



PROSPECTO MINERO LA ESPERANZA, NUEVOS INDICIOS DE UN PÓRFIDO DE CU-MO-AU, SIGCHOS-COTOPAXI

La Esperanza mining prospect, new indications of a Cu-Mo-Au porphyry, Sigchos-Cotopaxi

Milton Reinoso Mena
Instituto de Investigación Geológico y Energético
milton.reinoso@geoenergia.gob.ec

Ricardo Andrade Terán
Instituto de Investigación Geológico y Energético
ricardo.andrade@geoenergia.gob.ec
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7417-8237>

Washington Lomas Zumba
Instituto de Investigación Geológico y Energético
washington.lomas@geoenergia.gob.ec
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-1528>

Marcos Gallardo Inga
Instituto de Investigación Geológico y Energético
marcos.gallardo@geoenergia.gob.ec

Franco Pinzón Rivas
Instituto de Investigación Geológico y Energético
franco.pinzon@geoenergia.gob.ec
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4493-1785>

Recibido: 07 de abril de 2020
Aprobado: 18 de diciembre de 2020
ARTÍCULO ORIGINAL
DOI: 10.29166/REVFIG.V112.2209

RESUMEN

La investigación presenta datos relacionados a un nuevo pórfido localizado en la parte centro-norte de la cordillera Occidental, al norte de Ecuador, sector La Cocha de San Isidro, cantón Sigchos. La geología del área corresponde a rocas volcano-sedimentarias, lavas andesíticas de corteza oceánica atribuidas a la Formación Macuchi del Eoceno. Presenta intrusiones terciarias tipo: tonalitas, dioritas y granodioritas que están relacionadas con la mineralización. Para la identificación de este prospecto, se realizó una reinterpretación y tratamiento estadístico de datos geoquímicos de sedimentos fluviales históricos y muestras de roca de afloramientos en drenajes de primero y segundo orden; identificando anomalías de cobre, molibdeno, oro y plata. En el área de estudio se han identificado tres zonas similares de interés mineral denominadas San Isidro, San Miguelito y La Chala, relacionadas a intrusivos dioríticos, cuarzo-dioríticos y tonalíticos, que presenta una fuerte silicificación, alteración propilítica y alteración potásica local relacionada al núcleo del sistema, asociadas a fases de stockwork de Qz + sulfuros. Se reportan valores importantes en cobre de hasta 0,43%; en molibdeno 0,04%, y en oro hasta 0,86 g/t. Con base en los datos geológicos y en los resultados de laboratorio de las muestras, se puede interpretar que estas zonas corresponden a un depósito tipo pórfido cobre-molibdeno-oro.

ABSTRACT

The investigation presents data related to new porphyry located in the north-central part of the Western Cordillera, north of Ecuador, La Cocha de San Isidro sector, Sigchos Canton. The geology of the area corresponds to volcano-sedimentary rocks, andesitic lavas of oceanic crust attributed to the Macuchi Formation of the Eocene. It presents tertiary intrusions type: tonalitas, diorites and granodiorites related with the mineralization. For the identification of this prospect, a statistical reinterpretation and treatment of geochemical data of historical river sediments and rock samples from outcrops in first and second order drains was performed; identifying anomalies of copper, molybdenum, gold and silver. In the study area, I have identified similar three areas of mineral interest called San Isidro, San Miguelito and La Chala, related to dioritic, quartz-dioritic and tonalitic intrusives, which presents strong silicification and

PALABRAS CLAVE Pórfido, Sigchos, alteración hidrotermal, minerales económicos.

KEYWORDS Porphyry, Sigchos, hydrothermal alteration, economic minerals.

propylic alteration, local potassium alteration in the core of system, associated with stockwork phases of Qz + sulfides. Important copper values of up to 0.43% are reported; in molybdenum 0.04%, and in gold up to 0.86 g / t. Based on the geological data and laboratory results of the samples, it can be interpreted that these areas correspond to a copper-molybdenum-gold porphyry deposit.

INTRODUCCIÓN

La geología de la cordillera Occidental (CO) está dominada por una sucesión de eventos de colisión de terrenos alóctonos (plataforma marina y dorsal oceánica) contra la placa continental sudamericana, donde se pueden identificar rocas volcano-sedimentarias, lavas andesíticas de la Formación Macuchi de edad Eocénica (Vallejo, 2007). Intrusiones terciarias posteriores están presentes en este sector: tonalitas, dioritas y granodioritas que son las rocas responsables de la mineralización (Feininger, 1980; Goossens y Rose, 1973; Jaillard *et al.*, 1995).

