

Particularidades geológicas y perspectivas de la mineralización de Cu-Mo porfírico en la Sierra Maestra

Geological peculiarities and perspectives for Cu-Mo porphyric mineralization in the Sierra Maestra

Ángel Medina-Batista^{1*}, José Nicolás Muñoz-Gómez², Alain Carballo-Peña²

¹Oficina Territorial de Recursos Minerales, Santiago de Cuba, Cuba.

²Universidad de Moa, Cuba.

*Autor para la correspondencia: angel@onrm.minem.cu

Resumen

La existencia de manifestaciones con mineralización de Cu-Mo porfírico en la Sierra Maestra (Cuba) se conoce desde mediados del siglo XX; aunque han sido descritos afloramientos con grandes dimensiones, así como la presencia de una alteración hidrotermal intensa y la mineralización de vetas con metales preciosos asociados, estas manifestaciones no han sido evaluadas integralmente debido a sus bajos contenidos de cobre. Con el propósito de esclarecer las características de este tipo de mineralización y evaluar sus perspectivas se revisó y sistematizó la información disponible en reportes e informes geológicos y se aplicaron criterios geoquímicos y geofísicos. Como resultado se delimitan y caracterizan seis nuevas áreas perspectivas para desarrollar trabajos de prospección para cobre porfírico y se incorporan dos reportadas previamente.

Palabras clave: Cu-Mo porfírico; prospección de Cu-Mo; Sierra Maestra; arco volcánico del Paleógeno; mineralización hidrotermal.

Abstract

Since the middle of the 20th century, the evidence of porphyritic Cu-Mo mineralization occurrence has been known in the Sierra Maestra (Cuba). Despite large outcrops have been described, as well as the presence of an intense hydrothermal alteration and the mineralization of veins with

associated precious metals, these manifestations have not been fully evaluated due to their low Cu content. In order to clarify the characteristics of this kind of mineralization and evaluating its perspectives, the available information in geological reports was reviewed and systematized, and geochemical and geophysical criteria were applied. As a result, were characterized and delimited six new areas with perspectives to develop prospecting work for porphyritic copper and two previously reported were incorporated.

Keywords: Cu-Mo porphyric; Cu-Mo prospecting; Sierra Maestra; Paleogene volcanic arc; hydrothermal mineralization.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque desde la época colonial comenzó la explotación de la mina El Cobre en la Sierra Maestra, no fue hasta la década de los años 50 del siglo XX que se incrementaron los trabajos de exploración y extracción de vetas de cuarzo con altos contenidos de cobre, oro y plata, por medio de la pequeña minería en esa región (Medina 2020). En la década de los 60 y con asesoría extranjera se desarrollaron trabajos de búsqueda regional para cobre en la parte central de la Sierra Maestra los cuales revelaron dos tipos de mineralización de cobre: una en vetas y filones de cuarzo con sulfuros, relacionada con las dislocaciones tectónicas, y otra porfírica, con vetillas y diseminaciones en las zonas de rocas alteradas, relacionada con la zona de desarrollo de las dioritas (Zikin & Larionov 1968).

El agotamiento progresivo de los depósitos de cobre en las últimas décadas ha incentivado la necesidad de localizar nuevos depósitos porfíricos que no afloran en la superficie. Los estudios realizados por Gray *et al.* (2014) muestran que en la cuenca del Caribe y América Central se podrían localizar cerca de 37 depósitos de cobre porfírico aún no descubiertos, con un volumen total de recursos estimados de ciento treinta millones de toneladas. Aproximadamente, el 80 % de los recursos estimados no descubiertos estarían asociados a tres regiones (Santiago de Cuba, Darién y Cocos) que contienen depósitos conocidos; indican además la posibilidad de existencia de 2 700 000 t de molibdeno, 43 000 t de plata y 5 200 t de oro.

1.1. Investigaciones previas para la búsqueda de cobre porfírico en la Sierra Maestra

Entre los primeros trabajos de búsqueda de cobre porfírico realizados en la década de los 60 del siglo pasado en la Sierra Maestra se encuentra una revisión de los afloramientos realizada por Havlicek (1966) quien informa

acerca de la ubicación e historia de las manifestaciones y realiza algunas sugerencias. También Somov (1966) examina seis manifestaciones para cobre porfírico y comprueba con perforaciones cuatro de ellas, considerándolas finalmente sin perspectivas. En el informe de Zikin & Larionov (1968) se reporta la revisión de 33 manifestaciones con trabajos de búsqueda en los sectores de Buey Cabón y Santa Rosa, revelando la existencia de mineral de cobre y molibdeno porfírico en las manifestaciones San Miguel y Buey Cabón. Se recomienda realizar en la manifestación de San Miguel trabajos de búsqueda a escala 1:10 000, los que no fueron ejecutados. En 1968 se llevan a cabo trabajos de búsqueda a escala 1:10 000 en un área de 32 km² en la zona de Vega Grande (Molodenkov *et al.* 1968) y se estiman recursos hipotéticos de cobre en las manifestaciones La Cristina y La Mañana. Las manifestaciones El Jobo y La Nicolasa no fueron evaluadas.

