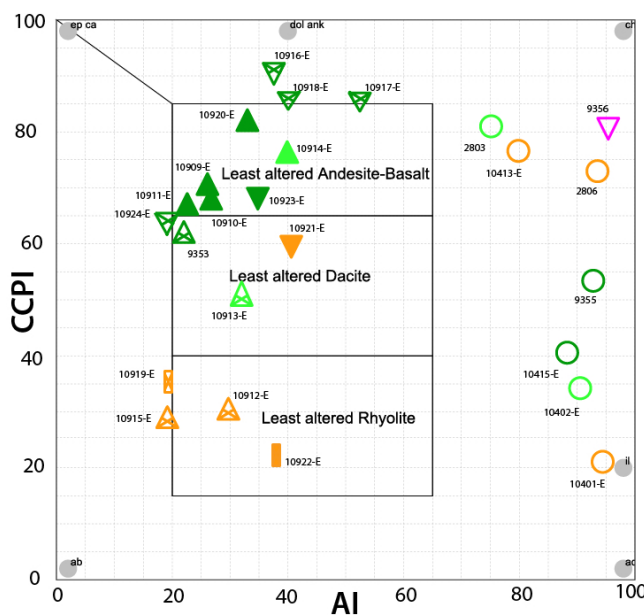


Fig. 3 Diagrama de alteración hidrotermal de Large et al. (2001). Mismas muestras y leyenda que en Fig. 2

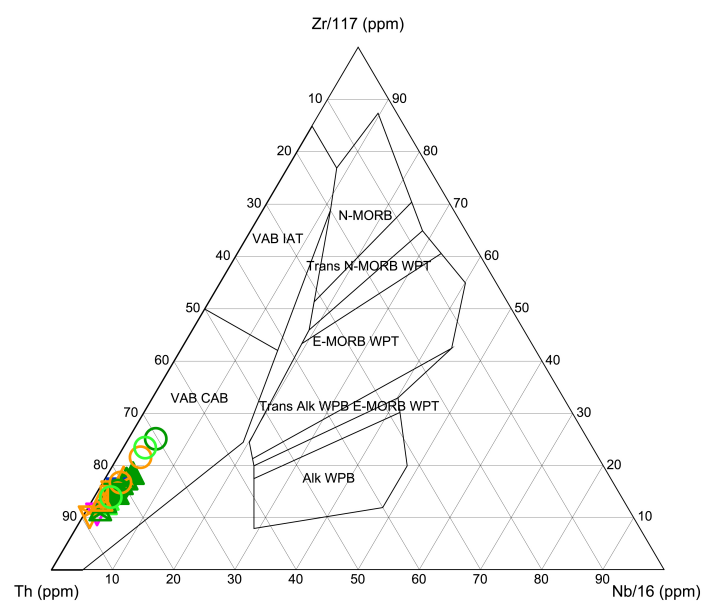


Fig. 4 Diagrama de discriminación Th-Zr/117-Nb/16 de Wood (1980). Todas las muestras analizadas caen en el campo de rocas de afinidad calco-alcalina de arco volcánico. Mismas muestras y leyenda que en Fig. 2.

Tabla 1 Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas en el yacimiento tipo VMS de Maria Teresa ordenados de N a S. Debido a la alteración hidrotermal, se ha usado el diagrama Zr/TiO2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) para clasificar las ricas. Análisis por XRF (mayores en disco fundido, menores en pastilla de polvo en las Universidades de Ginebra y Lausanne. Datos de S y de elementos mayores de muestra 009356 son semicuantitativos, de S sólo para muestras ricas en sulfuros/barita.