Desde el Jurásico tardío se piensa en una creciente acreción de variados terrenos oceánicos y continentales, modificada por zonas de falla/sutura con rumbo NNE y movimiento dextral transcurrente. La sutura y subducción de la corteza oceánica y sus plataformas y arcos superpuestos ocurrieron durante el Jurásico, en el Cretácico medio a tardío y en el Terciario temprano (Litherland *et al.*, 1994). La litoestratigrafía del sector se halla en gran parte ocupada por terrenos acrecionados, compuestos por secuencias sedimentarias y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad Macuchi (Boland, Pilatasig, Ibadango, McCourt, Aspden, Hughes y Beate, 2000); además secuencias de capas finas a medias de limolitas negras y argilitas, intercaladas con areniscas de grano grueso de la Formación Apagua (Egüez y Bourgois, 1986). Estos grupos litológicos se encuentran intruidos por rocas magmáticas de composición calcoalcalina, como granodioritas y dioritas, rocas que en amplios sectores presentan alteración hidrotermal y son favorables para alojar la mineralización.

Los sistemas de pórfido Cu albergan diferentes tipos de mineralización que son ampliamente distribuidos en los límites de placas convergentes, definiendo cinturones lineales de algunos cientos de kilómetros de largo. La alteración y mineralización en estos sistemas, ocupan muchos kilómetros, dividiéndose hacia afuera en stocks o enjambres de diques, que comprenden varias generaciones de intrusiones de pórfido intermedio a félsico (Sillitoe, 2010).

Schütte *et al.* (2012) manifiestan que los pórfidos de Cu en Ecuador, están relacionados con unidades geológicas de basamento profundas y con pulsos intrusivos precursores a escala batolítica; unos pocos

depósitos del Mioceno ocurren en el centro-norte de Ecuador; la mayoría de los pórfidos de la CO se los ha definido en un cinturón metalogénico del Mioceno, la mayoría de estos depósitos se localizan al sur de Ecuador.

El Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN) y Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) realizaron las primeras investigaciones en el proyecto denominado Insiliví, donde se identificaron los primeros indicios de mineralización en el sector La Chala; reportando valores de cobre-molibdeno: Cu 0.17%; Mo 0.02% (MMAJ, 1987).

Mediante los estudios realizados en el «Proyecto de investigación geológica y disponibilidad de ocurrencias minerales en el territorio ecuatoriano», que se encuentra desarrollando el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), se definió una zona prospectiva denominada «La Esperanza», que tiene como objetivo identificar los principales targets de mineralización relacionados a pórfidos de cobre con potencial para desarrollar un posible depósito de interés económico.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La evolución geotectónica del Ecuador, siguiendo el rompimiento de la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca, alrededor de 26 Ma (Somoza, 1998), ha sido dominada por la subducción hacia el este de la placa Nazca y el desarrollo asociado en el Neógeno de volcanes de tipo arco continental, construidos predominantemente sobre la asociación de terrenos acrecionados (Litherland *et al.*, 1994).

La cordillera Occidental (CO) está formada por bloques alóctonos acrecionados a la placa continental sudamericana durante el Cretácico tardío y el Terciario temprano, con desplazamientos transcurrentes a lo largo de fallas norte-sur (Vallejo *et al.*, 2009). En la zona centro-norte de la cordillera Occidental, durante el Paleoceno al Eoceno en el borde oriental de los terrenos oceánicos, fueron depositadas rocas siliciclásticas del grupo Angamarca constituido por las formaciones geológicas (Saquisilí, Apagua y Rumi Cruz), que recibieron aportes de rocas de la cordillera Oriental en proceso de levantamiento. Hacia el oeste de la CO la Unidad Macuchi fue depositada en un ambiente de volcanismo submarino, y es contem-

poránea con la depositación del grupo Angamarca (Vallejo, 2007).

La litoestratigrafía al este de Sigchos, en los sectores de San Isidro, San Miguelito y La Chala (Figuras 1 y 2), corresponde a terrenos acrecionados compuestos por secuencias sedimentarias y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad Macuchi (Litherland *et al.*, 1994); además, se encuentran secuencias detríticas tipo flisch constituida por capas milimétricas a centimétricas de limolitas negras y argilitas, intercaladas con areniscas de grano grueso de la Formación Apagua (Egüez y Bourgois, 1986; Vallejo, 2007). Además, existe una importante presencia de rocas plutónicas que intruyen a parte de las formaciones antes citadas, compuestas principalmente por granodiorita y diorita.

UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra al noroeste del Ecuador, en la región Sierra, en el flanco oeste de la CO, específicamente en la provincia de Cotopaxi, cantones Sigchos y La Maná, se localiza aproximadamente a 130 km al sur de Quito y posee una superficie de 27 km². Para la presente investigación el área de estudio fue dividida en tres sectores de interés, a los que se les denominó La Chala, San Isidro y San Miguelito (Figura 1).

METODOLOGÍA

El reconocimiento de los tipos de depósitos de mineral único, ya sea económico o no, en los sistemas de pórfido de Cu, puede emplearse directamente en combinación con los conceptos de alteración y zonificación de metales para la exploración de diferentes depósitos minerales (Sillitoe, 2010).

Las investigaciones geológicas y geoquímicas se han convertido en la base para desarrollar estudios de prospección geológica-minera, que tienen como objetivos delimitar superficialmente anomalías mineralógicas de interés económico y elementos químicos que ayuden a determinar targets; con base en estos resultados se puede realizar una interpretación y asociar/relacionar con un tipo de depósito mineral.

La metodología se basó, en primer lugar, en la recopilación de información, principalmente de estudios geológicos preliminares y geoquímica de sedimentos para definir los sectores anómalos en el área de estudio. Posteriormente se realizaron dos campañas de campo durante el 2019 en los sectores con presencia de anomalías geoquímicas de sedimentos. Durante estas jornadas se ejecutó el levantamiento geológico y la toma de 115 muestras de roca a las que se les realizó análisis químicos y petrográficos (ver Figura 1).

Los muestreos que se emplearon fueron tipo chip en

la mayoría de los afloramientos, y tipo canal para estructuras mineralizadas (vetas). Adicionalmente a la toma de muestras de roca, también se realizó la toma de medidas estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) de los principales planos de fracturamiento.

Los métodos de análisis químico consistieron en pulverizar las muestras de roca hasta llegar a un diámetro menor de 69 µm, para posteriormente realizar el ensayo analítico (ICP-OES), que determina 36 elementos de interés incluidos Ag, Cu, Pb y Zn (Olesik, 1991); y el ensayo al fuego que identifica oro por fundición en muestras sólidas como sedimentos, rocas, relaves y concentrados (Rodríguez, *et al.*, 2013).

RESULTADOS

GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio los grupos litológicos identificados de la Formación Macuchi están constituidos por una secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de origen submarino; además se afloran secuencias sedimentarias de grano muy fino a medio, desde lutitas, limolitas, hasta areniscas bien estratificadas con presencia de minerales como plagioclasas, hornblendas y ocasionalmente piroxenos, correspondientes a la Formación Apagua. Estos grupos litológicos se encuentran intruidos por rocas magmáticas de composición intermedia, como tonalitas y dioritas, que son responsables de la mineralización (Figura 2).

En las nacientes del río Cochapamba afloran facies de intrusivos de composición tonalítica, de grano medio con moderada oxidación de hierro (limonita-hematita). Su coloración varía de gris claro a gris verdoso; está compuesto principalmente de plagioclasas, cuarzo y hornblenda, ocasionalmente biotita y magnetita; presenta una débil alteración clorítica (< 1%); y la mineralización metálica está ligada a la presencia de piritita disseminada (2%).

Al noroeste del área de estudio, sector La Chala, aflora una roca magmática de composición cuarzo-diorítica mesocrática. Petrográficamente está constituida por un 30% de minerales máficos (anfíboles), plagioclasas subhedrales de grano medio a fino, piritita disseminada y abundantes óxidos de hierro (limonita-hematita). La mineralización metálica está presente en vetillas de cuarzo+sulfuros que forman un stockwork moderado. La roca presenta una alteración sílica intensa/fuerte.

En el sector San Miguelito, se observó un intrusivo leucocrático, con características de una tonalita, constituida principalmente por plagioclasas, cuarzo y máficos cloritizados; se ha identificado dos tipos

