

Exploración de sistemas pórfidos utilizando la Aluníta como vector de orientación en la Litocapa Los Tambos, región Ayacucho, Perú

Exploration of porphyry systems using Alunite as an orientation vector in the Los Tambos Lithocap, Ayacucho region, Peru

Para citar este trabajo:

Aquino, A., y del Valle, C., (2024). Exploración de sistemas pórfidos utilizando la Aluníta como vector de orientación en la Litocapa Los Tambos, región Ayacucho, Perú. *Reincisol*, pp. 1880-1898. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(5\)1880-1898](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(5)1880-1898)

Autores:

Alex Enrique Aquino Chalco

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ciudad: Lima, País: Perú

Correo Institucional: alex.aquino.chalco@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9595-6964>

Carlos del Valle

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ciudad: Lima, País: Perú

Correo Institucional: cdelvallej@unmsm.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3040-1396>

RECIBIDO: 18 mayo 2024 **ACEPTADO:** 9 junio 2024 **PUBLICADO:** 11 julio 2024

Resumen

Los distritos mineros del Sur del Perú emplazados en la franja volcánica Terciaria albergan sistemas epitermales hospedados por Litocapas que podrían estar ligados a sistemas pórfidos. Hay varias herramientas para explorar sistemas pórfidos “ocultos” y, una de ellas son las alunítas. Se propone la utilidad de las Alunítas como orientación hacia posible sistema pórfido relacionado a la Litocapa “Los Tambos” ubicada en la región Ayacucho. En el área de estudio afloran secuencias volcano-sedimentarias, tobas y domos de edad Mioceno-Plioceno, con ensambles de alteración argílica avanzada y desarrollo local de sílice residual. Tomando como referencia el artículo “Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines” de Zhaoshan Chang, et al.; se hizo un estudio de orientación para explorar sistemas pórfido utilizando solo muestras con Aluníta. El estudio reveló tendencia de incremento en contenido de Na en Alunítas con dirección Noroeste. Lo mismo ocurre con ratios $Na/(Na+K)$ y con valores de La, Sr, La/Pb y Sr/Pb donde contenidos anómalos de Cu y Mo se concentran sobre estas anomalías. Contenidos de Hg tienden a disminuir sobre áreas anómalas de La y Sr en el sector Noroeste de la Litocapa. Índices de Cristalinidad de Illítas confirman incremento de temperatura hacia el Noroeste. Estos indicadores direccionales sugieren ocurrencia de sistema pórfido debajo o al costado del extremo Noroeste de la Litocapa, que se complementa con afloramientos de textura “patchy” y que evidenciaría transición hacia sistema pórfido.

Palabras clave: argílica avanzada; aluníta; litocapa; patchy

Abstract

The mining districts of Southern Peru located in the Tertiary volcanic belt host epithermal systems hosted by Lithocap that could be linked to porphyry systems. There are several tools to explore “hidden” porphyry systems and one of them are Alunites. The usefulness of Alunites is proposed as guidance towards a possible porphyry system related to the “Los Tambos” Lithocap located in the Ayacucho region. In the study area, volcano-sedimentary sequences, tuffs and domes of Miocene-Pliocene age emerge, with assemblages of advanced argillic alteration and local development of vuggy silica. Taking as reference the paper “Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines” by Zhaoshan Chang, et al.; an orientation study was done to explore porphyry systems using only samples with Alunite. The study revealed a trend of increase in Na content in Alunite with a Northwest direction. The same occurs with Na/(Na+K) ratios and with values of La, Sr, La/Pb and Sr/Pb where anomalous contents of Cu and Mo are concentrated on these anomalies. Hg contents tend to decrease over anomalous areas of La and Sr in the Northwest sector of the Lithocap. Illite Crystallinity Index confirm an increase in temperature towards the Northwest. These directional indicators suggest the occurrence of a porphyry system below or beside of the Northwest end of the Lithocap, which is complemented by outcrops of a “patchy” texture and that would evidence a transition to a porphyry system.