Sample	East	North	Masf	Rock type ¹	Alteration	Location	SiO2 %	TiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MnO %	MgO %	CaO %	Na2O %	K2O %	P2O5 %	LOI %	Zr ppm	Nb ppm	Y ppm	Yb ppm	Th ppm	Hf ppm	Ba ppm	Sr ppm	Rb ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	S %	Total %
10909-E	251205	8730034	221	Andesite/basalt	Least altered	Hanging wall, Bubulina	54.21	1.13	17.82	10.29	0.19	3.32	5.04	4.99	0.23	0.20	2.1	78	2.1	26	3.1	3.0	<DL	1122	324	4	91	141	12		99.7
10401-E	250745	8729680	186	Rhyodacite/dacite	Sericitexchlorite	Direct host rock surface	72.64	0.24	11.10	2.31	0.01	0.12	0.08	0.39	7.83	0.06	2.0	252	5.8	28	2.4	10.3	<DL	5442	96	110	54	245	1232	1.5	99.0
10402-E	250793	8729648	183	Andesite	Sericitexchlorite	Direct host rock surface	64.90	0.60	13.70	3.87	0.10	0.43	0.28	0.50	7.02	0.12	4.9	186	3.4	19	<DL	4.4	<DL	6083	84	96	162	517	3607	2.6	100.1
2803	251260	8729516	134	Andesite/basalt	Sericitexchlorite	Direct host rock, Angela B	40.89	1.13	17.62	16.05	0.72	6.18	2.61	0.78	4.06	0.22	5.9	74	2.1	27	<DL	3.4	<DL	6281	84	81	1709	5186	679	3.6	101.2
10919-E	250924	8729255	109	Rhyodacite/dacite	Albitexpidotexchloritexcarb	Cross-cutting dyke near Sonia	71.37	0.26	13.61	3.28	0.13	0.70	1.68	5.61	1.05	0.06	1.9	164	2.5	28	3.2	8.4	<DL	977	115	20	21	75	11		99.8
10910-E	251234	8729118	282	Andesite/basalt	Least altered	Hanging wall, surface over Carmen Rosa A	57.40	1.02	16.45	9.30	0.18	3.33	3.97	5.41	0.09	0.22	2.2	70	2.2	26	2.8	3.3	3.1	137	200	2	103	123	7		99.6
2806	250588	8728917	109	Rhyodacite/dacite	Sericitexchlorite	Direct host rock Angela B	60.60	0.48	15.06	7.14	0.40	3.68	0.00	0.48	3.26	0.10	5.6	193	4.5	41	5.2	5.7	9.7	4144	24	67	407	6853	1629	2.6	100.7
10916-E	251367	8728853	99	Andesite/basalt	Albitexpidotexchloritexcarb	Footwall Carmen Rosa B	48.92	1.12	15.39	13.00	0.32	6.11	9.70	1.36	0.54	0.11	2.8	49	1.3	20	<DL	2.2	<DL	1379	229	11	178	120	14		99.6
10415-E	252514	8728708	171	Andesite/basalt	Sericitexchlorite	Direct host rock surface	49.25	1.64	25.88	5.74	0.01	0.69	0.18	0.93	7.65	0.07	4.4	176	4.2	64	4.1	4.2	<DL	7038	79	137	23	63	1844	0.4	97.8
10413-E	252322	8728609	183	Andesite	Sericitexchlorite	Direct host rock surface	29.45	1.21	22.16	25.37	0.03	0.81	0.36	1.33	5.89	0.20	7.7	217	5.1	19	<DL	10.0	<DL	5185	403	104	769	394	35	0.7	95.9
10920-E	252937	8728589	134	Andesite/basalt	Least altered	Hanging wall Sofia A	54.23	0.57	14.31	8.59	0.19	7.01	11.44	3.08	0.14	0.05	0.5	22	<DL	10	<DL	1.5	<DL	271	200	3	90	81	7		100.1
10922-E	251576	8728558	-250	Rhyodacite/dacite	Least altered	Cross-cutting dyke, Carmen Rosa C	74.59	0.19	12.70	1.91	0.03	0.35	1.00	4.37	2.92	0.03	1.1	148	2.2	19	3.0	11.0	<DL	2376	77	38	4	21	11		99.5