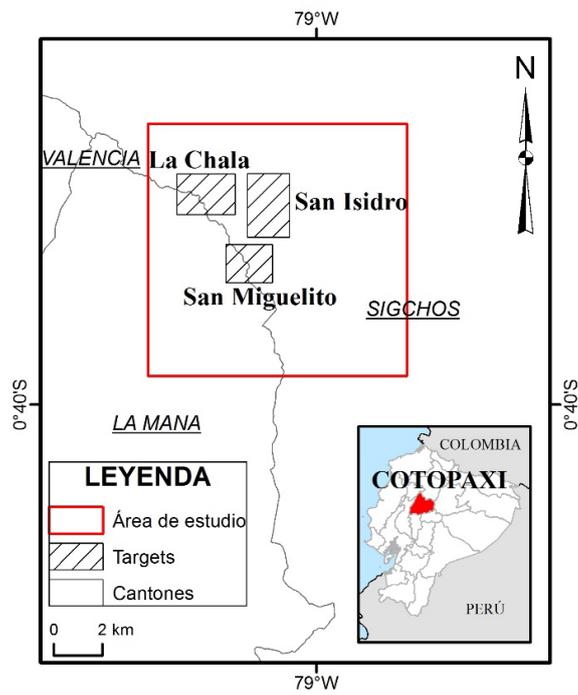


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

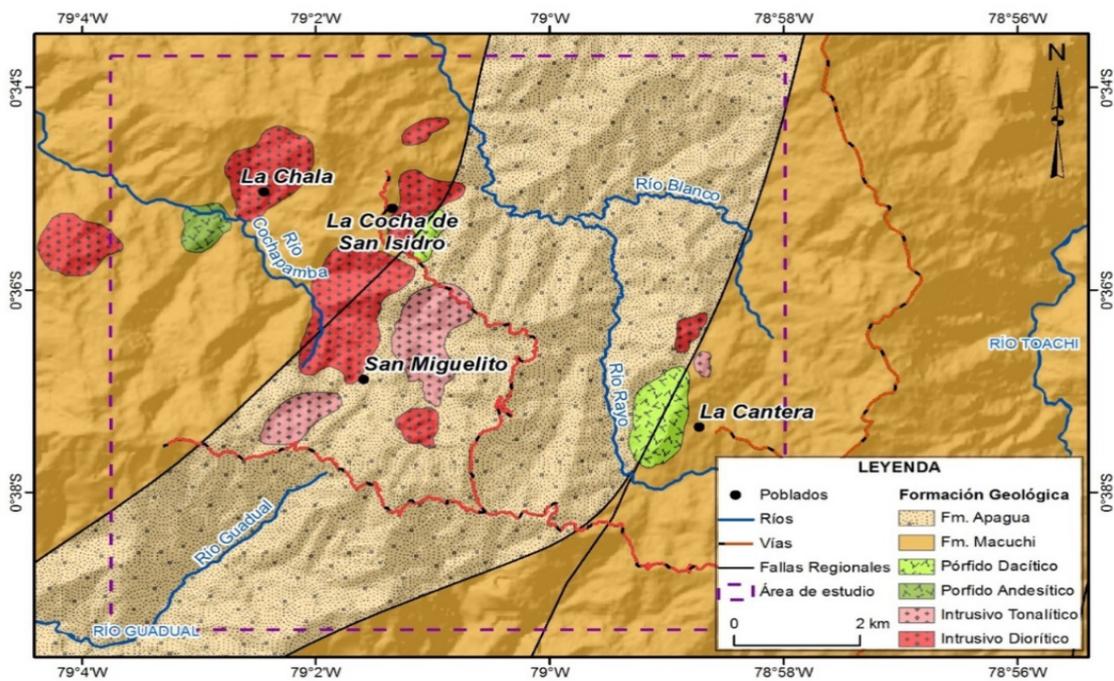


Figura 2. Mapa de geológico del área de estudio.

Fuente: modificado de Egúez et al., 2017

de alteración hidrotermal, siendo la más pervasiva la alteración sílica, la cual está acompañada por una moderada alteración propilítica (clorita-epidota); la mineralización metálica de interés está presente en un stockwork moderado de cuarzo+sulfuros (calcopirita, bornita y covelina, trazas de molibdenita), principalmente la pirita se encuentra diseminada (2-3%) (ver Figura 2).

En el sector de La Cantera se observan rasgos de una estructura que correspondería a un complejo volcánico antiguo, constituido por rocas leucocráticas de composición dacíticas y riodacíticas. Petrográficamente presentan una textura porfirítica y están compuestas principalmente por plagioclasas, feldespatos potásicos alterados, cuarzo, hornblenda y ocasionalmente biotita oxidada.

Al sur del área de estudio, en las nacientes del río Guadual, se observa una secuencia de rocas sedimentarias constituida por grauvacas grises compuesta por feldespatos, micas, en menor porcentaje cuarzo, dentro de una matriz detrítica, intercalada con lutitas centimétricas color gris oscuro y limolitas color crema.