Keywords: advanced argillic; alunite; lithocap; patchy

INTRODUCCIÓN

Las litocapas son mantos horizontales a sub-horizontales de sílice residual y alteración argílica avanzada de origen hipógeno, ocurriendo sobre intrusiones (Sillitoe, 1995a). Estas pueden hospedar mineralización epitermal de Alta sulfuración, particularmente dentro de sus raíces controladas por fracturas. Las litocapas están temporal y genéticamente relacionadas a intrusiones que pueden estar asociadas con mineralización de estilo pórfido profundo (Sillitoe, 1995a, 1999, 2011; Hedenquist et al., 1998). Las Litocapas pueden tener una gran área de extensión (> 20 km²; Sillitoe, 1995a) y, debido a su resistencia a la erosión, suelen ser prominentes en la superficie. La presencia de una litocapa con gran área de extensión (A. Arribas, 1999) es alentadora para la exploración en una etapa inicial, ya que indica una extensa actividad hidrotermal y un potencial de mineralización de alta sulfuración. Además, existe el potencial de un pórfido profundo y mineralización de vetas epitermales.

Considerando como guía al estudio “Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines” de Zhaoshan Chang, Jeff Hedenquist, Noel White, David Cooke, et al; se realizó un estudio de orientación para explorar sistemas pórfidos debajo o al costado de la extensa litocapa Los Tambos utilizando las firmas espectrales de la aluníta y su composición geoquímica. Esta litocapa aflora en la región Ayacucho y que además es parte de la franja volcánica Terciaria del Sur del Perú donde ocurren mayormente sistemas epitermales Au-Ag, algunas de las cuales están relacionadas a sistemas pórfido (ej. deposito epitermal- pórfido Quicay). El objetivo de este estudio es aportar una herramienta más para explorar sistemas pórfidos ocultos por litocapas, que a veces pueden presentar contenidos

bajos para Au, Cu y Mo a pesar de la evidente alteración hidrotermal; pero los cambios en las firmas espectrales de las alunitas podrían indicar potencialmente una vectorización hacia sistemas pórfidos debajo o hacia los bordes de litocapas, tal como ocurre en depósitos epitermales-pórfidos conocidos en el Perú (Yanacocha-Kupfertal, Tantahuatay, Quicay, Pinaya, etc.) y en el mundo: Valeriano (Chile), Lepanto-Far SE y Bantug (Filipinas).

MATERIALES Y METODOS

Se trata de un estudio del Tipo de investigación aplicada y Diseño no experimental. El diseño del estudio de investigación corresponde al Transeccional - Causal (V1-- ---V2), debido a que colectan datos en un solo momento y tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004). El estudio intenta explicar porque y como los contenidos geoquímicos de la Alunita (variable independiente) ayudan a orientar en la búsqueda de sistemas pórfidos de Cu-Au y/o Au-Cu (variable dependiente).

La población para estudiar consta de un total de 1,710 muestras de roca colectadas en afloramientos de la Litocapa Sur. Se seleccionaron 299 muestras de roca que contienen alunita como mineral de alteración y que contienen <100 ppb Au, las cuales serán parte del proceso de investigación. Las muestras se colectaron sistemáticamente en una malla de 100m x 100m, en lo posible. La metodología de colección de muestras utilizada fue del tipo “canal” de 1m x 0.2m en promedio. En algunas zonas se tomaron de manera selectiva y “chips” representativo. Toda la información colectada fue interpretada y modelada con los softwares ArcGis 10.8.1 y TSG8, generándose mapas geológicos, geoquímicos y alteración hidrotermal que ayudaron a comprobar la hipótesis y plantear las conclusiones del presente trabajo de investigación.

Herramientas utilizadas

Espectrometría con TerraSpec

La Espectrometría de Reflectancia (SWIR) es una técnica basada en el estudio del comportamiento de las ondas del campo electromagnético que son emitidas, absorbidas, reflejadas o refractadas por un cuerpo sólido, líquido o gas. En el espectro infrarrojo de longitud onda corta (SWIR), las longitudes de onda de las alunítas de la litocapa Los Tambos fueron determinadas mediante el equipo TerraSpec y con la ayuda del software TSG8. De un total de 1,710 muestras de roca colectadas y analizadas en Los Tambos, solo 304 muestras contienen aluníta. Sobre esta población solo se consideraron para el presente estudio a 299 muestras que reportaron valores <100 ppb Au.

