



POTENCIAL AURIFERO DE LOS SKARNS EN CONTACTO CON LAS ROCAS IGNEAS DE QUEBRADA MALA Y AREAS ADYACENTES, NEUQUEN, ARGENTINA.

Marta Franchini¹ y Angus Innes²

INTRODUCCION

En los últimos diez años los skarns con leyes altas de oro (entre 5 y 15 ppm) han sido objeto de una actividad exploratoria intensa e investigación detallada. Durante este periodo se descubrieron nuevos depósitos y este éxito ha permitido conocer los criterios relevantes para identificarlos y comprender los procesos vinculados a la mineralización de oro en skarns (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

En el ámbito de la Cordillera Principal de Neuquén, por primera vez se describen skarns que presentan una mineralogía inusual, típica de sistemas hidrotermales con fugacidad del oxígeno baja y una geoquímica que los diferencian de los skarns ricos en metales bases del margen convergente andino. En esta contribución se sintetizan los rasgos más sobresalientes de las alteraciones y mineralizaciones expuestas en el cerro Quebrada Mala y sus alrededores y se los comparan con las características de los típicos y más ricos depósitos de oro en skarns del mundo. Los resultados preliminares de este trabajo sugieren que el potencial aurífero de la zona es alto para estimular tareas exploratorias de detalle.

Estos resultados están basados en los estudios microscópicos de 140 muestras tomadas durante el mapeo de las unidades geológicas y alteraciones, en los análisis químicos de 101 silicatos con microsonda electrónica (JEOL 733 SUPERPROBE) y en la geoquímica de las muestras superficiales (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Bi, Sb, Fe).

AMBIENTE GEOLOGICO

El área de estudio se localiza en el norte de la provincia del Neuquén (Fig. 1). El rasgo estructural más sobresaliente es la Fosa de Chos Malal, una depresión del basamento rellena por una potente serie mesozoica plegada, ubicada entre el Alto de la Cordillera del Viento y el Macizo del Tromen. En los alrededores de Quebrada Mala las rocas sedimentarias expuestas corresponden a unidades del Ciclo Andico (Kimmeridgiense-Cenomaniano). Estas unidades comprenden al conjunto sedimentario integrado por las Formación Tordillo, una secuencia de areniscas y pelitas aluviales y de barreales marginales y a la Formación Vaca Muerta, una sucesión marina de limolitas feldespáticas-cuarzosas finamente laminadas, interstratificadas con capas arenosas y calizas micríticas; presenta además, una sección basal bituminosa.

Las rocas sedimentarias están intruidas por una serie de stocks dioríticos y dioríticos cuarzosos de grano fino a mediano constituidos por plagioclasa (An₅₀), anfíbol (ferro-edenita, silicita y edenita) y cuarzo con magnetita, ilmenita y esfena como accesorios menores (Cerros Quebrada Mala y Nevazón, Fig. 1). También afloran cuerpos ígneos más máficos, similares en composición al gabro (An₅₀, orto-clinopiroxeno, olivino y katoforita magnésica) y un cuerpo ígneo más diferenciado, de composición modal similar a granodiorita. Las muestras tomadas del núcleo de estos cuerpos están casi frescas. Otras muestras analizadas contienen biotita y un anfíbol fibroso que reemplazan parcialmente al anfíbol magmático. Rodeando a estos stocks hay numerosos cuerpos ígneos menores de andesitas y microgabros similares en composición a las dioritas y gabros, respectivamente, pero de textura porfídica. Estos cuerpos presentan alteración hidrotermal y están en contacto con los skarns (Fig. 1).

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Dirección Provincial de Minería, Casilla de Correo 141, 8340 Zapala, Neuquén, Argentina.

² GANSA, Clark Drive, 5500 Mendoza, Argentina.

ALTERACIONES ASOCIADAS A LOS INTRUSIVOS DE QUEBRADA MALA Y AREAS ADYACENTES.

En el esquema de la Fig. 1 se presentan la ubicación de los tres skarns expuestos en el área y la distribución de las alteraciones en el skarn I, similar a las zonaciones observadas en los skarns II y III.