INDICIOS MINERALES

De acuerdo a los datos geológicos de campo, análisis macroscópico de rocas y resultados geoquímicos de laboratorio de las muestras recolectadas durante las geotrasversías, se pudo definir tres targets principales para exploración relacionados a un sistema tipo pórfido de cobre-molibdeno-oro, a los que se les denominó según su sector de influencia: San Isidro, San Miguelito y La Chala.

En San Isidro, ubicado al noreste del área de estudio, predominan afloramientos de un pórfido de composición diorítica y cuarzo-diorítica que presentan una amplia zona de alteración propilítica (clorita+epidota+/-carbonatos+/-pirita), localmente alteración sericítica y potásica. Estas rocas indican una mineralización relacionada a un pórfido de cobre con un stockwork de vetillas tipo B con pirita, calcopirita y en algunos sectores presencia importante de molibdenita (Figura 3a).

En el sector de San Miguelito se ha observado secuencialmente al menos 3 fases de intrusiones: tonalita, granodiorita y pulsos dioríticos relacionados al sistema porfirítico, con una longitud aproximada de 600 metros continuos, presentando una fuerte alteración sílica y en menor grado alteración clorítica y propilítica, en ocasiones existe sobreimposición de la alteración sílica (cuarzo sericita) sobre las anteriores produciendo la desaparición parcial o total de la textura original de la roca. Puntualmente se identifica halos de alteración potásica, las cuales vienen acom-

pañadas por un vetilleo tipo stockwork de cuarzo, con mineralización de pirita+/-calcopirita+/-molibdenita, esporádicamente se observa bornita y covelina (Figura 3b).

En el sector La Chala, cerca del río Cochapamba, afloran pulsos intrusivos dioríticos y granodioríticos fuertemente fracturados, se ha identificado alteración propilítica acompañada de sulfuros como pirita, calcopirita localmente, y trazas de bornita. La pirita se observa rellenando las fracturas en porcentajes >1%. Indicios de mineralización supérgena de cobre como malaquita y azurita se observa esporádicamente. Hay que recalcar que se evidencia partículas de Au (2 mm) en sedimentos pesados (ver Figura 3).

En resumen, la mineralización económica está relacionada principalmente a facies de pórfidos dioríticos (al norte y sur) y tonalíticos (al sur) con presencia de sulfuros de cobre, como calcopirita, bornita, sulfuros de molibdeno (molibdenita), los cuales son más evidentes en zonas con set de vetillas tipo *stockwork* y en fracturas rellenas con mineralización. Debemos mencionar también que, de acuerdo a los análisis geoquímicos de laboratorio, se presentaron resultados en oro con valores entre 0,4 g/t, 0,68 g/t, 0,86 g/t (Figura 4).

Los datos de magnetometría aérea, realizados por el proyecto PRODEMINCA (2000), indican que en las zonas anómalas de transición entre altos y bajos magnéticos, coinciden con los mejores resultados de geoquímica de rocas en algunas muestras que presentan valores de: Cu: 0.1 a 0.43%; Au: 0.40 g/t a 0.86 g/t; Mo: 47.8 ppm a 408 ppm (ver Figura 4).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los indicios descubiertos del prospecto La Esperanza se encuentran localizados en la faja metalogénica de pórfidos y epitermales del Mioceno-Eoceno, coincidiendo con Schutte (2009) quien afirma que los depósitos de mineral relacionados con los pórfidos en Ecuador son principalmente de edad miocena, y se los considera como la extensión norte del cinturón metalogénico del Mioceno del centro-norte del Perú.

Las zonas investigadas en el prospecto La Esperanza, se encuentran relacionadas a un sistema de pórfidos de cobre, donde se ha identificado la existencia de intrusivos multifases que van desde pulsos dioríticos, cuarzodioríticos, tonalíticos y ocasionalmente granodioríticos; Sillitoe (2010) identifica estos sistemas multifase a plutones que corresponden a intrusiones equigranulares, comúnmente de dimensiones batolíticas y composiciones dioríticas a graníticas.

