

La Esperanza: una nueva mineralización con Ni–Co en Sonora, México

Efrén Pérez-Segura¹, Rafael Gallardo-Romero²,
Victor A. Valencia-Gómez³ y Mark Padberg⁴

¹ Departamento de Geología, Universidad de Sonora,
Rosales y Blvd. Luis Encinas, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

² Minera Cascabel, S.A. de C.V. – Golden Bear Resources, S.A. de C.V.
Avenida 13 No. 100, Col. Bugambilias, Hermosillo, Sonora, México.

³ Department of Geosciences, University of Arizona, 85721 Tucson, Arizona, USA.

⁴ Golden Bear Resources, S.A. de C.V., Avenida del Paraíso No. 20,
Col. Rincón de Palma, 83317 Hermosillo, Sonora, México.

* *efrenpese@yahoo.com*

RESUMEN

Se reporta por primera vez en Sonora una localidad mineralizada con Ni–Co en rangos que pueden ser económicos. El yacimiento La Esperanza, localizado a 12 km al NW de Bacanora, es un depósito de tipo skarn desarrollado en el contacto de un granitoide laramídico con calizas de edad paleozoica. Los elementos Ni y Co se encuentran en forma de siegenita, con una composición de $(Ni_{2.05}Fe_{0.19}Co_{0.75})_{2.99}S_{3.97}$. El mineral se acompaña de sulfuros de cobre, zinc y fierro. Los rangos económicos potenciales en la Esperanza son del orden de diez millones de toneladas de mineral con 1 gr Au/ton, 1–2 % Cu, 1–2 % Zn, 0.1–0.2 % Ni y 0.1–0.2 % Co. Anomalías en Co–Ni recién descubiertas en sedimentos de arroyo de la región, indican la apertura de nuevas potencialidades para la exploración regional.

Palabras clave: La Esperanza, Ni–Co, mineralización, siegenita, skarn, Sonora.

ABSTRACT

A mineralized locality with Ni–Co values that could be economic is reported for the first time in Sonora. The La Esperanza ore deposit, located at 12 km NW from Bacanora, is a skarn type deposit developed at the contact between a laramidic granitoid and Paleozoic limestones. The elements Ni and Co are present as siegenite with the composition $(Ni_{2.05}Fe_{0.19}Co_{0.75})_{2.99}S_{3.97}$. Copper, zinc and iron sulphides are also present. The economic preliminary potential at La Esperanza is about some millions of tons with 1 gr Au/ton, 1–2 % Cu, 1–2 % Zn, 0.1–0.2 % Ni y 0.1–0.2 % Co. The Co–Ni anomalies recently found in stream sediments of the region indicate new potential targets for the regional exploration.

Key words: La Esperanza, Ni–Co, mineralization, siegenite, skarn, Sonora.

INTRODUCCIÓN

En el noroeste de México se conocían hasta la fecha sólo dos localidades con mineralización de Co, en proporciones susceptibles de ser económicas. Estas localidades son El Boleo en Santa Rosalía, Baja California (Wilson y Rocha, 1955) y Sara Alicia en el sur de Sonora (Pérez-Segura, 1985). En el primer caso se trata de un yacimiento de afinidad volcánico-exhalativa relacionado con la apertura del Golfo de California (Ochoa-Landín *et al.*, 2000), que contiene 70 millones de toneladas de mineral con 1.5 % de Cu, 0.5 % de Zn, 0.1 % de Co y 3.0 % de Mn. En el segundo caso se trata de un pequeño skarn con 200000 toneladas de mineral conteniendo 3.6 gr Au/ton, 4.9 gr Ag/ton y 0.32 % de Co (Pérez-Segura, 1993), desarrollado en una zona de contacto entre una serie volcanosedimentaria del Cretácico y un granitoide laramídico. Otras manifestaciones con Ni-Co, sin mayor importancia aparente, se reportan en el norte de Sinaloa y son las llamadas: El Porvenir, San Javier y El Fierro (COREMI, 1991), pero éstas se encuentran dentro de rocas de afinidad ofiolítica del Cretácico Temprano

(Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1979).

No se han efectuado trabajos de geología de detalle en La Esperanza, sino únicamente visitas de reconocimiento y evaluaciones preliminares de los depósitos. Por tal razón, en este trabajo no es posible presentar descripciones detalladas ni de la geología local, ni de los yacimientos minerales. El objetivo fundamental del mismo, es reportar por primera vez la presencia en Sonora de zonas con mineralizaciones que contienen una paragénesis de Ni-Co, dentro de yacimientos en skarn, en rangos factibles de explotarse de manera económica por ambos elementos. Este hecho, por sí solo, constituye algo sumamente novedoso que abre nuevas expectativas para la exploración regional.