Entre el 1967 y 1968 en el área interfluvial Buey-Guamá se realizan trabajos de búsqueda para cobre porfírico a escala 1:50 000 (Kinev & Casanova 1970) con muestreo metalométrico y de jagua; por los resultados de esos trabajos se llevó a cabo una búsqueda a escala 1:10 000 en la zona de mineralización sulfurosa Juanica y se recomienda la búsqueda detallada. En la vertiente norte de la parte central de la Sierra Maestra, Alioshin *et al.* (1982) realizan un levantamiento geológico a escala 1:100 000, recomiendan ocho áreas para la prospección de cobre y metales preciosos y consideran que la región posee grandes perspectivas por la especialización geoquímica regional en cobre, molibdeno, oro y plata, resaltando la presencia de molibdeno en áreas como La Nicolasa y la mina Colón. En la pendiente sur, los trabajos de Kuzovkov *et al.* (1983) aportan información sobre más de 20 ocurrencias minerales de cobre y establecen las regularidades generales de distribución de los principales tipos de mineralización (ferrosa, cuprífera de oro y plata). Se revelan siete zonas perspectivas para la prospección, de ellas cinco zonas para cobre y dos para oro y plata. Posteriormente como resultado del levantamiento geológico a escala 1:100 000 en el sector occidental de la Sierra Maestra, al oeste del Pico Turquino se refieren siete áreas de interés para la prospección de yacimientos metálicos (Golovkin *et al.* 1981).

A partir de enero de 1994 la compañía mixta Joutel Resources Limited-Geominera S.A. realiza trabajos de prospección en el área de Vega Grande. La mina La Cristina resultó la zona de mayor interés, donde se obtuvieron recursos indicados e inferidos de cobre, zinc, oro y plata por lo que recomiendan trabajos de perforación. Posteriormente Janzen (1998) revela áreas perspectivas para cobre porfírico en Los Lirios y San Miguel. Según la interpretación de los campos físicos y geoquímicos de los trabajos precedentes, existen ocurrencias minerales con perspectivas que han sido

recomendadas para su investigación a escalas más detalladas, pero por diversas razones no se han ejecutado trabajos de prospección hasta la actualidad. El objetivo principal de esta investigación fue precisar las manifestaciones con perspectivas para la prospección de cobre porfírico en la Sierra Maestra.

1.2. Marco geológico general

El arco volcánico del Paleógeno en Cuba tiene su mayor desarrollo en la Sierra Maestra, región que ocupa una extensa franja de 242 km de largo y ancho promedio de 27 km, entre las provincias de Santiago de Cuba y Granma (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del macizo montañoso Sierra Maestra.

Las rocas de la parte media del Grupo El Cobre son las más difundidas, alcanzando grandes espesores en algunos lugares, con un predominio de las facies piroclásticas y efusivas en el perfil, con intercalaciones de ignimbrita y un alto grado de variabilidad de las facies subordinadas. Las piroclastitas finas: tobas de vidrio, ceniza, etc. están presentes en los cortes de Cuba oriental (Iturralde-Vinent 1996, 2019). Las rocas efusivas están representadas por basaltos, andesitas-basaltos, andesitas, dacitas, riódacitas y riolitas (Méndez 1997) y son comagmáticas con los intrusivos que las originan, constituyendo una asociación volcánico - plutónica (Eguipko & Pérez 1976; Eguipko *et al.* 1984). Varios investigadores (Díaz de Villalvilla *et al.* 1994; García-Delgado & Méndez 1994; Méndez 1997) sugieren que, desde sus estadios iniciales, la actividad volcánica presentó una tendencia toleítica, mientras que la composición calco-alcalina se evidencia a partir del Eoceno

Inferior, manifestándose un enriquecimiento en K a partir del Eoceno Medio (Proenza & Melgarejo 1998).