En La Esperanza, al igual que el depósito de Llu-rimahua, al norte del Ecuador, Salazar y Beate (2009)

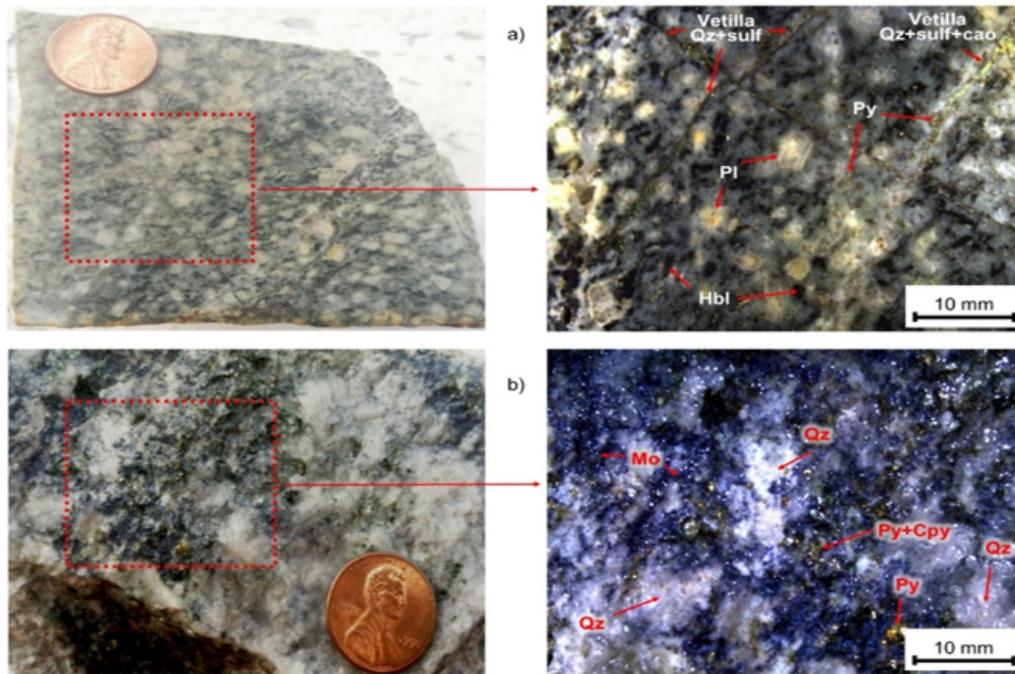


Figura 3. a) Pórfido diorítico con vetillas tipo B; b) Tonalita con sulfuros diseminados y en vetilleo.