GEOLOGÍA GENERAL Y YACIMIENTOS MINERALES

El área de interés se sitúa a 12 km al NW del poblado de Bacanora (Figura 1). Ocupa una superficie de 2 km², dentro de la cual se ubican los prospectos llamados La

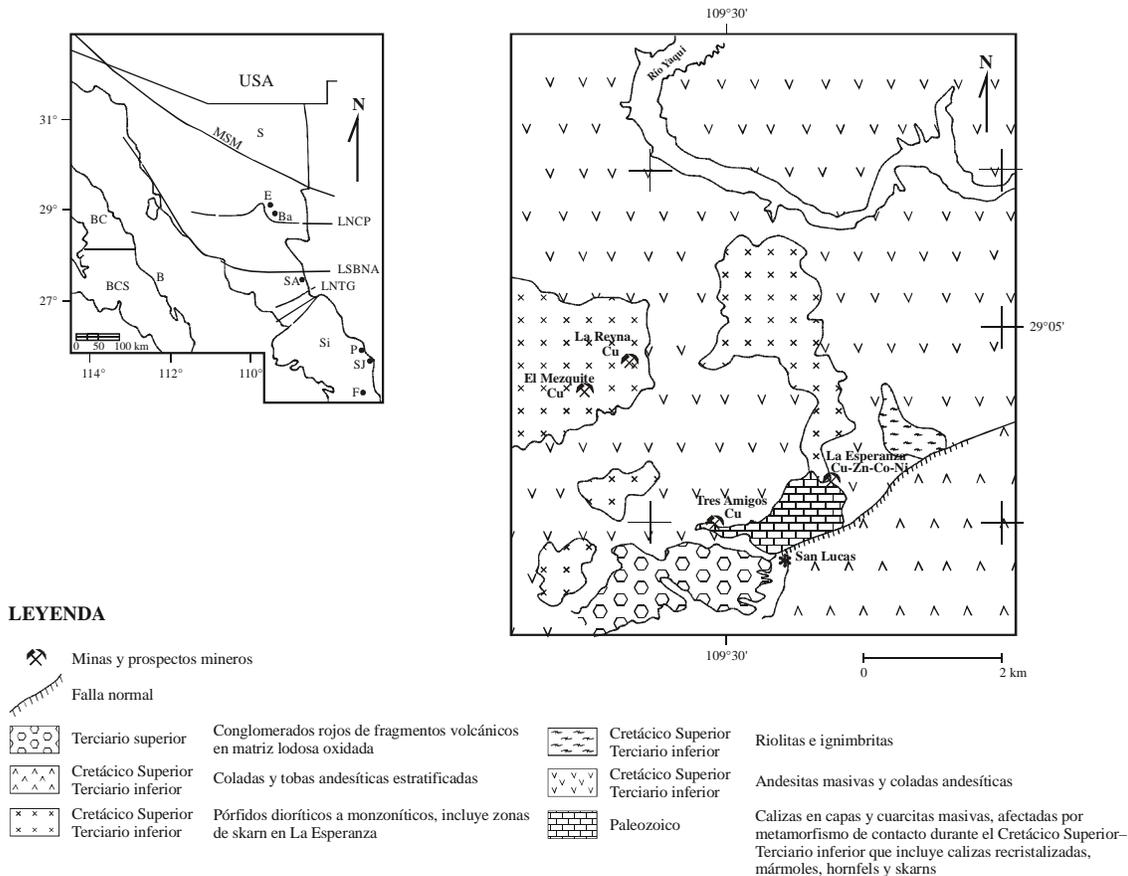


Figura 1. Localización de las principales manifestaciones con Ni y Co en el NW de México, indicando los rasgos tectónicos prelaramídicos mayores (modificado de Valencia-Moreno *et al.*, 2001) y geología general en el área de La Esperanza (modificado de COREMI, 1996). E: La Esperanza (Cu-Zn-Ni-Co); SA: Sara Alicia (Au-Co); P: El Porvenir (Ni-Co); S.J: San Javier (Co-Ni-Pt); F: El Fierro (Ni-Co (Cr)); B: El Boleo (Cu-Co), Zn. MSM: Mojave-Sonora Megashear; LNCNP: Límite Norte de la Cuenca Paleozoica; LSBNA: Límite Sur del Basamento Precámbrico de Norteamérica; LNTG: Límite Norte del Terreno Guerrero. S: Sonora; Ba: Bacanora; Si: Sinaloa; BC: Baja California; BCS: Baja California Sur; USA: Estados Unidos de Norteamérica.

Esperanza, La Perla y El Porvenir. Otros prospectos de cobre como La Reyna, El Mezquite y Tres Amigos, se conocen desde hace tiempo en el área.