Geoquímica de muestras de roca

Para el análisis de elementos químicos en las muestras de roca con aluníta, se utilizó el método Au por ensayo al fuego + absorción atómica, y digestión por agua regia + ICP óptico para multi-elementos. Dentro de este paquete geoquímico, se encuentran el La, Sr, Cu, Mo, Pb, K, Na, Hg entre otros elementos, los que fueron parte de este estudio de orientación. El método de análisis por espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), resulta ser una variante de las técnicas de análisis por espectrometría de masas. Sus ventajas principales son su alta precisión, bajos límites de detección y bajo costo económico.

Sistemas Epitermales de Alta Sulfuración

Son depósitos de Au de alta sulfuración (HS), Ag y/o Cu los cuales se generan tanto en la zona epitermal y en partes superiores de ambientes Pórfidos infrayacentes sobre intervalos verticales de hasta 2.0 kms. Estos depósitos resultan desde fluidos

(dominantemente gases, tales como SO₂, HF, HCl) canalizados directamente desde un magma caliente. Los fluidos interactúan con las aguas subterráneas y forman ácidos fuertes. Estos ácidos se descomponen y disuelven la roca circundante dejando sólo sílice principalmente, a menudo en una formación parecida a una esponja conocida como “sílice vuggy”.

Sistemas pórfidos Cu y Au

Los depósitos tipo pórfido son una de las clases más importantes de depósitos minerales para la producción de Cu, Mo y Au. Estos depósitos se forman en la parte más alta de una columna de roca fundida, en forma de “stock”. Esta columna se solidifica generalmente alrededor de 1 a 8 km bajo la superficie de la tierra. Los sistemas pórfido se forman alrededor del ápice de un intrusivo. Los fluidos ricos en minerales que se han separado del enfriamiento fundido intrusivo penetran en la roca circundante y se precipitan Cu, Au y otros metales.

Composición mineralógica y tipos de Alunita

En detalle, la teoría del trabajo de investigación se basa en la variación de la composición química y mineralógica de la alunita dentro de litocapas con alteración argílica avanzada y los grados de absorción espectral respecto a sus contenidos en Ca, Na y K (Zhaoshan, H.; Hedenquist, J.; White, N.; et al. 2011). Un fluido con un pH ligeramente superior a 2, forma alunita en un amplio rango de temperatura (Stoffregen, 1987).

Vectores de orientación asociados a Alunita

Estos vectores apuntan hacia la fuente intrusiva causante que es el centro potencial hacia la mineralización, incluyendo depósitos tipo pórfido y de Alta Sulfuración (Zhaoshan, H.; Hedenquist, J.; White, N.; et al. 2011). La posición del pico de la alunita a ~1480 nm cambia hacia longitudes de onda más altas en

muestras que están cercanas a la fuente intrusiva (pórfido). Por otro lado, algunos elementos químicos de muestras de roca con alunita como La, Sr, Pb, Au, Cu, Mo, Hg tienden a incrementar o decrecer en función a la distancia del sistema pórfido.

RESULTADOS Y DISCUSION

El área de estudio se ubica en los distritos de San Pedro de Palco, Otoa y Ocaña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho y a unos 365km al sureste de la ciudad de Lima (sur del Perú). La litocapa Los Tambos es parte de la extensa franja volcánica Terciaria del sur del Perú.