La mineralización de Cu–Mo porfírico en la Sierra Maestra está asociada a los intrusivos graníticos epizonales félsicos que intruyen las secuencias del arco volcánico del Paleógeno. Las rocas del complejo plutónico félsico están representadas por cuerpos hipabisales de composición diorítica a granítica, plutones de gabro, cuarzo-dioritas y tonalitas (Laznicka *et al.* 1970; Rodríguez-Crombet *et al.* 1997). Los cuerpos intrusivos se extienden en una faja de cerca de 100 km de longitud por 20 km de ancho, con una dirección E-W paralela a la costa y afloran como cuerpos de variados tamaños fundamentalmente en la parte sur y en la divisoria de las aguas de la parte central de la Sierra Maestra. Los estudios geológicos-geofísicos indican que estos plutones se conectan en la profundidad, formando un batolito único (Laznicka *et al.* 1970; Pusharovsky 1988). Según Rojas–Agramonte *et al.* (2000) los cuerpos intrusivos del Eoceno Medio de la Sierra Maestra alcanzaron profundidades entre 4,5-8 km equivalentes a los 1,8-3 kbar.

El estudio de las hornblendas y las biotitas (Eguipko *et al.* 1984) permitió confirmar el carácter hipabisal de los complejos graníticos de la Sierra Maestra y su enfriamiento, el que se estima ocurrió a profundidades medias a partir de una temperatura inicial de 600-700 °C con una alcalinidad elevada; por su composición química fueron clasificados como intrusivos de la serie magnetita tipo I, calco-alcalinos de medio a bajo potasio. Según Soto *et al.* (1985) los análisis petrográficos de las dioritas en la Sierra Maestra permitieron clasificarlas como cuarcíferas-hornbléndicas-biotíticas. Los cuerpos intrusivos dieron lugar a procesos de alteración hidrotermal que se intensifican en las zonas de debilitamiento tectónico, donde se observan fisuras y zonas de fracturación con dirección predominante noroeste–sureste (Figura 2).

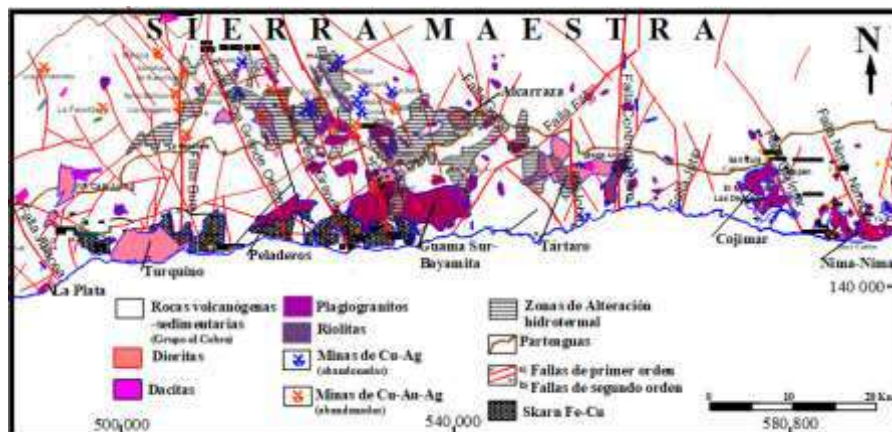


Figura 2. Esquema geológico con los intrusivos graníticos, las fallas principales que los atraviesan y las manifestaciones asociadas.

En el ambiente geodinámico del arco volcánico del Paleógeno tienen lugar dos metalotectos importantes: las series submarinas volcánicas y volcanógeno-sedimentarias situadas en el límite zona axial-tras arco, con depósitos volcanogénicos, y los intrusivos graníticos relacionados con depósitos de skarn y de pórfido cuprífero (Proenza & Melgarejo 1998).

De acuerdo con Lowell & Guilbert (1970) la ley de un depósito de cobre porfírico típico alcanza hasta 0,8 % Cu y 0,2 % Mo. En los depósitos de Cu-Mo porfírico las intrusiones presentan una afiliación a la serie magnetita tipo I y se conocen como magmas intrusivos oxidados (Ishihara 1981). Son típicamente metaluminosos de medio K calco-alcalinos y también pueden pertenecer a calco-alcalinas de alto K (shoshoníticas) o campos alcalinos (Seedorff *et al.* 2005).