El ambiente geológico está dominado por la presencia de calizas grises de estratificación delgada a masiva, con intercalaciones de bandas delgadas de pedernal y horizontes de cuarcita blanca y rosada (estos últimos de 40–60 m de espesor). Las rocas se orientan al N20–50°E con echados de 40–55° al SE. El espesor total del paquete sedimentario es de unos 400 m. La edad del mismo no está definida aunque podría correlacionarse con rocas de plataforma del Pérmico de la Sierra de Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999) o con las series de cuenca del Paleozoico inferior de la serie de la Barita de Mazatán (Poole y Amaya-Martínez, 2000).

La mayor parte del área es ocupada por rocas andesíticas que se dividen en dos grupos: uno correspondiente a abundantes andesitas masivas y menores proporciones de riolitas e ignimbritas, y el otro que se refiere a coladas y tobas andesíticas al sureste del área, puestas en contacto con las primeras por medio de una falla normal. El primer conjunto andesítico es intrusionado por troncos porfídicos hipabisales de composición monzonítica a cuarzomonzonítica, los cuales son intrusionadas a su vez por diques de monzonita, andesita y lamprófido. Tanto el conjunto volcánico como el intrusivo se consideran del Cretácico Superior–Terciario inferior (Laramídico) por correlación con otras rocas de la región (Valencia-Moreno *et al.*, 2001, Roldán-Quintana, 2002).

En las zonas de contacto de las rocas intrusivas con las calizas y con las andesitas se desarrolla la formación de exoskarns y endoskarns de granate y piroxeno, con depósito

posterior de sulfuros y retromorfismo con epidota, calcita y clorita. El prospecto más interesante es La Esperanza, donde se desarrolla una zona de más de 700 m de longitud y 30 metros de espesor con orientación NW–SE. El cuerpo es un skarn que se compone de granate de la serie uvarovita–grossularita–andradita, clinopiroxeno y menores proporciones de calcita, clorita y epidota. Además, en ciertas zonas, se presentan sulfuros como piritita, calcopiritita, esfalerita (?), trazas de pirrotita y minerales secundarios como calcantita, malaquita, azurita, crisocola e hidrozincita. Dentro del prospecto, las manifestaciones más importantes son las llamadas Los Rieles, El Barranco, La Azul, La Verde, El Tigre y El Tigre 2. Se efectuó un muestreo preliminar de 85 muestras de esquirlas, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio Bondar Clegg, Vancouver, Canadá, por ICP en un paquete analítico de Au+35 elementos. Los resultados muestran rangos de valores para Los Rieles de 0.6–7 gr Au/ton, 3.2–61.6 gr Ag/ton, 0.12–14.7 % Cu, 0.06–14.6 % Zn, 6–648 ppm de Ni y 83–1,654 ppm de Co. En El Barranco y La Azul, los contenidos de metales son de 0.6 – 2 % de Cu, 0.07 – 0.9 % de Zn, 105 – 5,634 ppm de Ni y 158 – 4,627 ppm de Co. Los análisis de un grupo de muestras seleccionadas por sus valores de Ni y Co se presentan en la Tabla 1.

MINERALES DE Ni – Co

La valores excesivamente anómalos de Ni y Co obtenidos en los análisis permitieron sospechar la existencia de fases minerales de estos elementos. Para investigar esta

Tabla 1. Análisis químicos seleccionados para muestras de mineral (*ship sample*) de La Esperanza. De una población total de 85 muestras se seleccionaron aquéllas cuyos valores en Ni o Co son superiores a 500 ppm. Todos los valores se reportan en ppm, salvo para Au (ppb) y para Fe (%). Todos los análisis fueron efectuados en el Laboratorio Bondar Clegg en Vancouver, Canadá, utilizando el método de ICP.