Endoskarn. El desarrollo de endoskarns parece haber comenzado con el reemplazo de los máficos magmáticos y a veces de la pasta, por anfíbol (hasta 35% del volumen) y/o biotita (hasta 15%) y del feldspato primario por feldespato alcalino. Estas muestras contienen sulfuros con pirrotina dominante. Los cuerpos ígneos que ocupan posiciones más elevadas del sistema hidrotermal presentan alteración arcillosa pervasiva (hasta 45 %) acompañada de pirita. La alteración de las andesitas es más intensa a lo largo del contacto con los exoskarns. Las rocas han sufrido metasomatismo con desarrollo de endoskarn de clinopiroxeno (hasta 35%), endoskarns masivos de escapolita (hasta 65%) y de granate (hasta 60%) con destrucción completa de la textura ígnea. Pirrotina con pirita y arsenopirita están presentes en cantidades inferiores al 5%.

Exoskarns. Los primeros efectos de la alteración observados en los protolitos sedimentarios del área consisten en la transformación de las limolitas calcáreas en hornfels biotíticos-feldespáticos (30% biotita, 25% feldespato potásico y 5% magnetita-rutilo ó 30 % sulfuros con pirrotina dominante), hornfels piroxénicos (15% clinopiroxeno y 15% sulfuros con abundancia de pirrotina) y hornfels anfibólicos (27% anfíbol y 20% sulfuros con pirrotina dominante).

Los efectos posteriores del metasomatismo fueron más intensos en la transformación de los protolitos sedimentarios. Los exoskarns progradantes son de grano muy fino a fino y a veces resultan rocas bandeadas en las que la laminación primaria se preserva como bandas alternadas de granate-piroxeno-vesuvianita. En términos generales, las zonas proximales de granate y de vesuvianita, las intermedias de clinopiroxeno-escapolita y una distal de wollastonita, constituyen un diseño de zonación mineralógica emergente de los exoskarns aplicable a escala del distrito: - **la zona proximal de granate:** contiene hasta 95% granate y 4% sulfuros con pirita dominante. Esta zona reemplaza un protolito rico en calcio; - **la zona proximal de vesuvianita:** contiene hasta 50% vesuvianita y aflora en contacto con rocas ígneas alteradas o próximas a ellas por lo que puede reemplazar calizas dolomíticas o zonas que han experimentado metasomatismo magnésico previo - **la zona intermedia de clinopiroxeno:** contiene hasta 80% clinopiroxeno y 8% sulfuros con pirrotina dominante. Esta zona reemplaza preferentemente protolitos clásticos y parece continuar luego de la zona de granate; - **la zona intermedia de escapolita:** contiene hasta 50% escapolita y 10% sulfuros con pirrotina (menor greigita y pirita según pirrotina con arsenopirita, calcopirita, chispas de oro y plata); reemplaza protolitos sedimentarios clásticos; - **zona de wollastonita:** expuesta al sur del área Quebrada Mala donde, aparentemente, constituye la zona más externa del exoskarn.

En los exoskarns también se han mapeado cuerpos masivos constituidos por magnetita fibrosa pseudomórfica según hematita en contacto con sulfuros (pirita con arsenopirita e inclusiones de pirrotina y calcopirita), cloritas y calcita. Otras zonas mapeadas consisten en asociaciones de minerales retrógradados dominantes: epidoto-cuarzo-calcita-pirita según granate; calcita-anfibol-cloritas según clinopiroxeno y calcita-cuarzo según escapolita.

COMPOSICION QUIMICA DE LOS SILICATOS

Los valores $Mg/Mg+Fe$ de biotitas secundarias en skarns de cobre son más altos que los valores de las biotitas presentes en los skarns de oro, por lo que parece existir una correlación entre $Mg/Mg+Fe$ en biotitas, la relación Au/Cu y los grados de Au en los skarns de Au (4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13). Las relaciones $Mg/Mg+Fe$ en las biotitas de Quebrada Mala (Fig. 2) indican que la mayoría de las biotitas secundarias en andesitas y algunas en microgabros

presentan relaciones Mg/Mg+ □Fe bajas, similares a las biotitas de Nickel Plate (4). Los valores Mg/Mg+ □Fe más altos en algunas biotitas de los microgabros corresponden a biotitas primarias y pueden reflejar tanto las condiciones de fO₂ como la composición total de la roca ígnea. En los hornfels, valores de Mg/Mg+ □Fe altos pueden atribuirse a un fuerte control del protolito sedimentario en las composiciones de las primeras alteraciones de Quebrada Mala.