Se ha establecido que los magmas oxidados presentan una estrecha relación con la mineralización aurífera y con ellos se asocian desde el punto de vista metalogénico los depósitos de oro epitermal y de skarn (Ishihara 1981; Guilbert y Park 1986; Robert *et al.* 2007; Sillitoe 2010). A diferencia de estos, en los magmas reducidos el oro presenta baja ley (Hart 2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para esclarecer las particularidades geológicas de la mineralización de Cu-Mo y sus perspectivas en la Sierra Maestra se analizaron los siguientes materiales:

- a) documentación geológica y mineralógica de los trabajos anteriores de búsqueda, levantamiento geológico y reconocimiento;
- b) mapas de distribución de los contenidos de cobre y molibdeno en las rocas primarias y zonas anómalas a escala 1:100 000 (Alioshin *et al.* 1982);
- c) mapa de minerales útiles a escala 1:10 000 (Kuzovkov *et al.* 1983);
- d) interpretación geofísica realizada por Sánchez *et al.* (2010) en un sector de la parte central de la Sierra Maestra.

Adicionalmente se revisó en detalle la información disponible acerca de la mineralización cuprífera, como las descripciones geológicas, geofísicas y geoquímicas y se reinterpretaron los resultados de trabajos anteriores.

La estimación de recursos hipotéticos se realizó tomando como base las áreas anómalas detalladas por los trabajos geoquímicos de Alioshin *et al.* (1982), el mapa de minerales útiles según Kuzovkov *et al.* (1983), así como las interpretaciones geofísicas de Sánchez *et al.* (2010). Para la estimación de

recursos se consideraron los parámetros siguientes: el área de anomalías geoquímicas con valor industrial, las anomalías geofísicas de los cuerpos intrusivos correspondientes, la profundidad de la mineralización de cobre de 50 m y la masa volumétrica de 2,7 m³/t. La ecuación para la estimación de metal empleada fue: $R_m = m \times \% / 100$, donde, R_m : recursos de metal y m : es el contenido promedio de cobre para el total de recursos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Particularidades geológicas de las manifestaciones de Cu-Mo porfírico

La característica principal de los cuerpos intrusivos de dioritas y granitos en la Sierra Maestra es que han sido exhumados producto de los movimientos orogénicos ocurridos durante el Eoceno Medio, dejando al descubierto extensas áreas de las apófisis de las intrusiones, así como de los stocks con mineralización porfírica típica de Cu-Mo ± Au ± Ag (Tabla 1).

Tabla 1. Manifestaciones de cobre porfírico relacionadas con los cuerpos intrusivos graníticos de la Sierra Maestra

| No | Manifestaciones | Intrusivo relacionado | Productos y subproductos | Referencias |
|----|---------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| 1 | La Nicolasa* | Vega Grande | Cu-Mo ± Au ± Ag | Alioshin <i>et al.</i> 1982 Molodenkov 1968 Garcés 1991 Sánchez <i>et al.</i> 2010 |
| 2 | San Miguel* | Bayamita | Cu-Mo ± Au ± Ag | Zikin y Larionov 1968 Alioshin <i>et al.</i> 1982 Janzen 1998 |
| 3 | Los Gallegos - El Papayo* | Guamá Sur-Bayamita | Cu-Mo ± Au | Sánchez <i>et al.</i> 2010 |
| 4 | Los Lirios* | Guamá norte | Cu-Mo ± Ag | Zikin y Larionov 1968 Alioshin <i>et al.</i> 1982 Janzen 1998 |
| 5 | Alcarraza* | Guamá Sur-Bayamita | Cu-Mo ± Ag | Somov 1966 Kinev <i>et al.</i> 1970 Alioshin <i>et al.</i> 1982 |
| 6 | El Tártaro-Yamagua* | El Tártaro | Cu-Mo ± Au ± Ag | Zikin y Larionov 1968 Alioshin <i>et al.</i> 1982 |

| | | | | |
|---|-------------|-----------|------------|--|
| 7 | Buey Cabón | Nima-Nima | Cu-Mo | Zikin y Larionov 1968 Padró et al. 1990 Izquierdo <i>et al.</i> 1992 |
| 8 | La Victoria | Nima-Nima | Cu-Mo ± Au | Izquierdo <i>et al.</i> 1992 Janzen 1998 |

* reveladas como resultado de la presente revisión.