Muestra	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Co	Cd	As	Sb	Fe	Mn	Cr
63746	11	3.1	6351	39	2,677	4	320	593	5.3	262	32	8.16	1,661	127
63747	6	1.9	>10,000	50	4,819	3	457	1,265	13.5	263	19	7.93	3,815	67
63765	69	<0.2	1,635	7	>10,000	20	571	973	28.4	354	<5	4.86	1,316	57
63768	1,607	61.6	>10,000	25	6,420	<1	648	665	<0.2	2,509	434	>10.0	401	<1
63769	1,512	11.9	4,459	31	1,700	8	367	532	<0.2	2,334	45	>10.0	125	3
63774	927	3.2	>10,000	3	5,018	<1	288	1,223	1.1	1,058	5	>10.0	2,099	27
63777	649	3.8	>10,000	15	6,878	<1	339	666	11.2	865	12	>10.0	913	25
63778	1,661	14.6	>10,000	111	>10,000	<1	368	856	421.3	1,480	18	>10.0	501	7
63779	635	6.9	>10,000	274	>10,000	12	562	1,654	388.2	1,023	45	>10.0	843	13
63783	11	0.9	>10,000	64	6,238	5	438	1,339	12.8	742	5	9.04	4,188	43
63784	39	0.7	>10,000	37	>10,000	<1	458	1,332	41.8	251	<5	4.03	2,069	74
63753	11	<0.2	9,699	58	>10,000	17	936	2,365	62.6	466	88	>10.0	4,884	214
63754	10	<0.2	>10,000	75	>10,000	17	1,416	2,294	196.2	503	111	>10.0	4,490	207
63755	10	<0.2	9,013	43	>10,000	14	1,235	1,715	223.9	378	82	>10.0	3,227	191
63756	12	<0.2	4,313	34	>10,000	8	638	1,144	78.1	259	46	7.53	2,148	122
63757	8	<0.2	1,875	54	8,806	14	637	1,392	35.1	450	69	>10.0	2,793	89
63785	659	16	>20,000	8	1,212	<1	2,139	1,288	<1.0	1,928	15	>10.0	954	21
63786	368	12.6	>20,000	10	3,951	<1	2,618	1,714	<1.0	2,051	13	<10.0	2,312	28
63787	236	9.7	>20,000	24	677	<1	2,480	1,631	<1.0	1,797	29	>10.0	2,759	22
63788	117	2.0	18,319	5	9,059	38	1,731	1,379	26.1	928	13	>10.0	3,058	34

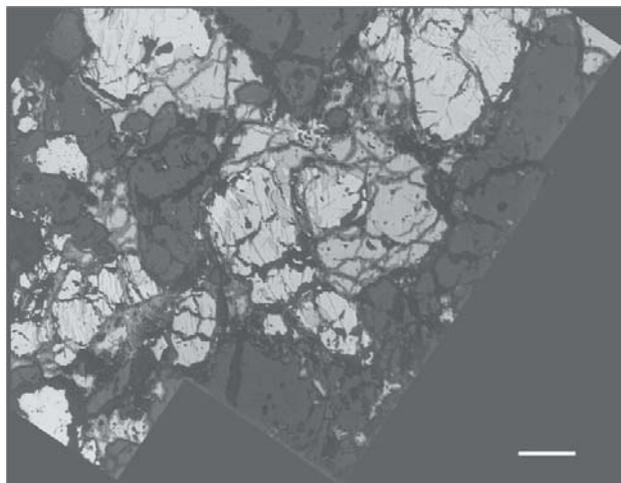


Figura 2. Siegenita (tono más claro) parcialmente reemplazada por calcopirita. Sección pulida. Luz reflejada. La escala representa 0.2 mm.

posibilidad se seleccionaron algunas muestras ricas en sulfuros y se prepararon secciones pulidas para su estudio con microscopio mineragráfico. Se descubrió la presencia de un mineral de tonos amarillos con una reflectividad cercana a la pirita, pero con dureza inferior a ésta (más fácil de pulir). El mineral presenta planos de exfoliación subortogonales, es isotrópico y siempre está parcialmente transformado a calcopirita a partir de los planos de exfoliación (Figuras 2 y 3). Otros minerales observados en sección pulida son cristales idiomorfos parcialmente esqueléticos de pirita, transformados a goethita y aglomerados de láminas de hematita. La calcopirita es atravesada por microvetillas con covellita supergénica. Una de las secciones pulidas del primer mineral descrito fue analizada utilizando la microsonda electrónica del Departamento de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona. Varios mapeos de análisis cualitativos confirmaron la presencia de Ni, Co, S y Fe como elementos principales (Figuras 4 y 5). También se efectuaron ocho microanálisis cuantitativos del mineral, cuyos promedios indican un contenido de 40.9 % de S, 38.6 % de Ni, 14.2 % de Co y 3.4 % de Fe (Tabla 2). Estos datos permiten calcular una fórmula empírica normalizada a siete átomos con una composición de $(\text{Ni}_{2.05}\text{Fe}_{0.19}\text{Co}_{0.75})_{2.99}\text{S}_{3.97}$, la cual indica que se trata de siegenita (grupo de la Linnaeita) cuya composición reportada es de 42.12 % de S, 43.36 % de Ni y 14.1 % de Co y con una fórmula empírica de $\text{Ni}_{2.25}\text{Co}_{0.75}\text{S}_4$. Pudiera tratarse también de una solución sólida entre siegenita $(\text{NiCo})_3\text{S}_4$ y violarita $(\text{FeNi})_2\text{S}_4$. Este mineral se reporta por primera vez en México, ya que el cobalto se presenta en forma de carrolita en El Boleo (Pérez-Segura, 1995), mientras que en la localidad Sara Alicia está como safflorita en sulfuros primarios y eritrita en la zona de oxidación (Pérez-Segura, 1985). Por otra parte, no se tienen datos sobre la manera en que se presenta el níquel en las localidades reportadas en Sinaloa.