10911-E	251563	8728525	284	Andesite/basalt	Least altered	Hanging wall, surface over Carmen Rosa C	59.94	1.17	14.37	10.37	0.23	2.49	3.00	5.74	0.06	0.30	2.2	110	3.2	35	5.6	3.9	4.6	38	98	<DL	54	145	7		100.0
10914-E	252571	8728495	248	Andesite	Least altered	Hanging wall, Calera	55.26	0.74	15.16	9.39	0.17	5.69	7.73	2.97	1.40	0.13	1.3	126	3.3	24	2.9	7.1	<DL	828	284	25	56	90	16		100.1
009353	252595	8728485	135	Andesite/basalt	Albitexpidotexchloritexcarb	Hanging wall Sofia D	56.20	1.19	18.09	8.61	0.38	2.23	4.57	5.49	0.60	0.27	1.1	85	2.2	29	3.8	3.5	3.0	936	240	15	112	472	166	0.7	99.6
009355	252595	8728485	133	Andesite/basalt	Sericitexchlorite	Direct host rock Sofia D	46.64	1.36	25.10	8.40	0.04	0.67	0.00	0.57	6.61	0.04	7.1	111	3.1	34	<DL	5.0	<DL	18403	47	119	87	266	158	2.2	100.6
009356	252599	8728463	131	Meta-andesite/basalt	Sericitexchlorite	Footwall Sofia D	39.19	1.08	15.63	13.67	0.98	8.56	0.47	0.18	4.86	0.10	8.1	65	1.7	16	<DL	4.5	4.0	3225	14	78	11	363	37	6.0	99.2
10915-E	252625	8728374	294	Rhyodacite/dacite	Albitexpidotexchloritexcarb	Hanging wall, Calera	74.34	0.27	12.95	2.57	0.02	0.47	1.76	5.53	1.26	0.04	0.3	282	6.3	46	5.5	10.8	3.0	518	129	18	4	40	8		99.6
10912-E	252028	8728261	230	Rhyodacite/dacite	Albitexpidotexchloritexcarb	Hanging wall, surface Calera	71.51	0.24	13.16	2.81	0.05	0.50	1.69	4.68	2.19	0.05	2.5	163	2.4	22	2.8	8.8	2.2	1120	78	38	6	25	3		99.5
10923-E	251492	8728248	-175	Andesite/basalt	Least altered	Footwall, Calera	57.30	0.95	15.91	9.40	0.27	3.09	3.53	4.32	1.10	0.28	3.4	111	3.3	34	3.6	5.4	<DL	531	137	23	74	153	12		99.7
10924-E	251437	8728215	70	Andesite/basalt	Albitexpidotexchloritexcarb	Footwall, Calera	47.28	0.96	17.39	9.17	0.19	3.12	8.21	5.97	0.34	0.14	4.9	62	1.4	20	<DL	3.4	2.0	277	294	5	103	81	12		97.8
10917-E	251392	8728185	30	Andesite/basalt	Albitexpidotexchloritexcarb	Footwall, Calera	32.33	1.15	19.12	14.96	0.21	6.92	8.96	0.27	3.23	0.11	10.3	70	1.7	21	2.9	3.3	4.0	1021	62	54	130	192	16		97.7
10921-E	251120	8728033	-190	Rhyodacite/dacite	Least altered	Footwall, Calera	63.62	0.46	13.65	5.35	0.30	1.54	4.80	1.54	2.80	0.09	5.2	222	4.9	40	4.2	10.5	3.3	1478	40	59	33	136	9		99.5
10918-E	251566	8727991	86	Andesite/basalt	Albitexpidotexchloritexcarb	Footwall, Calera	47.59	0.87	17.73	12.33	0.21	5.33	8.80	1.34	1.46	0.10	3.9	60	1.5	17	2.3	3.8	<DL	360	194	31	85	108	8		99.7
10913-E	252037	8727988	241	Andesite	Albitexpidotexchloritexcarb	Hanging wall, surface Calera	63.56	0.65	15.69	6.61	0.16	1.72	2.48	5.41	1.99	0.16	1.3	221	5.1	42	3.4	11.6	4.2	1267	193	28	40	102	12		99.9