Los anfíboles secundarios en rocas ígneas, en hornfels y en exoskarns de Quebrada Mala presentan composiciones entre actinolita-hornblenda magnésica, ferro-actinolita y katoforita magnésica, un anfíbol sódico-cálcico (14). Estos anfíboles son similares a los anfíboles hidrotermales del skarn y de la roca ígnea de Fortitude (8), del hornfels y skarn de Mc Coy (7) y de otros skarns de oro (2).

Los análisis químicos de granates constituyen un rango muy amplio de valores entre los términos extremos grosularia y andradita en tanto que la fracción molar de pyralspita no supera al 3 % (Gr_{0,6-90,4}; Ad_{7,5-98,5}; Py_{0,6-2,9}). Como granate, los piroxenos muestran un amplio rango composicional y la fracción molar de johannsenita no es mayor de 6% (Di_{4,8-91,5}; Hd_{7,5-79}; Jo_{0,12-5,8}). Los piroxenos analizados son mayormente diopsídicos en los endoskarns y hedenbergíticos en los exoskarns de los tres skarns de Quebrada Mala.

En la Fig. 3 se resumen las composiciones de los granates y piroxenos de Quebrada Mala; para comparar se han agregado las composiciones de granates y piroxenos de los skarns ricos en oro y los campos de estos silicatos en skarns de Cu (15,16). Las composiciones químicas de granates y piroxenos en los skarns estudiados son similares a las composiciones químicas de los granates y piroxenos de los skarns de oro y sus términos abarcan rangos de composición mucho más amplios que estos silicatos en los skarns de Cu.

En un endoskarn de Quebrada Mala la escapolita analizada es rica en sodio (Me_{27,8}) en tanto que en los exoskarns las escapolitas analizadas son miembros intermedios de la serie (hasta Me₆₁). En las rocas ígneas del skarn de Au Nickel Plate, algunas escapolitas analizadas son ricas en sodio (Me₂₇), sin embargo otras escapolitas en el mármol ubicado debajo de la zona mineralizada de Nickel Plate parecen ser ricas en Ca (4).

GEOQUIMICA

Las concentraciones de los metales bases en las muestras analizadas son muy bajas (hasta 5 % de FeO_{total}; hasta 405 ppm Cu; hasta 409 ppm de Pb; no se detectó Zn) y los máximos valores de oro hallados corresponden a 48 ppb. En la Fig. 4 se presentan los valores de As, Sb, Ag y Bi en las muestras de Quebrada Mala y los valores de estos elementos trazas en los skarns de oro Fortitude (fO₂ baja; 12 Mt, 5,11 g/t Au) y Mc Coy (fO₂ más elevada; 14.5 Mt, 1,5 g/t Au) (17). Las muestras de Quebrada Mala presentan anomalías mayores de Sb y de Bi (con excepción de un valor) que todas las muestras de Mc Coy; si bien los valores más altos de Sb y Bi en Fortitude superan ampliamente a los valores de Quebrada Mala, existen otros casos donde los valores de los skarns-rocas ígneas neuquinos superan a las muestras seleccionadas de Fortitude. En el caso del arsénico, Quebrada Mala presenta varios valores anómalos similares a los valores más altos de Mc Coy. Finalmente, todas las muestras de Quebrada Mala contienen Ag pero estos valores son bajos al compararlos con sus pares de Fortitude y Mc Coy.

RESUMEN DE LAS OBSERVACIONES Y COMPARACION CON LOS SKARNS DE ORO. CONCLUSIONES

Los skarns de Quebrada Mala presentan rasgos distintivos y diagnósticos de los típicos y más ricos skarns de oro como Nickel Plate y Fortitude; ellos son: (a) el rasgo más importante para clasificar los skarns - su mineralogía (2, 16) -: piroxeno (Hd_{7,51-91,48}), granate (Ad_{7,48-94,52}), escapolita (Me_{27,77-61}), wollastonita, anfíbol (actinolita-hornblenda magnésica) y pirrotina como sulfuro dominante en skarns y rocas ígneas, minerales estables en ambientes con valores de fO₂ bajos; (b) presencia de biotita secundaria y feldespato alcalino en las rocas ígneas y en los hornfels; los valores Mg/Mg+Fe en las

biotitas secundarias de las rocas ígneas son bajos, característicos de ambientes con valores de la fugacidad del oxígeno bajos; **(c)** los skarns son pobres en metales bases y presentan anomalías de As, Sb y Bi y Ag; **(d)** su asociación con cuerpos ígneos máficos (dioritas- dioritas cuarzosas-gabros) con magnetita e ilmenita; **(e)** rocas hospedantes caracterizadas por una secuencia sedimentaria clástica -carbonática; **(f)** los minerales retrógados son escasos.

