

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

Alex Enrique Aquino Chalco<sup>1</sup>

[alex.aquino.chalco@gmail.com](mailto:alex.aquino.chalco@gmail.com)

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

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Perú

Carlos del Valle

[cdelvallej@unmsm.edu.pe](mailto:cdelvallej@unmsm.edu.pe)

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

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Perú

### 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 alunitas. Se propone la utilidad de las Alunitas 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 Alunita. El estudio reveló tendencia de incremento en contenido de Na en Alunitas 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; alunita; litocapa; patchy

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [alex.aquino.chalco@gmail.com](mailto:alex.aquino.chalco@gmail.com)

## **Alunite as a Tool to Explore Porphyry Systems in the Los Tambos Lithocapa, Ayacucho Region, Peru**

### **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

*Artículo recibido 15 noviembre 2023  
Aceptado para publicación: 20 diciembre 2023*

## **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 km<sup>2</sup>; 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.

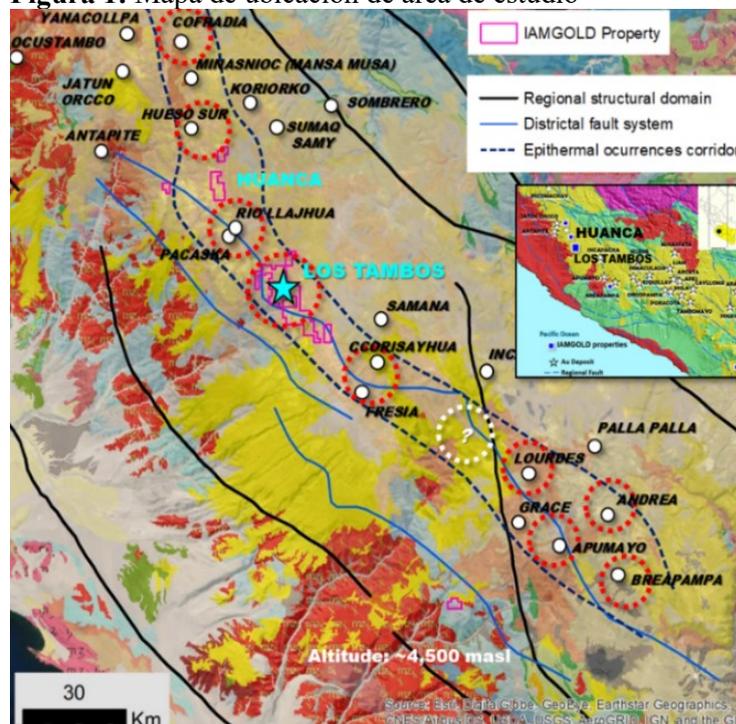
Considerando como guía al estudio “Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines” de Zhaoshan Chang, Jeff Hedenquist, Noel White, David Cooke, et al; se realizó un estudio de orientación para explorar sistemas 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 alunítas 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).

### **Ubicación**

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. Se encuentra a una altitud

promedio de 4,000 m.s.n.m y está incluido en los cuadrángulos 29-n Laramate y 29-ñ Santa Ana, de la carta nacional (INGEMMET). La litocapa Los Tambos es parte de la extensa franja volcánica Terciaria del sur del Perú.

**Figura 1:** Mapa de ubicación de área de estudio



### Historia y Antecedentes

El área de estudio es parte de un Joint Venture (JV) entre IAMGOLD Peru y Pucara Gold. El proyecto consta de 10,331 hectáreas aplicadas principalmente sobre la Litocapa Los Tambos paulatinamente desde el 2010. En el pasado, la empresa TECK realizó una corta campaña de perforación en la parte NE del área de estudio donde afloran casquetes silíceos, pero sin resultados positivos. También se tiene referencia que la empresa Horizonte Gold realizó campañas de perforación hacia el SE (fuera del proyecto) del área de estudio donde aparentemente afloran vetas o estructuras silicificadas con contenidos de oro.

### Marco Tectónico

Regionalmente predominan fallas andinas NO-SE que parecen controlar el emplazamiento de rocas intrusivas y domos volcánicos. A nivel local, se reconocen tres sistemas principales de fallamiento. El principal y primer evento consiste en un sistema de fallas de dirección NO-SE. Como segundo evento

se tiene otro sistema de fallas trasandinas (NE-SO) que cortan a las anteriores. Y como tercer evento se tienen fallas de dirección Norte-Sur. Este comportamiento estructural regional se refleja en el área de estudio, manifestándose a través de fracturamientos y fallamientos locales. Aparentemente la extensa litocapa que abarca más allá del área de estudio, ha sido afectada por una falla NE-SO del tipo “sinextral” que ha cortado prácticamente en dos a la litocapa. La información estructural obtenida en campo marca una tendencia de fallamiento y fracturamiento NO-SE, la cual se confirma con el “trend” de domos andesíticos y evidenciado además por el estudio de magnetometría. En contraste, la mineralización identificada en superficie presenta tendencia de control estructural N-S y NE-SO.