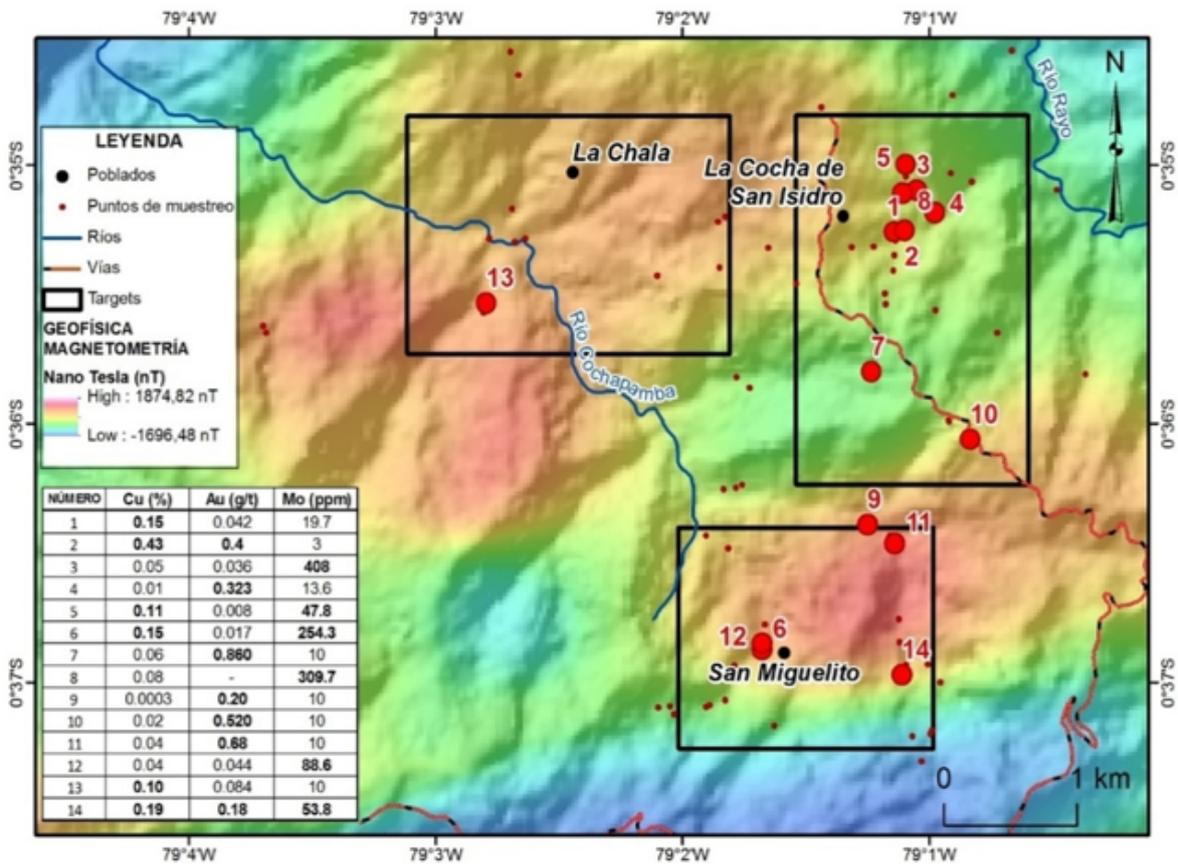


Figura 4. Mapamagnetometría aérea vs Geoquímica de rocas (zonas de targets).

manifiestan que los pórfidos de composición dacítica que están intruyendo al batolito de Apuela son los responsables de la alteración y mineralización, la misma que está asociada a sulfuros hipógenos de cobre (bornita, calcopirita) y sulfuros de molibdeno (molibdenita). Dichos sulfuros se encuentran principalmente en zonas de stockwork, al igual que los sulfuros descubiertos en el sector noreste y sur del área La Esperanza, donde se ha identificado la mineralización más predominante en cobre y molibdeno relacionadas a zonas de stockwork y a microfallas.

En el área de estudio se han identificado zonas de alteración propílica con asociación cl+ep+/-carb con +/-sulfuros (py-cpy), y alteración clorítica. Localmente alteración potásica y sericítica. En San Miguelito, sector sur del área, se presenta una fuerte a moderada silicificación, con asociación qz+sericita+py, sobrepuesta a las alteraciones propílica y clorítica. Sillitoe (2010) divide la alteración-mineralización de los depósitos de pórfidos de Cu en zonas superiores desde sódico-cálcico temprano hasta potásico, clorito-sericita y sericítico, coincidiendo con los identificados en el prospecto La Esperanza.

Meyer y Hemley (1967) y Park (1995), han aportado al mejor entendimiento de la alteración hidrotermal y mineralización de pórfidos de cobre, notaron una clara zonación, tanto vertical como lateral. De esta forma, en el prospecto La Esperanza se ha identificado que el tipo de mineralización económica se encuentra relacionado a una mineralización hipógena, manifestada principalmente por la presencia de sulfuros primarios como calcopirita, bornita, molibdenita, principalmente en vetas, vetillas, zonas de stockwork, y en fracturas; además, se ha observado un débil desarrollo de mineralización supérgena con puntual presencia de covelina y trazas de malaquita y azurita; continuando con la zonación de mineralización vertical, donde se ha identificado zonas de oxidación localmente.

A diferencia del pórfido de Chaucha, al sur de Ecuador, donde la mineralización se encuentra en estrechas vetas de sulfuro con cuarzo que constituyen un stockwork típico de un pórfido, donde la mayor concentración de cobre se encuentra principalmente en la zona de enriquecimiento secundario (Aguilera, 1997); en el prospecto La Esperanza, se ha observado un bajo desarrollo de este enriquecimiento secundario con mineralización supérgena puntual como malaquita y covelina en trazas,

CONCLUSIONES

En las zonas de estudio se identificaron principalmente rocas intrusivas de composición diorítica y tonalítica, esta última fase en especial se encuentra al sur, en San Miguelito; estos intrusivos se encuentran en contacto con tobas andesíticas, andesitas porfiríticas de la Formación Macuchi y, además, con rocas sedimentarias pelíticas de la Formación Apagua como lutitas negras masivas y estratificadas, intercaladas con areniscas de grano fino a medio.

La zona 1 de interés, denominada San Isidro, se caracteriza por la presencia de rocas dioríticas con alteración propílica, clorita-epidota+/-carbonatos+/-pirita; también, se encuentra puntualmente alteración potásica y fílica con mineralización económica de cobre especialmente en fracturas, tales como calcopirita, +/- bornita+/-molibdenita e importante presencia de óxidos de hierro, relacionado a pórfidos de cobre.