Los tipos de alteración hidrotermal predominantes son la alteración sericítica (cuarzo-sericita-pirita) la que se acompaña de una mineralización en vetillas diseminada con abundante sulfuro. El mineral principal y el de mayor desarrollo es la pirita, con contenidos de 1-2 % pudiendo llegar a 5-8 %, la que se observa en forma impregnada y dispersa en las rocas. En las zonas donde ha ocurrido la oxidación, se desarrolla la limonita. En la manifestación La Mañana (Vega Grande) se mapearon cuerpos piríticos macizos, asociados a zonas tectónicas locales con fracturación, brechamiento y plegamiento de las tobas alteradas por los procesos hidrotermales; se reportaron en el área dos manifestaciones de pirita-enargita-luzonita en Guayabo y en El Zapato, que se corresponden con procesos de alta sulfuración propios de magmas oxidados. Las características geológicas principales de las manifestaciones de cobre porfírico se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características petrográficas y mineralógicas de las principales manifestaciones de Cu-Mo porfírico en la Sierra Maestra

| Nombre | Rocas portadoras | Minerales principales y de ganga | Alteraciones | Autores |
|---------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| La Nicolasa | Diorita-cuarcífera | Mena: pirita, calcopirita, molibdenita Ganga: cuarzo-carbonato | Cuarcificación Piritización Sericitización | Molodenkov 1968; Alioshin 1982; Sánchez 2010 |
| San Miguel | Diorita-hornbléndica cuarcífera | Mena: pirita, calcopirita, molibdenita Ganga: cuarzo-carbonato | Argilitización Cuarcificación Sericitización Piritización | Kinev 1970; Zikin y Larionov 1968; Alioshin 1982 |
| Los Gallegos El Papayo | Diorita hornbléndica cuarcífera | Mena: pirita, calcopirita, molibdenita Ganga: cuarzo-carbonato | Cuarcificación Biotitización Sericitización Piritización | Alioshin 1982; Sánchez 2010 |
| Los Lirios | Diorita-hornbléndica | Mena: pirita, molibdenita, barita | Piritización Cuarcificación | Zikin y Larionov 1968; |

| | | | | |
|-----------------|---------------------------------|--|---|---|
| | Diorita cuarcífera | Ganga: cuarzo-carbonato | | Alioshin 1982 |
| Alcarraza | Diorita-Porfírica cuarcífera | Mena: pirita, calcopirita magnetita, molibdenita, Ganga: cuarzo-carbonato | Piritización Cuarcificación | Somov 1966; Zikin y Larionov 1968; Alioshin 1982 |
| Tártaro-Yamagua | Diorita-cuarcífera | Mena: pirita, magnetita, molibdenita, pirrotina Ganga: cuarzo-carbonato | Piritización Cuarcificación Limonitización | Zikin y Larionov 1968, Alioshin 1982 |
| Buey Cabón | Diorita-cuarcífera hornbléndica | Mena: pirita, calcopirita, molibdenita, magnetita, pirrotina Ganga: cuarzo-carbonato | Piritización. Cuarcificación Sericitización Biotitización Cloritización | Zikin y Larionov 1968; Padró et al. 1990; Izquierdo et al. 1992 |
| La Victoria | Diorita-cuarcífera | Mena: pirita, calcopirita covelina, molibdenita, bornita, calcosina, titanatos, magnetita. Ganga: cuarzo-carbonato | Sericitización Cuarcificación Cloritización Epidotización | Izquierdo et al. 1992 |

En la Sierra Maestra, a los magmas oxidados también se asocian procesos de sulfuración intermedia con otros tipos de mineralización, como las vetas epigenéticas de cuarzo-carbonato de Cu-Au-Ag, Cu-Ag y de carbonato-metales base. También existe alteración propilítica (clorita-epidota-carbonato) con presencia en ocasiones de procesos de argilitización; la mineralización asociada es de vetas polimetálicas portadoras de Cu, Au, Ag, Pb y Zn.

Los datos de los trabajos geológicos precedentes indican que la presencia de bajos contenidos de cobre en las manifestaciones motivó que solo se consideraran perspectivas las que tenían concentraciones superiores a 0,7 % de Cu, valor correspondiente al contenido mínimo industrial aprobado para evaluar los recursos de cobre. La falta de sistematicidad en la prospección para este tipo de mineralización en la Sierra Maestra indujo a que solo se realizaran limitados trabajos como en el sector Buey Cabón. Las áreas con mineralización de cobre porfírico (Figura 3) muestran una relación genética y espacial con las dioritas cuarcíferas, hornbléndicas y porfíricas. Una integración de los datos aportados por los trabajos previos permitió realizar la estimación de recursos hipotéticos de las áreas perspectivas.