CONCLUSIONES. IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y METALOGENÉTICAS

Hasta la fecha, el caso del skarn de Sara Alicia en la región de Álamos, con mineralización de Au-Co-Cu, era visto como un hecho aislado en Sonora. Por tal motivo, elementos como Co y Ni no se han considerado parte de la potencialidad metálica de la región. Análisis efectuados en el año 2002 por el Consejo de Recursos Minerales de testigos de muestras de sedimentos de arroyo colectados en la hoja Santa Teresa 1:50,000 (donde se encuentra La Esperanza), a raíz de los descubrimientos que aquí se reportan, indican varias anomalías para la asociación Co-Ni-Fe, sobre un área de 448 km². Esto demuestra que las concentraciones recién descubiertas van más lejos de ser un caso aislado o una curiosidad mineralógica y deben verse como una nueva posibilidad para la exploración geológico-económica regional. Tan sólo en el caso que nos ocupa, se puede hablar de una potencialidad de varios millones de toneladas de mineral con 0.7–1.5 gr Au/ton, 10–30 gr Ag/ton, 1.5–2.5 % Cu, 1–2 % Zn, 0.1–0.2 % Co y 0.1–0.2 % Ni. Ahora bien, si consideramos que la relación Ni/Co en la siegenita es de 2.7 y que la misma relación en el promedio

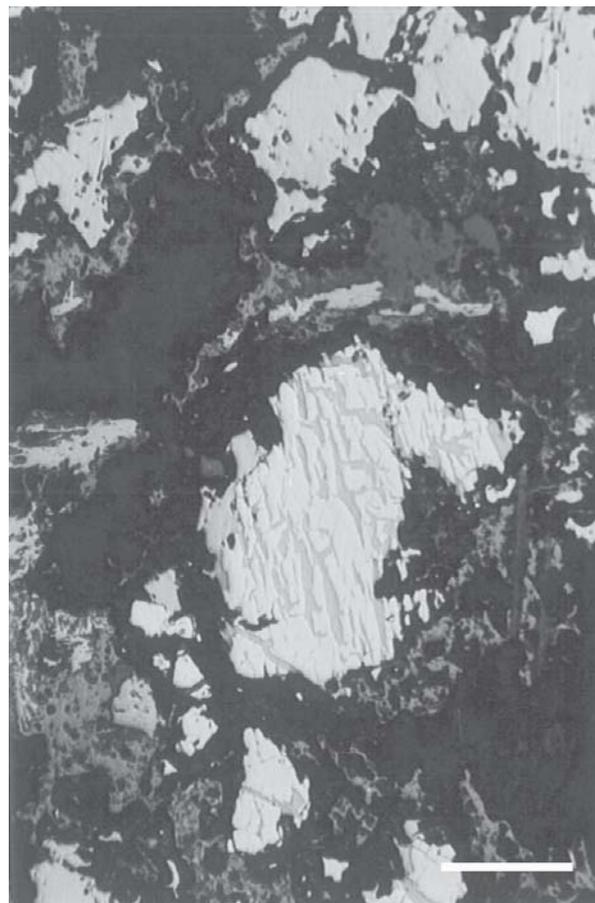


Figura 3. Siegenita (tono más claro) parcialmente reemplazada por calcopirita. Sección pulida. Luz reflejada. La escala representa 0.2 mm.