son subhorizontales o buzan ligeramente hacia el W, lo que es consistente con la orientación subvertical de la mayoría de los diques y el hecho de que, como se detalla más adelante, los cuerpos minerales, aunque de morfología irregular, están comprendidos en un nivel subhorizontal a la escala del yacimiento.

Afloramientos de granodiorita, diorita y tonalita de decenas a centenares de metros de diámetro se observan al E del yacimiento y están alienados en la misma dirección que los diques (N150E, Fig. 1).

Se han reconocido dos fallas principales en el área. La falla de rumbo El Abra, subvertical y de orientación aproximadamente N160E y con 2 m de panizo ha desplazado el sector de Calera unos 500 m hacia el S respecto Mina 2 y Bubulina (Fig. 1). En Calera, la disposición de la mineralización y roca encajante requiere de la existencia de la falla inversa Sofía con orientación N140E que desplaza el bloque W sobre el E unos 90 m en sentido vertical. Fallas inversas regionales de esta dirección andina han sido descritas por Romero (2007) en la región costera del Perú central.

3. Mineralización y alteración

El yacimiento de María Teresa está principalmente constituido por cuerpos de sulfuros masivos lenticulares, cuyos ejes longitudinales tienen una orientación preferente N150E (Fig. 1). Los cuerpos tienen forma irregular, en parte con "raíces" a favor de estructuras N150E de alto ángulo buzando tanto al E como al W (Figs. 5 y 6), que se interpretan como canales de alimentación (feeders) que localmente muestran stockwork y estructuras bandeadas de sericita. La mineralización es casi exclusivamente por reemplazamiento, en parte masivo, de las lavas de composición de andesita basáltica y andesita y, en menor medida, de sills y diques de la misma composición. Los cuerpos gradan lateralmente y, en profundidad a mineralización en vetillas con leyes más bajas.

Una característica descolante es que los cuerpos de sulfuros masivos al W de la falla Sofía se ubican a cotas que definen un "nivel prospectivo" subhorizontal a la escala del yacimiento (entre las cotas 25 y 200 m.s.n.m. en Calera y entre las cotas -20 y 200 en Mina 2 y Bubulina; Fig. 5). Al E de la falla Sofía, el nivel prospectivo, en el que se encuentra el cuerpo Sofía D, está hundido unos 90 m (Figs. 5 y 6).

Los principales minerales económicos son esfalerita, tetraedrita-tenantita (con contenido de Ag, y más As que Sb), calcopirita, galena. Se han identificado también proporciones menores de bournonita, arsenopirita y trazas de covellita alterando calcopirita. Pirita y, en partes, barita de

grano fino a grano medio son abundantes. En un punto de Calera, "luzonita-famatinita" ha sido descrita por Díaz (2015). Los cuerpos de sulfuros masivos presentan típicamente al piso vetilleos irregulares de cuarzo-pirita±esfalerita gradando hacia el techo a bandas y lentes masivos de pirita-esfalerita-galena (Figs. 5 y 6). El cuerpo Sofía D, al E de Calera, es principalmente de sulfuros masivos con una zonación clara de Cu (en calcopirita) a Zn-Pb-Ba de piso a techo. En este cuerpo también se observa pirrotina.

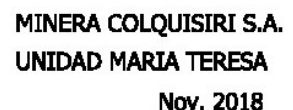
El "nivel prospectivo" de cuerpos de sulfuros masivos se ubica en un conspicuo frente de alteración. Al piso, intensa sericitización (índice de alteración AI de Ishikawa de >70, en parte > 90, Fig. 3) ± silicificación se puede extender por algunas decenas de metros y desarrollar facies foliadas (Figs. 5 y 6).