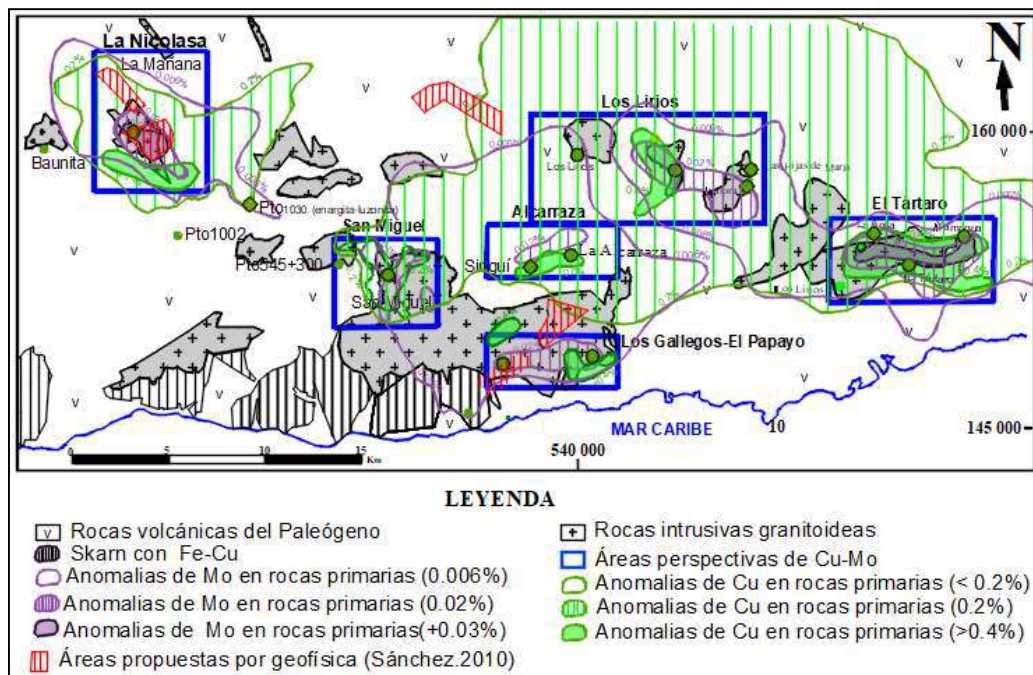


Figura 3. Áreas perspectivas para Cu-Mo porfírico a partir de la interpretación de trabajos geoquímicos y geofísicos realizados en la Sierra Maestra.

La estimación de recursos hipotéticos incluye a las seis manifestaciones que se proponen en este estudio, localizadas en la parte central de la Sierra Maestra, así como los volúmenes de recursos estimados anteriormente en los sectores Buey Cabón y La Victoria, ubicados en la parte este de la cordillera (Izquierdo *et al.* 1992). De este modo, los recursos minerales de cobre estimados para las áreas perspectivas ascienden a 5 216 756 628 t, con un contenido promedio de 0,35 % Cu, para un tonelaje de 16 188 334 t de Cu; de otra parte, los recursos minerales de molibdeno ascienden a 5 001 419 760 t, con un contenido medio de 0,014 % y 817 234 toneladas de Mo. Estos resultados evidencian el potencial existente que justifica la ejecución de trabajos de prospección de cobre porfírico en la Sierra Maestra.

4. CONCLUSIONES

- Se revela la existencia de seis nuevas áreas perspectivas en la parte central de la Sierra Maestra para la prospección de cobre porfírico, vinculadas al arco volcánico del Paleógeno.
- Se confirma el vínculo genético de las intrusiones félsicas del Eoceno Medio de la serie magnetita Tipo-I con la mineralización porfírica de Cu-Mo, así como con los procesos hidrotermales de sulfuración alta a intermedia en la Sierra Maestra.