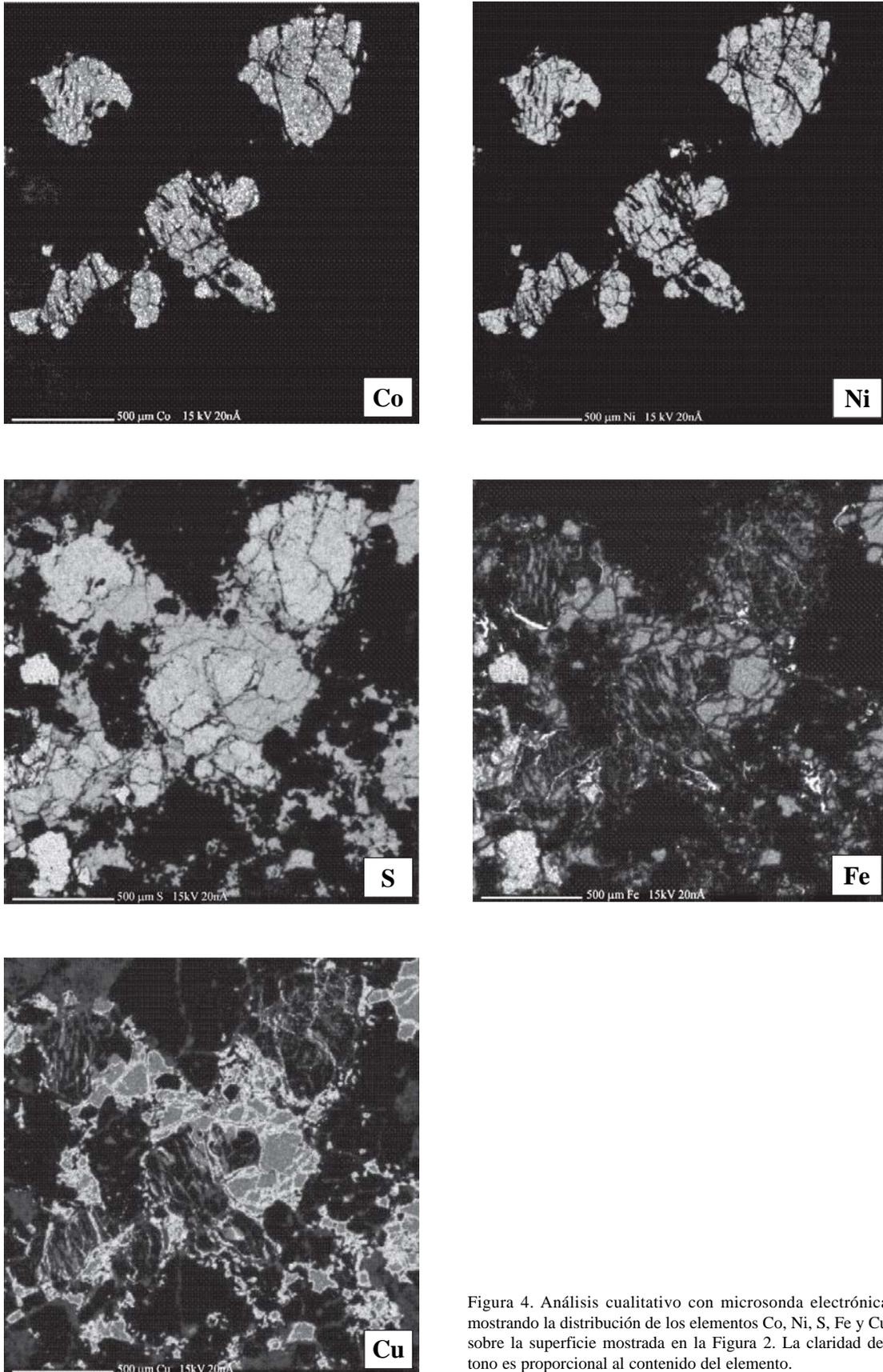


Figura 4. Análisis cualitativo con microsonda electrónica mostrando la distribución de los elementos Co, Ni, S, Fe y Cu sobre la superficie mostrada en la Figura 2. La claridad del tono es proporcional al contenido del elemento.