Bajo la zona con sericitización intensa y hasta el límite inferior de los sondeos (es decir, más de 350 m debajo del "nivel prospectivo") las rocas están piritizadas (2 a 10% en volumen) y cloritizadas (Fig. 5).

Al techo del "nivel prospectivo", en general, la alteración se caracteriza por ensambles con epidota, albita, clorita, carbonatos y pirita (menos de 2%). Esta alteración se observa también en partes alejadas a la mineralización y es la típica de alteración hidrotermal de rocas máficas y andesíticas por migración de agua marina (e.g., Alt et al., 2010).

Debajo del "nivel prospectivo", se han interceptado por perforación diamantina tramos discontinuos con vetillas de baja ley (~0.2 a 2% Zn, < 0.3 Cu) con cuarzo. Sondeos profundos muestran que estos enjambres de vetillas tienen desarrollo vertical y se extienden, como mínimo, hasta unos 250 m por debajo los cuerpos de sulfuros masivos (Fig. 5). Los sondeos también interceptan tramos sericitizados en profundidad que se interpretan como zonas de alimentación subverticales.

La parte Este del yacimiento, cerca de intrusiones granodioríticas, está afectada por metamorfismo de contacto. En rocas con alteración sericitica se observan porfiroblastos de cordierita y/o granate junto a biotita, flogopita y actinolita en sobreimposición a moscovita (Schmidt, 2017), dando lugar a una facies "moteada" característica. Biotita, cordierita y granate se han descrito en otros yacimientos tipo VMS como producto del metamorfismo de rocas sericitizadas (e.g., Shanks, 2012). El hecho de que cantidades abundantes de pirrotina se observen sólo en la parte Este sugiere que el metamorfismo de contacto propició la transformación de pirita en pirrotina por pérdida de azufre, algo observado en Perubar (Polliand et al., 1999).



Discusión

carbonatos como se observa en otros yacimientos tipo VHMS de Perú central (por ejemplo, en Palma, Farfán et al., 2019). El hecho que los cuerpos de mineral tengan una geometría en planta con elongación N150°E, y que sean

aproximadamente paralelos unos a otros, sugiere que existen numerosas zonas de alimentación paralelas con esa orientación preferencial que es también la dirección de los diques andesíticos (mineralizados) y diques dacíticos. Los cuerpos más ricos y los de contenido mayor de calcopirita y con mayor alteración sericitica se encuentran en la parte central de un corredor N100E (Fig.1). Esta geometría puede explicarse por un "pull-apart" originado por una falla de rumbo N100E dextral en el cual fracturas de tensión N150 han actuado como "feeders" de diques y mineralización.

El "horizonte prospectivo", subhorizontal, en la que se emplazan el frente de alteración sericitica y los cuerpos de sulfuros masivos, paralelo a la estratificación inferida de las lavas, se interpreta como un paleonivel de mezcla de fluidos hidrotermal que ascienden por las zonas de alimentación con fluidos más fríos, que por el contexto geológico general, la presencia de "pillow lavas" en la parte superior de la secuencia y la albitización podrían ser de origen marino. La intensa alteración sericitica, la abundancia de tetraedrita-tennantita y la presencia de enargita sugieren que los fluidos ascendentes eran moderadamente ácidos y oxidantes, características compatibles con fluidos magmático-hidrotermales (Fontboté, 2019). Esto es consistente con una ubicación del yacimiento en posición intra-arco como se ha propuesto para Perubar por Polliand et al. (2005) y no en posición de tras-arco. La edad de Colquisiri (68 ± 6 Ma, Rb/Sr en sericitita, Romero et al., 2008) es parecida a la de Perubar (entre 69.71 ± 0.18 Ma y 68.92 ± 0.16 Ma, U-Pb en circón, Polliand et al., 2005).