5. REFERENCIAS

- Alioshin, V.; Burov, V.; Sánchez, F.; Eguipko, O. y Eliseiev, V. 1982: *Informe sobre los resultados de los trabajos de levantamiento geológico y búsqueda en escala 1:100 000 ejecutados en las montañas de la Sierra Maestra, provincias de Santiago de Cuba y Granma*. Inventario 2980. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Díaz de Villalvilla, L.; Pérez, M.; Sukar, K.; Marí, T.; Méndez, I.; Rodríguez, R., Piñero, R.; Quintana, M.E.; Aguirre, G.; Echeverría, B.; Milia, I. 1994: *Consideraciones geoquímicas acerca de los arcos volcánicos de Cuba*. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería. Libro de Programas y Resúmenes, Santiago de Cuba, 173.
- Eguipko, O. y Pérez, M. 1976: Breves características petrográficas y petroquímicas de los principales tipos de rocas magmáticas en la parte central de la Sierra Maestra. *Centro de Investigaciones Geológicas*, 1: 14.
- Eguipko, O.; Sukar, K.; Pavlov, V.; Pérez, M.; Gurbanov, A. y Soto, T. 1984: Principales particularidades petroquímicas de los granitoides del eugeosinclinal cubano y sus formaciones. *Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio*, (9): 59-73.
- Garcés, A., Fernández, A., Hernández, O., Medina, I., Álvarez M. 1991: *Informe geológico sobre los trabajos de Prospección Preliminar no concluidos del sector Vega Grande escala 1: 10 000 en la región de la Sierra Maestra del proyecto Prospección Preliminar cobre Yao- Guamá*. Inventario: 4065, archivo de la ONRM.
- García-Delgado, D.E. y Méndez, I. 1994: *Generalización estratigráfica del arco volcánico paleogénico en la Sierra Maestra*. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería, Programa y Resúmenes. Santiago de Cuba, 68.
- Golovkin, L. M., López-Álvarez J.L., Sojo, M., Sviridov, A. P. 1981: *Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico a escala 1:100 000 realizados en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976-77*. Inventario: 3045, archivo de la ONRM.
- Gray, F.; Hammarstrom, J. M.; Ludington, S.; Zürcher, L.; Nelson, C. E.; Robinson, G. R., Jr.; Miller, R. J. y Moring, B. C. 2014: *Porphyry copper assessment of Central America and the Caribbean Basin*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5090-I. 81 p.
- Guilbert, J. M. y Park, C. F. 1986: *The Geology of Ore Deposits*. New York: W. H. Freeman. p. 715-720.
- Hart, C.J.R. 2015: *Reduced Intrusion-Related Gold Systems*. MDRU-Mineral Deposit Research Unit, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, p. 95-112.

- Havlicek Y. 1966: *Informe sobre los trabajos realizados durante el período 20-3-63 al 5-4-66, en la parte técnica de la sección de exploraciones populares*. Inventario 2438. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Iturralde-Vinent, M. 1995: *El segmento cubano del arco volcánico paleoceno-Eoceno Medio del Caribe*. 3th Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago p. 345-361.
- Iturralde-Vinent, M. 2019: *Geología de Cuba y del Caribe Compendio*. Tercera Edición. Academia de Ciencias de Cuba.
- Ishihara, S. 1981: The granitoids series and Mineralisation. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary Vol. 1905-1980: 458-484.
- Izquierdo, J. M., Fernández, A., Donski, V., Estrugo M., Rodríguez J., Diéguez, H., Shershniov V., Escobar E., Sánchez R., Torres M., Gentoiu., Cobas, J. 1992: *Informe del tema 401-03, Fundamentación de las direcciones de prospección preliminar y detallada para cobre en la región del campo menífero El Cobre, incluyendo la cuantificación de los recursos hipotéticos* (Inédito). Inventario 3044. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Janzen, J. 1998: Summary Report. Joutel Resources Limited-Geominera SA. Joint Venture Exploration Projects (1993-1998). Sierra Maestra Area, Eastern Cuba. Toronto, Ontario, Canadá. Inventario 5124. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Kinev, T. y Casanova, E. 1970: *Informe sobre los trabajos de Búsqueda para cobre a escala 1: 100 000, realizados en el área interfluvial Buey-Guamá (Sierra Maestra) entre 1967-1968. Provincia de Oriente*. Inventario 1733. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Kuzovkov, G., Arseniev, Y., Sánchez, R., Quesada, R. 1983: *Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico a escala 1:100 000 en la pendiente sur de la cresta del turquino. Provincia de Santiago de Cuba durante los años 1975-76 (Sierra Maestra Sur II)*. Inventario 3044. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Laznicka, P., Novak, J., Schovaneck, P., Soucek, J., Sevcik, J., Znackovaka S. 1970: Geología, petrografía y mineralogía de las pendientes meridionales de la Sierra Maestra al oeste de Santiago de Cuba: Serie Oriente 4: p.1-46, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lowell, J. D. y Guilbert, J. M. 1970: Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, 65(4): 373-408.
- Medina, A. 2020: La minería de oro en la parte central de la Sierra Maestra: perspectivas económicas en el contexto actual. *Minería y Geología*, 36(1): 106-123.
- Méndez-Calderón, I. 1997: *Apuntes sobre el vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra y características de su composición química*; In:

- Furrazola - Bermúdez, G., Núñez Cambra, K. (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba. La Habana, Centro Nacional de Información Geológica, p. 446-462.
- Molodenkov, N.; Kurakov, O. y Ponomariev, B. 1968: *Informe geológico sobre los resultados de los trabajos de búsqueda para cobre realizados en la región de Vega Grande en 1965-67*. Inventario 1719. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Padró, T.; Tomás, P.; Rodríguez, R.; Sosa, I. 1990: *Informe sobre los trabajos de Prospección Preliminar de cobre en el sector Buey Cabón realizados en los años 1987-88*. Inventario 4141. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Proenza, J.A. y Melgarejo, J.C. 1998: Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Acta Geológica Hispánica*, 33(1-4): 89-131.
- Pusharovsky, Y. (ed.) 1988: *Mapa Geológico de la República de Cuba escala 1:250 000* (42 pág.). Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de la URSS.
- Ridley, J. 2013: *Ore Deposit Geology*. Cambridge Books Online, © Cambridge University Press.
- Robert, F.; Brommecker, R.; Bourne, B. T.; Dobak, P. J.; McEwan, C. J.; Rowe, R.R.; Zhou, X. 2007: *Models and Exploration. Methods for Major Gold Deposit Types*. In "Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration" edited by B. Milkereit, p. 691-711.
- Rodríguez-Crombet, R., Rodríguez M., Yassel A. 1997: *Características del magmatismo granitoideo de Cuba Oriental (Región Sierra Maestra)*. In: Furrazola-Bermúdez, G., Núñez Cambra, K. (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba. La Habana, Centro Nacional de Información Geológica, 446-462.
- Rojas-Agramonte, Y.; Neubauer, F.; Handler, R.; Garcia-Delgado, D.E.; Delgado-Damas, R. V. 2000: *Tectonic evolution of the Oriente fault seen through the deformation of the Sierra Maestra, Cuba*.
- Sánchez, R.; Capote, C.; Torres, J. L.; Bravo, F.; Mondelo, F.; Alfonso W.; Kessell, E.; Moya J.J.; González, D.; Salinas, A.; Noel, W.; Altarriba, I. J. 2010: *Perspectivas de aparición de mineralización cupro-aurífera en los alrededores de las manifestaciones minerales San Miguel, Juanica, Colón, Seguridad y La Gloria en la parte central de la Sierra Maestra*. IGP (Inédito).
- Seedorff, E.; Dilles, J.; Proffett, J.; Einaudi, M.; Zurcher, L.; Stavast, W.; Johnson, D. y Barton, M. 2005: Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology*, 100: 251-298.

- Sillitoe, R. H. 2010: Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologists, *Economic Geology*, 105(1): 3-41.
- Singer, D. A.; Berger, V.I.; Moring, B.C. 2008: *Porphyry Copper Deposits of the World: Database and Grade and Tonnage Models*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1145, 45 p.pubs.ugs.gov/of/2008-1155.pdf.
- Somov, K. F. 1966: *Informe de los trabajos de evaluación y revisión de cobre realizados en la provincia de Oriente*. Inventario 1696. La Habana: Archivo de la ONRM.
- Soto, T.; Pérez, M.; Sukar, K. 1985: Algunas características petrológicas del complejo intrusivo de composición ácida media en la Sierra Maestra. *Serie geológica No 3*. Publicación técnica del centro de investigaciones geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- Zikin, E. y Larionov, V. 1968: *Informe sobre los resultados del estudio de las manifestaciones de mineral y de los trabajos de búsqueda para el cobre, realizados en 1965-67 en la Sierra Maestra*. Inventario 1718. La Habana: Archivo de la ONRM.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

AMB: Idea de la investigación, análisis crítico de los trabajos precedentes, elaboración de figuras y tablas, elaboración y análisis de las particularidades geológicas, discusión de los resultados, redacción del manuscrito original. JNMG: Revisión y corrección de las particularidades geológicas, actualización bibliográfica de los yacimientos de cobre porfírico, redacción de las conclusiones, revisión y aprobación de la versión final del manuscrito. ACP: Elaboración del diseño del estudio, actualización de datos técnico-económicos y de los recursos de cobre a nivel global, revisión de la discusión de los resultados y aprobación de la versión final del manuscrito.

ORCID

AMB, <https://orcid.org/0000-0002-3802-1785>

JNMG, <https://orcid.org/0000-0001-6378-5405>

ACP, <https://orcid.org/0000-0002-6841-8986>

Recibido: 11/03/2019

Aceptado: 16/04/2021