Si bien la ausencia de exposiciones verticales impidió establecer la zonación mineralógica completa para predecir la posibilidad de encontrar cuerpos mineralizados con oro en profundidad, las observaciones previas permiten concluir que los skarns de Quebrada Mala y alrededores no sólo constituyen un blanco de exploración muy atractivo por su potencial metálico, sino que también son similares a un modelo de skarn desconocido hasta el presente en este sector del margen convergente andino.

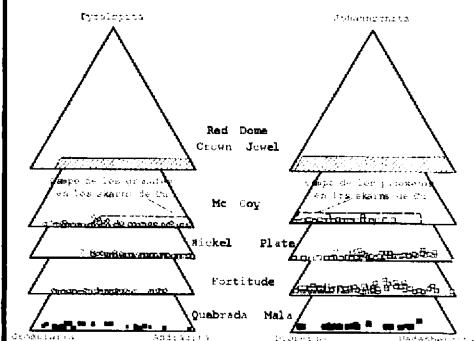
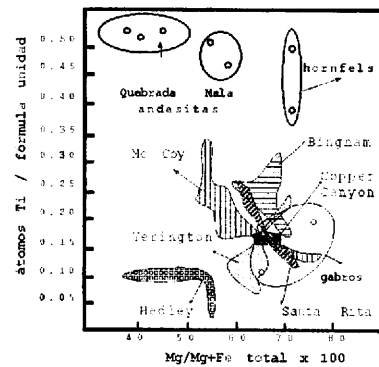
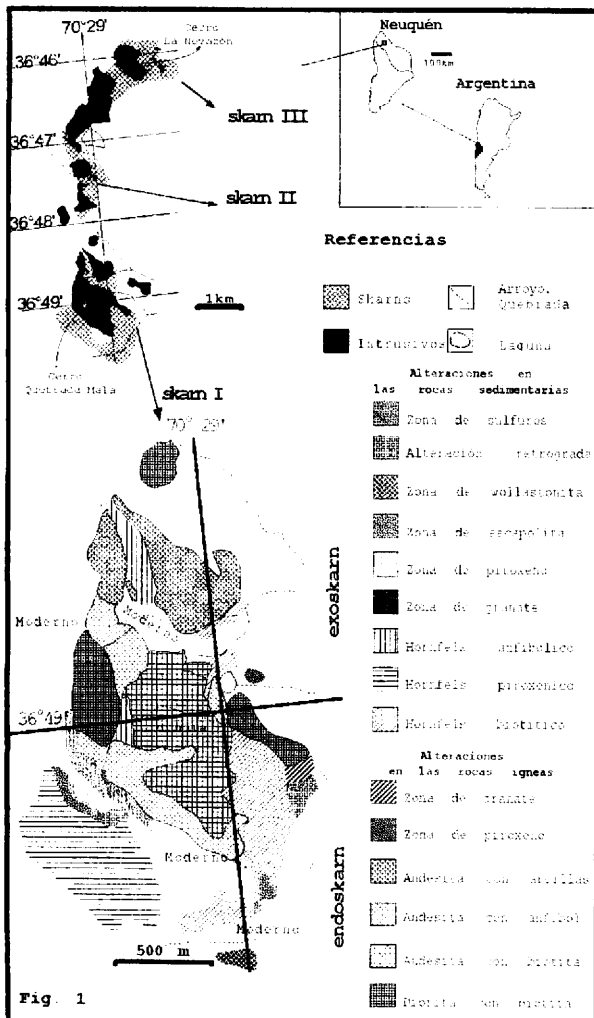
AGRADECIMIENTOS

Los análisis de los silicatos con microsonda electrónica y los análisis geoquímicos se llevaron a cabo en los laboratorios de Council for Geosciences en Pretoria, South Africa y S.G.S Laboratories, Chile, respectivamente. Expresamos nuestro reconocimiento a los geólogos Daniel Bussandri y Sergio López por las tareas de cartografía y muestreo; al cartógrafo Eduardo García por la digitalización de los mapas. El trabajo fue financiado por la empresa Gatro Argentina Minera S.A. (G.A.M.S.A.).