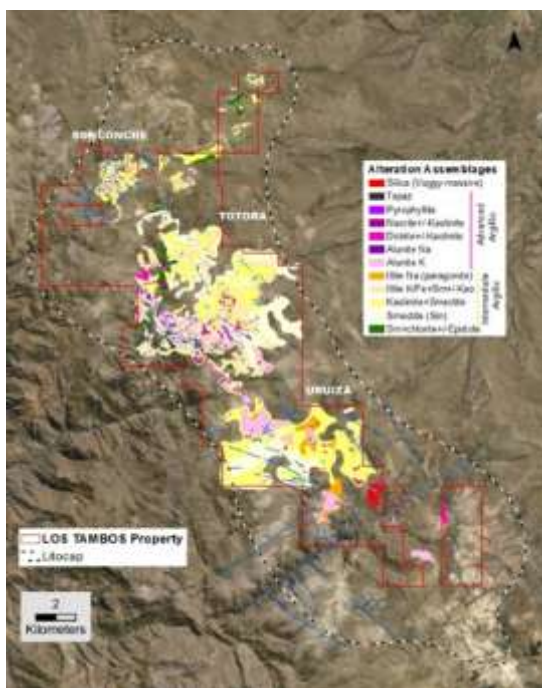
Ensamblés de Alteración Hidrotermal

Se presentan ensamblés de alteración hidrotermal típicos de un sistema epitermal de alta sulfuración. Predomina alteración argílica avanzada (aluníta K-Na, diquítanacrita, pirofilita, topacio+/- diáspora y zunyita), bordeado por un halo de alteración argílica intermedia (Illita+esmectita+/-caolinita) asociado principalmente al domo andesítico de la zona central del área de estudio. Asimismo, ocurren cuerpos de vuggy sílica +/- diquíta, nacrita, aluníta K bordeado por halos de illíta Na (argílica intermedia) asociado a tobas riolíticas.

En general, se han identificado 4 targets o centros epitermales (Uruiza, Totorá, Ecnone, Sonconche) con diferentes niveles de exposición de SE a NO a lo largo de la litocapa y que aparentemente está controlada por una falla principal NO-SE y fallas transversales SO-NE. El extremo SE de la litocapa parece estar dominada por ensamblés de alteración típica de la parte alta de un sistema de alta sulfuración con afloramientos de casquetes silíceos compuesta por alteración Qz-aluníta bordeada por ensamblés argílico avanzada donde predomina aluníta K. Hacia la parte central de la litocapa (Ecnone y Totorá), dominan ensamblés de alteración argílica avanzada con presencia de aluníta K-Na, diquíta y pirofilita local bordeadas

por argílica intermedia (illita Na-K-Fe y esméctica) con presencia local de vuggy sílica que sugieren un nivel epitermal más bajo que Uruiza. El extremo NO está dominado por ensambles de pirofilita, diquíta y aluníta Na que junto con ocurrencia de textura “patchy” (pirofilita y cuarzo gris) sobre un área ~1.0 x 0.5 km de extensión, sugieren un nivel más profundo de la litocapa en posible transición hacia sistema pórfido.

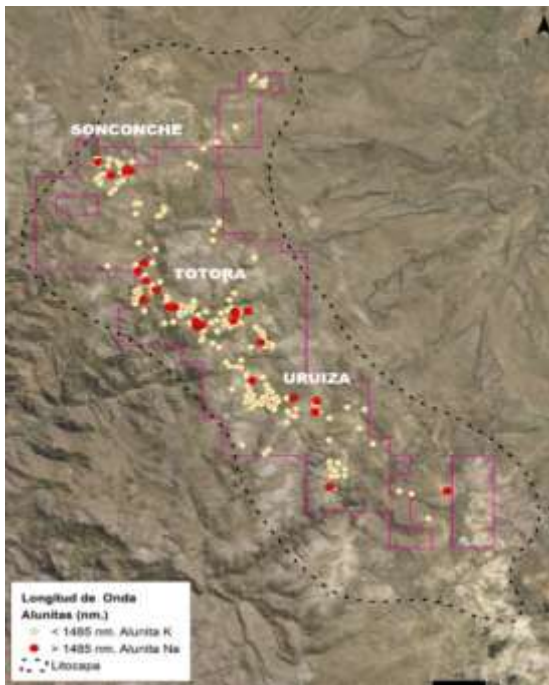
Figura 1: Ensamblajes de alteración hidrotermal



Espectrometría de Aluníta

Las alunítas con contenidos de K y Na tienen una fuerte absorción en el rango de 1,475 a 1,497 nm. Los rangos menores a 1,485 nm indican aluníta con contenidos de K y, aquellas que tienen longitudes de onda mayores a 1,485 nm indican alunítas con contenidos de Na. En la litocapa Los Tambos se evidencia un incremento gradual de contenidos de Na en alunítas con dirección NO que coincide con los targets Ecnone-Totorá y Sonconche, lo cual sugiere aumento de temperatura en esa dirección.