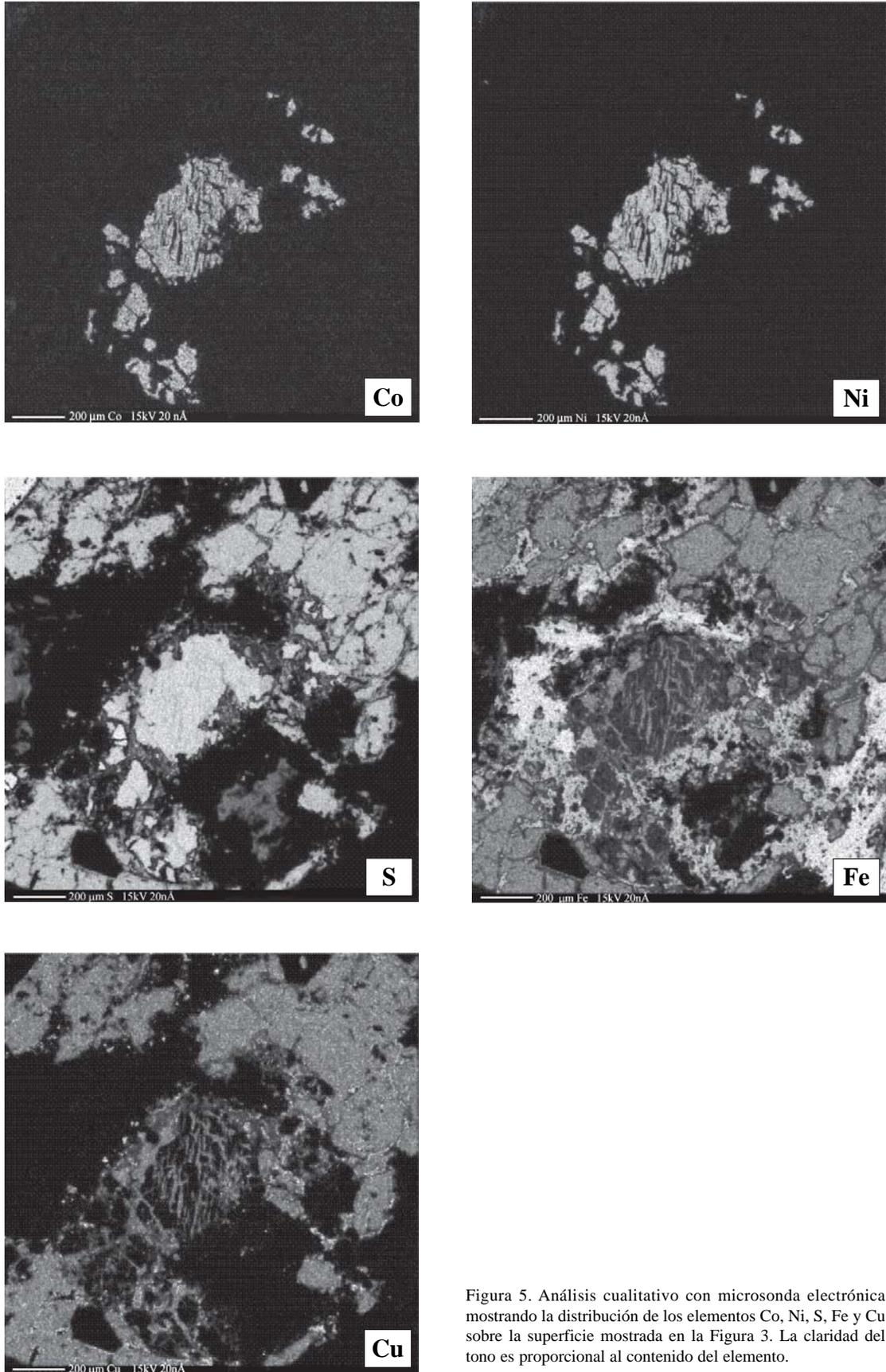


Figura 5. Análisis cualitativo con microsonda electrónica mostrando la distribución de los elementos Co, Ni, S, Fe y Cu sobre la superficie mostrada en la Figura 3. La claridad del tono es proporcional al contenido del elemento.

Tabla 2. Microanálisis cuantitativos para la siegenita de La Esperanza. Análisis efectuados con una microsonda electrónica Cameca del Departamento de Ciencias Planetarias, Universidad de Arizona. Técnico: Ken Domanic. * Concentración normalizada a 100 en % . ** Concentración atómica normalizada a 100 en %.

	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	8	8	10	10	Promedio	Promedio
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
Fe	3.38	2.66	3.21	2.51	3.52	2.75	3.61	2.81	3.29	2.56	3.50	2.73	3.85	2.99	3.50	2.73	3.48	2.71
Ni	38.62	28.93	39.41	29.32	39.94	29.67	40.30	29.91	39.98	29.62	39.75	29.51	38.79	28.67	38.97	28.88	39.47	29.31
Cr	0.05	0.04	0.01	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Cu	0.16	0.11	0.17	0.12	0.31	0.21	0.13	0.09	0.42	0.29	0.30	0.20	0.09	0.06	0.28	0.19	0.23	0.16
Co	14.16	10.57	14.46	10.72	14.70	10.88	14.16	10.47	14.29	10.55	14.73	10.90	14.91	10.98	15.25	11.25	14.58	10.79
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
As	2.66	1.57	1.01	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46
S	40.88	56.09	41.61	56.70	41.52	56.48	41.69	56.66	41.98	56.96	41.65	56.63	42.31	57.27	41.95	56.92	41.70	56.71
Au	0.03	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Sb	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.0	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.05	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.0	0.0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	99.98

de los análisis reportados en la Tabla 1 es de sólo 0.7, podemos suponer que existan otros minerales que contengan Ni y/o Co, para poder justificar una relación Ni/Co de 0.7.

En relación a los depósitos y las rocas asociadas se presenta un problema metalogénico. Salvo las concentraciones de barita sedimentaria en las rocas paleozoicas de Mazatán (Poole y Amaya, 2000) y Cobachi (Noll, 1981, Pregger, 1984), no se conocen yacimientos de afinidad volcánico-exhalativa o en *red-beds* en rocas prelaramídicas, que pudieran sugerir una removilización de elementos como Co y Ni. Por otra parte, el cinturón de granitoides laramídicos del arco sonoreño es considerado de composición calcoalcalina (Roldán-Quintana, 2002), contaminado por el tipo de terreno atravesado por los magmas (Pérez-Segura *et al.*, 1995, Valencia-Moreno *et al.*, 2001). No hay suficientes análisis geoquímicos de elementos traza para evaluar el contenido de Co y Ni en los granitoides de Sonora, sin embargo, algunos análisis reportados por Roldán-Quintana (2002) en el área de San Javier y La Barranca, unos 40 km al sureste de La Esperanza, indican un contenido promedio en seis muestras de 56 ppm para Co y 21 ppm para Ni, mientras que el promedio para 29 muestras de otros granitoides laramídicos en el transecto San Carlos-Maycoba es de 13 ppm para Co y 11 ppm para Ni. Esto muestra un enriquecimiento importante en estos elementos en los granitoides hacia San Javier-La Barranca y, muy probablemente, hacia el área de Bacanora, por lo que pudiera pensarse en un origen relacionado con los magmas laramídicos enriquecidos en estos elementos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ken Domanic por su asistencia en el trabajo con la microsonda electrónica y al Dr.