REFERENCIAS

- (1) Ewers, G.R. and Sun, S.S., 1988 Genesis of the Red Dome Gold Skarn Deposit, Northeast Queensland. New Haven, Conn., Econ. Geol. Pub. Co., Economic Geology monograph 6: 218-232.
- (2) Meinert, L. D., 1989. Gold-skarn deposits- Geology and exploration criteria, in Keays, Reid, Ramsey, Ross, and Groves, David, eds., The geology of gold deposits: The perspective in 1988: New Haven, Conn., Econ. Geol. Pub. Co., Economic Geology monograph 6: 537-552.
- (3) Theodore, T.G., Orris, G.J., Hammarstrom, J.M., and Bliss, J.S., 1991. Gold bearing Skarns: U.S.Geol. Survey Bulletin 1930, 61 p.
- (4) Ettingler, A.D., Meinert, L.D., and Ray, G.E., 1992. Skarn evolution and hydrothermal fluid characteristics in the Nickel Plate Deposit, Hedley, District, British Columbia, Canada: Economic Geology, vol 87 n 6: p.1541-1565.
- (5) Hickey, .R.J.III., 1992. The Buckhorn Mountain (Crown Jewel) gold skarn deposit, Okanogan County, Washington: Econ. Geol., v.87, p.125-141.
- (6) Meinert, L.D., 1992. Igneous petrogenesis and skarn deposits. En Kirkham R.H., and Sinclair, D., (Eds). Proceedings of the IAGOD conference on ore deposits model.
- (7) Brooks, J.W., 1994. Petrology and geochemistry of the McCoy gold skarn, Lander County, Nevada. unpublished Ph.D. thesis, Washington State University, 756p.
- (8) Myers, G. L., 1994. Geology of the Copper Canyon-Fortitude skarn System, Battle Mountain, Nevada: unpublished Ph.D. thesis, Washington State University, 356p.
- (9) Leveille, R.A, Newberry, R.J., y Bull, K.F., 1988. An oxidation state-alkalinity diagram for discriminating some gold-favorable plutons: An empirical and phenomenological approach: Geological Society of America Abstract with Programs, v. 20 n 7, p. A142,
- (10) Schwab, K.J., Keith, S.B., y Burt, D.M., 1989. Influences of magma oxidation state on biotite and amphibole compositions and possible relations to metallogeny: Geol. Soc. of America, Abstract with Programs, vol. 21., p. A118.
- (11) Lanier, G., Raab, J., Folsom, R. y Cone, S., 1978. Alteration of Equigranular Monzonite, Bingham Mining District, Utah. Economic Geology, vol. 73,, pp. 1270-1286.

- (12) Jacobs , D.C. y Parry W.T., 1979. Geoquímica de biotitas en la Santa Rita porphyry copper deposit, New Mexico. *Economic Geology*, vol. 74, p. 860-887.
- (13) Dilles, J.H., 1987. Petrology of the Yerington Batholith, Nevada: Evidence for evolution of porphyry copper ore fluids. *Economic Geology*, vol. 82: pp. 1789.
- (14) Leake, B.E., 1978. The nomenclature of amphiboles: *American Mineralogist*, vol. 63, p. 1023-1052.
- (15) Einaudi, M., 1982. Description of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America: in Titley, S.R; ed; *Advances in Geology of the porphyry copper deposits, Southwestern North America*, Tucson University, Arizona press, Chapter 7 (1982).
- (16) Meinert, L., 1992. Skarns and Skarn Deposits: *Geoscience Canada*, v.19, p. 145-162.
- (17) Meinert, L.D., Brooks, J., y Myers, G.L., 1991. Whole rock geochemistry and contrasts among skarn types: in *Skarns deposits of Nevada, Geology, Mineralogy, and Petrology of Au, Cu, W, and Zn skarns: Field trip Guidebook, 1990 Geological Society of Nevada, Great Basin Symposium, Reno, NV.*