Figura 2: Longitudes de onda de Aluníta



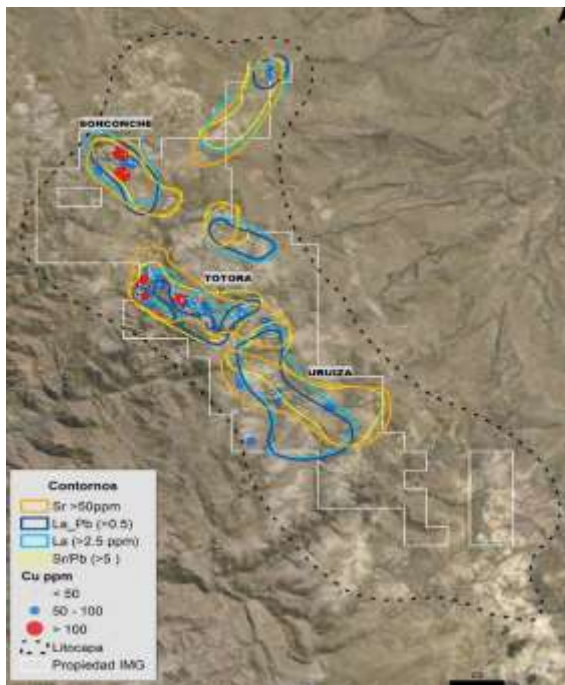
Geoquímica de Aluníta

Las 299 muestras de roca con aluníta seleccionadas para el presente estudio, reportan valores menores a 100 ppb Au. Hacia el target Sonconche se presentan valores hasta 63 ppb Au. En el target Totorá, se presentan valores hasta 90 ppb Au. El Cu reporta valores de hasta 143 ppm en Sonconche y, en Totorá se reporta hasta 125 ppm. El Mo reporta valores de hasta 398 ppm en Sonconche y en Totorá se reporta hasta 172 ppm.

En general, los contenidos de La (>2.5 ppm, hasta 30 ppm) y Sr (>50 ppm, hasta 259 ppm) se incrementan en dirección NO de la litocapa generando áreas anómalas en los targets Totorá y Sonconche. Igualmente, ratios de La/Pb y Sr/Pb incrementan en valor hacia esa misma dirección. Por otro lado, se observa que valores de Au, Hg y Pb disminuyen hacia el núcleo de las áreas anómalas de La y Sr. Mientras que valores de Cu y Mo incrementan hacia las áreas anómalas La y

Sr. También se calcularon ratios $Na/(Na+K)$ cuyos valores incrementan en dirección NO y dentro de las áreas anómalas de La y Sr.

Figura 3: Geoquímica de Alunita con anomalías de La, Sr, Pb y Cu

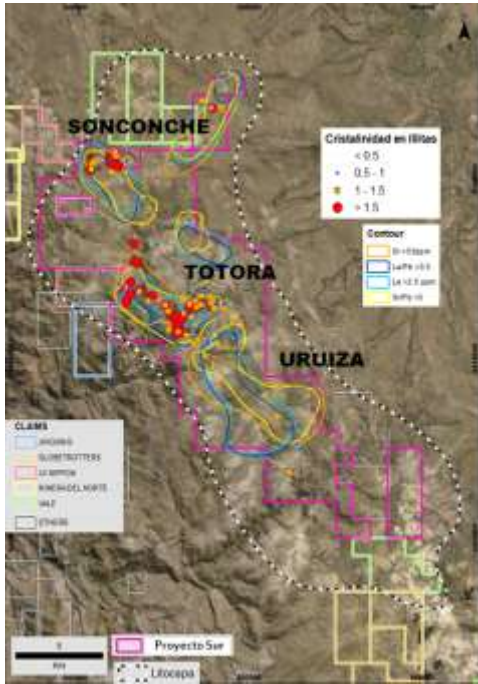


Índice de Cristalinidad de Illitas

Con el fin de incluir otro indicador de incremento de temperatura, se realizó un estudio de Índice de Cristalinidad de Illitas (IC) que reportó valores >1.5 dentro de las áreas anómalas de La y Sr, confirmando que los targets Totorá y Sonconche ubicadas en la parte central y NO de la litocapa, representan áreas “calientes” por incremento de temperatura. La cristalinidad en las illitas es obtenida del valor de absorción del Al (OH) entre el valor de absorción del H₂O. El IC mide la proporción de agua en las micas blancas (Illita-muscovita). Cuanto mayor sean los valores de IC, menos agua habrá en la red cristalina y por lo tanto la muestra será más “cristalina”. La temperatura es el controlador principal de los IC. Entonces, temperaturas de formación más altas, generan micas blancas más cristalinas. Por

consiguiente, valores altos de IC están relacionados a presencia de “feeders” por donde transitan fluidos hidrotermales y de mineralización.