Aplicación para la exploración

La abundancia de pirita en la secuencia dificulta métodos geofísicos eléctricos. Tests de gravimetría producen anomalías positivas sobre cuerpos masivos de gran tamaño, aunque no dan resultados positivos en los de tamaño moderado. El descubrimiento reciente de pirrotina en la parte E del yacimiento abre la puerta al uso de métodos magnéticos. Geología sistemática, zonación de la alteración y mineralógica, estudio estructural e identificación de zonas de alteración intensa son clave para la exploración y han permitido el descubrimiento del cuerpo Sofía D.

Agradecimientos

Agradecemos a la Gerencia General de Colquisiri. S.A. el apoyo y autorización para publicar esta contribución y la constructiva revisión del Dr. L. Torró (PUCP).

Referencias

- Alt, J.C., Laverne, C., Coggon, R.M., Teagle, D.A.H., Banerjee, N.R., Morgan, S., Smith-Duque, C., Harris, M. y Galli, G. (2010) Subsurface structure of a submarine hydrothermal system in ocean crust formed at the East Pacific Rise, ODP/IODP Site 1256, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11 Q10010.
- Díaz, M. (2015) Estudio microscópico de 41 muestras de roca. Informe privado APT para Minera Colquisiri, 100 p.
- Fontboté, L. (2019) Volcanogenic Zn-Pb±Cu massive sulfide deposits in the Upper Cretaceous plutono-volcanic arc in central Peru. Proexplo 2019, Lima, resúmenes extendidos
- Farfán, C., Monge, R. y Fontboté, L. (2019) Palma, yacimiento de Zn-Pb tipo VMS en una cuenca intra-arco del Cretácico Superior en Perú central, nuevos avances en exploración para un gran potencial. Proexplo 2019, Lima, resúmenes extendidos.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Ywaya, S. y Horiuchi, M. (1976) Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism underlying dacite and alteration haloes. *Mining Geology*, v. 26, p. 105-117.
- Large, R.R., Gemmell, J. B., Paulick, H. y Huston, D. L. (2001) The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithogeochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 96, 957-971.
- Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M. y Fontboté, L. (2005) Formation of intra-arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction: field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, v. 94, 231-242.
- Polliand, M., Fontboté, L. y Spangenberg, J. (1999) Tracing back sulfur isotope reequilibration due to contact metamorphism: A case study from the Perubar VMS deposit, Central Peru. In: C.J. Stanley et al. (eds.), *Mineral deposits: processes to processing*, 5th biennial SGA meeting, London, England, 22-25 August 1999, Balkema, Rotterdam, p. 967-970.
- Romero, D. (2007) La Cuenca Cretácico Superior-Paleocena del Perú Central: un metalotecto para la exploración de SMV, ejemplo de la mina María Teresa. Tesis Maestría Red Desir, UNSAAC, 98 p.
- Romero, D., Quispe, J., Carlotto, V. y Tassinari, C. (2008). Los depósitos de la cuenca Maastrichtiano - Daniano: relación con los yacimientos tipo sulfuros masivos volcanogénicos de Pb - Zn - Cu; Perú central. En: *Congreso Peruano de Geología*, 14, Lima, 2008. CD - ROM . Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- Shanks, W. (2012) Hydrothermal alteration in volcanogenic massive sulfide occurrence model. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-C. 165-180
- Schmidt, S.Th. (2017) Petrography of 10 thin sections and XR diffractometry of three samples of Maria Teresa Mine, Minera Colquisiri, S.A. Private report, 18 p.
- Winchester, J.A. y Floyd, P. A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements, *Chemical Geology*, 1977, v. 20, p. 325-343.
- Wood D.A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 50, p. 11-30.



pro**EXPLO**
2019

EL YACIMIENTO DE ZN- PB-CU-AG TIPO VMS MARÍA TERESA, PERÚ: GEOLOGÍA Y EXPLORACIÓN

Edgar Pichardo,
Lluís Fontboté,
Thed Mena,
Oscar Chirinos,
William Halter

NOTAS