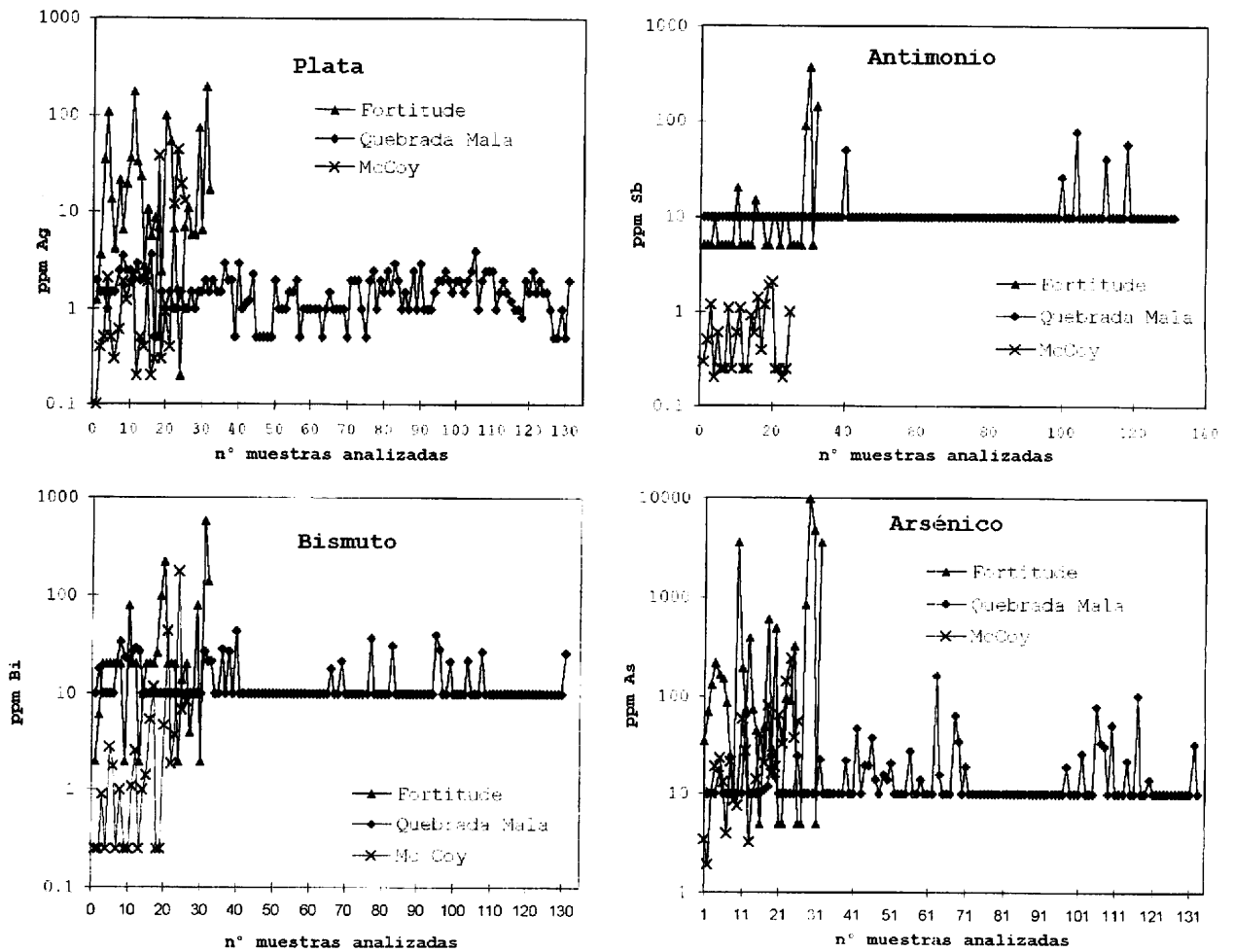


Fig. 4. Diagramas que muestran los valores geoquímicos representativos de Ag, As, Sb, y Bi en los skarns de oro y rocas ígneas de Fortitude y McCoy (16) y los valores de estos elementos trazas en las muestras analizadas de Quebrada Mala.