Figura 4: Índice de Cristalinidad de Illitas



Vectorización de Aluníta hacia Potencial Sistema Pórfido y Texturas “PATCHY”

En la extensa litocapa Los Tambos, los picos de absorción de las alunítas varían en un rango de 1,475 nm a 1,497 nm con tendencia a aumentar en dirección NO. De acuerdo con el estudio de vectorización de Hedenquist, Chang y otros en los depósitos Lepanto y Far Southeast (Filipinas), en el espectro infrarrojo de longitud onda corta (SWIR), las longitudes de onda >1,485 nm de las alunítas sugieren cercanía hacia un centro intrusivo debido al contenido alto de Na que indica aumento de temperatura. Los contenidos anómalos de La y Sr, junto con valores anómalos de ratios La/Pb y Sr/Pb, se ubican preferentemente sobre los targets Totora y Sonconche (parte central y NO de litocapa). Esta característica indicaría posible ocurrencia de sistemas pórfidos debajo de estas áreas anómalas en La y Sr.

Por otro lado, estudios experimentales previamente publicados indican que los ratios $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ están relacionados con temperaturas de formación de mineralización: mayor valor de ratio indica incremento de temperatura. En la litocapa Los Tambos, estos datos fueron obtenidos de las muestras con aluníta analizadas mediante el método ICP Óptico multi-elementos con ratios que varían desde 0.05 hasta 0.77. Valores de ratios >0.5 se ubican sobre los targets Totorá y Sonconche.

Afloramientos de textura “patchy” con rellenos de pirofilita en matriz sílica gris sobre domo andesítico del target Sonconche (NO de litocapa), se exponen sobre un área aproximada de 1.0 x 0.5 km. Este rasgo textural es típico en zonas transicionales desde sistemas epitermales hacia pórfidos y se ubican principalmente en la base de las litocapas. Muchas veces las pirofilitas indican el enfriamiento paulatino desde “white mica” (micas blancas: muscovita-sericita) hacia contenidos de aluminosilicatos (pirofilita- diáspora-diquita) en ambientes epitermales de Alta Sulfuración. Por lo tanto, las texturas “patchy” identificadas en el target Sonconche, junto con la vectorización de alunítas Na, estarían indicando potencial para la ocurrencia de sistemas pórfido debajo o al costado del sector NO de la litocapa Los Tambos (target Sonconche).

Figura 5: Afloramiento de textura “Patchy” en target Sonconche



SONCONCHE: “patchy” texture at NW side of the property with pyrophyllite on a siliceous matrix. On the right, “patchy” texture in Tantahuatay deposit Au-Cu. Textures are typical for transitions from HS to porphyry systems



Figura 6: Decrecimiento de Hg dentro de anomalías La, Sr, Pb y Hg



Modelo Geológico

El modelo geológico propuesto apunta hacia la ocurrencia de depósitos de alta Sulfuración (Au-Ag) y/o de tipo Pórfido (Cu-Au) asociada a la extensa litocapa Los Tambos. Esto se sustenta por las evidencias de cambio en las firmas espectrales de la aluníta (aumento de longitud de ondas) contenidas en la extensa litocapa con alteración argílica avanzada y sílice residual (sílice porosa y sílice masiva) del proyecto Los Tambos. El aumento de temperatura desde el SE hacia el NO de la litocapa evidenciado por el incremento de contenido de Na en la aluníta, ratios de Na/K, anomalías de La y Sr y el Índice de cristalinidad de Illitas identificadas en los targets Totorá (sector central) y Sonconche (sector NO), sustentan esta apreciación. Mas aun, los afloramientos de textura “patchy” con relleno de pirofilita en el domo andesítico del target Sonconche, confirman el potencial de sistema pórfido debajo de la litocapa.