Joaquín Ruiz de la Universidad de Arizona por las facilidades brindadas. También se agradece al Dr. Jaime Roldán-Quintana y a un revisor anónimo, quienes con sus revisiones críticas ayudaron a mejorar considerablemente este artículo.

REFERENCIAS

- Consejo de Recursos Minerales (COREMI), 1991, Monografía geológico-minera del Estado de Sinaloa: Pachuca, Hidalgo, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica, Consejo de Recursos Minerales, 159 p., 3 mapas.
- Consejo de Recursos Minerales (COREMI), 1996, Carta Geológico Minera Santa Teresa H12-D51, escala 1:50,000: Pachuca, Hidalgo, Consejo de Recursos Minerales, 1 hoja con resumen.
- Ochoa-Landín, L., Ruíz, J., Calmus, T., Pérez-Segura, E., Escandón, F., 2000, Sedimentology and stratigraphy of the Upper Miocene El Boleo Formation, Santa Rosalía, Baja California, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 17 (2), 83-95.
- Ortega-Gutiérrez, F., Prieto, V., Zúñiga, R., Flores, S., 1979, Una secuencia volcánico-plutónica sedimentaria cretácica en el norte de Sinaloa. ¿Un complejo Ofiolítico?: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 3 (1), 1-8.
- Noll, J.H.Jr., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra Cobachi, central Sonora, Mexico: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, tesis de maestría, 169 p.
- Pérez-Segura, E., 1985, Carta metalogénica de Sonora 1:250 000 – Una interpretación de la metalogénia de Sonora: Hermosillo, Sonora, Gobierno del Estado de Sonora, Dirección de Minería Geología y Energéticos, Publicación 7, 64 p, 13 mapas.
- Pérez-Segura, E., 1993, Los yacimientos de oro y plata en Sonora, México, y sus relaciones con la geología regional, en Delgado-Argote, L.A., Martín-Barajas, A. (eds.), Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México: Ensenada, B.C., Monografía No. 1, Unión Geofísica Mexicana, 147-174.
- Pérez-Segura, E., 1995, Petrografía de las menas de los yacimientos del Boleo, Santa Rosalía, B.C.S., con énfasis en la distribución del cobalto: Hermosillo, Sonora, Reporte Técnico para Minera Curator, S.A. de C.V.

- Pérez-Segura, E., Roldán-Quintana, J., Amaya-Martínez, R., 1995, Los terrenos tectonoestratigráficos en Sonora y Sinaloa y sus mineralizaciones asociadas: guías para la exploración minera, en XXI Convención Nacional, Trabajos Técnicos – Geología, Acapulco, Guerrero, Memoria: México, D.F., Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, 1–27.
- Poole, F.G., Amaya-Martínez, R., 2000, The Sonora Orogen in the Barita de Sonora mine area east of Mazatan: Guide to Field Trip 3, in Fourth Symposium on the Geology of Northwestern Mexico and adjacent areas, Hermosillo, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 27 p.
- Pregger, B.H., 1984, The geology and origin of the Cobachi Barite Deposit, Northern Sierra Cobachi, Mexico: Flagstaff, Arizona, Northern Arizona University, tesis de maestría, 125 p.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Mamet, B.L., Morales-Ramírez, J.M., 1999, Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16 (1), 35–62.
- Roldán-Quintana, J.S.F., 2002, Caracterización geológico-geoquímica y evolución del arco magmático Mesozoico-Terciario entre San Carlos y Maycoba, Sur de Sonora: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 199 p.
- Valencia-Moreno, M., Ruíz, J., Barton, M.D., Patchett, P.J., Zurcher, L., Hodkinson, D.J., Roldán-Quintana, J., 2001, A chemical and isotopy study of the Laramide granitic belt of northwestern Mexico; Identification of the southern edge of the North American Precambrian basement: *Geological Society of America Bulletin*, 113 (11), 1409–1422.
- Wilson, I.F., Rocha, V.S., 1955, Geology and mineral deposits of the El Boleo copper district, Baja California, Mexico: United States Geological Survey, Professional Paper 273, 134 p.

Manuscrito recibido: Julio 3, 2002

Manuscrito corregido recibido: Noviembre 5, 2003

Manuscrito aceptado: Noviembre 26, 2003