En la zona 2 (San Miguelito) afloran rocas intrusivas de composición tonalítica, diorítica a cuarzo-diorítica, se caracterizó una fuerte alteración sílica que en ocasiones se sobrepone a la alteración clorita-epidota, localmente se identifica alteración cuarzo sericita y halos de alteración potásica. La mineralización se encuentra diseminada (especialmente pirita), vetillas de cuarzo junto con sulfuros pirita, calcopirita, ocasionalmente bornita y trazas de molibdenita. Resultados de análisis químico en roca indican la presencia significativa de oro en rangos de 0,418 g/t a 0,86 g/t.

La zona 3 (La Chalá) con la presencia de intrusivos dioríticos, se caracteriza por una alteración propílica y mineralización de sulfuros, principalmente en fracturas con pirita-calcopirita, bornita y malaquita localmente acompañados de limonita y hematita.

Con los nuevos indicios identificados de este prospecto porfídico Cu-Mo-Au se debe profundizar el estudio con mayor detalle a fin de definir las etapas de mineralización presentes.

Posteriormente, una vez analizada la información y evaluando los resultados de la exploración preliminar, se recomendaría realizar una campaña de sondeos con perforación a diamantina para evaluar la factibilidad económica del mismo.

REFERENCIAS

- Aguilera, G. 1997. Mineralization and hydrothermal alteration at the Chaucha porphyry copper-molybdenum deposit (Ecuador).
- Boland, M. L., Pilatasig, L. F., Ibadango, C. E., McCourt, W. J., Aspdén, J. A., Hughes, R. A. y Beate, B. 2000. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0 and 1N. Proyecto de Desarrollo Minero y

- Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, CODIGEM-BGS, Quito, Informe, 10.
- Egüez, A., y Bourgois, J. 1986. La formación Apagua: edad y posición estructural en la cordillera Occidental del Ecuador. *Actas IV Congreso Ecuatoriano de Ingeniería, Geología, Minería y Petróleo*, 1, 161-178.
- Egüez, A., Gaona, M. y Albán, A. 2017. Mapa geológico de la República del Ecuador. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/nuevo%201M/GEOLOGICO_2017_1M. pd.
- Feininger, T. 1980. Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *Journal of Petrology*, 21(1), 107-140.
- Goossens, P. J. y Rose Jr, W. I. 1973. Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador. *Geological Society of America Bulletin*, 84(3), 1043-1052.
- Jaillard, É., Ordóñez, M., Benítez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G. y Zambrano, I. 1995. Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time.
- Litherland, M., Aspden, J. A. y Jemielita, R. A. 1994. The metamorphic belts of Ecuador, British Geological Survey, Overseas Memoir 11. *British Geological Survey, Keyworth*, 147.
- Meyer, C. y Hemley, J. J. 1967. Wall rock alteration in Barnes, HL (ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Holt, Reinhart and Winston. Inc., New York.
- MMAJ. 1987. Report on Insilivi Project, Cotopaxi in Republic of Ecuador (p. 66) [Informe técnico].
- Olesik, J. W. 1991. Elemental analysis using ICP-OES and ICP/MS. *Analytical Chemistry*, 63(1), 12A-21A.
- Park Jr, C. F. 1995. The zonal theory of ore deposits. *Econ. Geol.*, 50(2), 226-248.
- PRODEMINCA, D. P. 2000. Epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera Occidental y Real (vol. 4). En *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador*.
- Rodríguez, Y., Rodríguez, I. V., y Prieto, J. O. 2013. *Validación del método ensayo al fuego combinado con espectrofotometría de absorción atómica (EF-EAA)*. V Simposio de Minería y Metalurgia, Cuba.
- Salazar Jácome, P., y Beate, B. 2009. Geología, alteración y mineralización del pórfido de cobre-molibdeno Junín, provincia de Imbabura, Ecuador.
- Schutte, P. 2009. *Geochronology, geochemistry, and isotopic composition (Sr, Nd, Pb) of Tertiary porphyry systems in Ecuador*. University of Geneva.
- Schütte, P., Chiaradia, M., Barra, F., Villagómez, D. y Beate, B. 2012. Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os, 40 Ar/39 Ar, and U-Pb geochronology. *Mineralium Deposita*, 47(4), 383-410.
- Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41.
- Somoza, R. 1998. Updated azca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My: Implications for mountain building in the central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(3), 211-215.
- Vallejo, C. 2007. *Evolution of the western cordillera in the Andes of Ecuador (late cretaceous-Paleogene)*. Unpublished Ph. D. Thesis, ETHZ, Zürich, Switzerland.
- Vallejo C., Winkler, W., Spikings, R. y Luzieux, L. 2009. Evolución geodinámica de la cordillera Occidental (Cretácico tardío-Paleógeno). *Revista Politécnica, EPN*, (30), 112-130.