CONCLUSIONES

La ocurrencia de litocapas debe llamar la atención de todo geólogo explorador; más aún, si éstas son extensas (varios kilómetros). Es importante también evaluar el nivel de erosión de la litocapa para estimar el probable potencial de un sistema de Alta Sulfuración y, además para conocer la probable ocurrencia y profundidad del sistema pórfido asociado. Con este objetivo, es que se propone el estudio de las firmas espectrales de la aluníta y su composición geoquímica como una herramienta de “vectorización” para explorar sistemas pórfidos asociados a litocapas. El estudio realizado por Chang, Hedenquist y otros en el depósito epitermal Au-Cu Lepanto y el pórfido Cu-Au Far SE en Filipinas, ha servido como guía para aplicar esta herramienta en la litocapa Los Tambos que tiene una extensión de ~25 x 8 km aproximadamente. Los resultados sugieren la ocurrencia

de sistemas pórfidos en la parte central (Totorá) y parte NO (Sonconche) de la litocapa. Incremento en el contenido de Na en las aluníatas, valores anómalos del ratio Na/Na+K y ocurrencia de valores anómalos de La, Sr, La/Pb, La/Sr hacia el sector NO de la litocapa, sustentan esta apreciación. Además, la ocurrencia de textura “patchy” con pirofilita y sílica gris sobre un área de ~1.0 x 0.5km en el target Sonconche, indica la transición hacia sistema pórfido. Este rasgo típico ha sido identificado en sistemas epitermales y pórfidos en Perú: Minas Conga, Tantahuatay, Kupfertal (Yanacocha) y el mundo: El Salvador, La Escondida, Valeriano (Chile) y Bantug (Filipinas), entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Zhaoshan C., Hedenquist J. W., White N. C., Cooke D. R., et al. 2011. Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 106, p. 1365–1398.
- White N., Hedenquist, J. 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration. *SEG Newsletter*, v. 23: 1, p. 9-13
- Gustafson L. B., Vidal C. E., Pinto R., Noble D. C. 2004. Porphyry-Epithermal Transition, Cajamarca Region, Northern Peru. Society of Economic Geologists, Special Publication 11, 2004, pp. 279– 299.
- Halley, S., Dilles, J., Tosdal R. 2015. Footprints: Alteration Hydrothermal and Geochemical Dispersion Around Porphyry Copper Deposits. *SEG Newsletter*, v. 100.
- Sillitoe, R., Burgoa, C., Hopper D. 2016. Porphyry copper discovery beneath the Valeriano lithocap, Chile. *SEG Newsletter*, v. 106: 1, p. 15-20.
- David A. John¹, and Ryan D. Taylor, 2016. By-Products of Porphyry Copper and

- Molybdenum Deposits. Society of Economic Geologists, Inc. *Reviews in Economic Geology*, v. 18, pp. 137– 164
- Camus, F., 2005. The Andean Porphyry Systems, in Porter, T.M. (Ed.), PGC Publishing, v. 1, pp 45-63
- Jeff Hedenquist, Antonio Arribas, Conference Paper – June 2019, Research Gate. Environmental of advanced argillic alteration. I Mineral stability and hypogene formation. II Steam-heated, supergene, and exploration implications
- Richard H. Sillitoe, Justin Tolman, and Glen Van Kerkvoort. Geology of the Caspiche Porphyry Gold- Copper Deposit, Maricunga Belt, Northern Chile. 2013 Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 108, pp. 585–604
- Cin-Ty A.Lee, MingTang, 2019. How to make porphyry copper deposits. *Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Rice University, Houston, TX, USA*
- Weidong Sun, Jin-tuan Wang, Li-peng Zhang, Chan-chan Zhang, He Li, Ming-xing Ling, Xing Ding, Cong-ying Li, Hua-ying Liang. The formation of porphyry copper deposits. Science Press, Institute of Geochemistry, CAS and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016
- Richard H. Sillitoe. Porphyry Copper Systems. 2010 Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 105, pp. 3–41
- Jamie J. Wilkinson, Zhaoshan Chang, David R. Cooke, Michael J. Baker, Clara C. Wilkinson, Shaun Inglis, Huayong Chen, J. Bruce Gemmill. The chlorite proximator: A new tool for detecting porphyry ore deposits. *Journal of geochemical exploration* 152 (2015) 10-26

Quiroz; P. Torres; J. Sarmiento y S. Canchaya. Evidencias de un “lithocap” asociado a una textura moteada en el prospecto Terciopelo en Huancavelica, sur del Perú. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco
p. 600-603

Richard H. Sillitoe, Epithermal paleosurfaces. Miner Deposita (2015) 50:767–793. DOI 10.1007/s00126-015-0614-z

Conflicto de intereses

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y por lo tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