### **Contexto Geológico**

El área de estudio tiene como basamento a una secuencia volcano-sedimentaria (Fm. Castrovirreyña, Mioceno inferior), seguido por tobas de lapilli riolíticas (Gpo. Nazca, Mioceno medio), por flujos de lavas andesíticas (Fm. Caudalosa, Mioceno superior) y por tobas riodacíticas (Gpo. Barroso, Plioceno). Estas 3 últimas unidades litológicas tienen discordancia entre sí. A lo largo de la litocapa y en dirección NO-SE, afloran domos riolíticos, andesíticos y dacíticos que aparentemente son contemporáneos en edad a la Fm. Caudalosa.

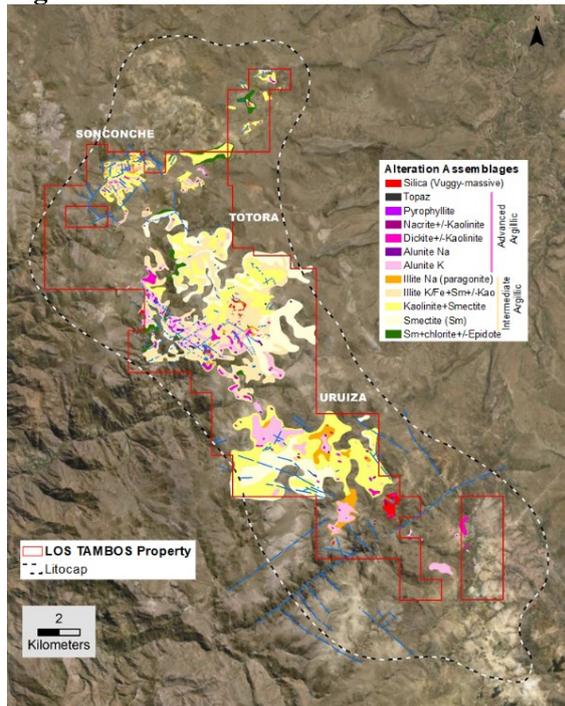
### **Ensamblajes de Alteración Hidrotermal**

Se presentan ensamblajes de alteración hidrotermal típicos de un sistema epitermal de alta sulfuración. Predomina alteración argílica avanzada (aluníta K-Na, diquíta-nacrita, 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 silica +/- 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 ensamblajes de alteración típica de la parte alta de un sistema de alta sulfuración con afloramientos de casquetes silíceos compuesta por alteración Qz-alunita bordeada por ensamblajes argílica avanzada donde predomina aluníta K. Hacia la parte central de la litocapa (Ecnone

y Totorá), dominan ensamblajes de alteración argílica avanzada con presencia de alunita K-Na, diquíta y pirofilita local bordeadas por argílica intermedia (illita Na-K-Fe y esméctica) con presencia local de vuggy silica que sugieren un nivel epitermal más bajo que Uruiza. El extremo NO está dominado por ensamblajes de pirofilita, diquíta y alunita 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 2:** Ensamblajes de alteración hidrotermal



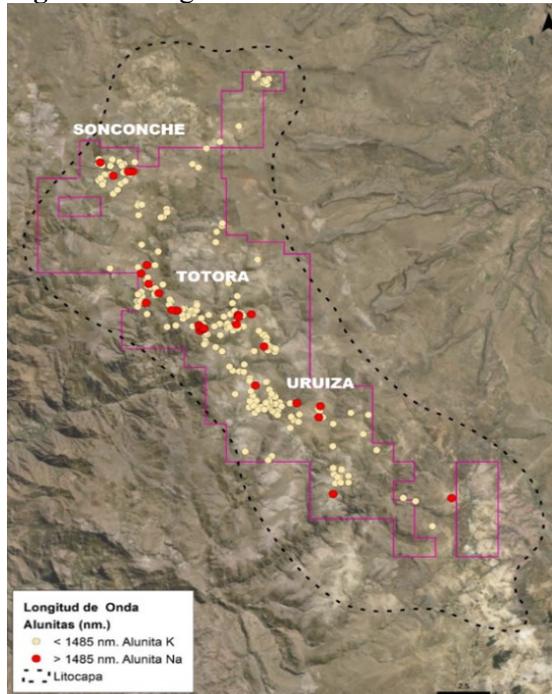
### Espectrometría de Alunita

En el espectro infrarrojo de longitud onda corta (SWIR), las longitudes de onda de las alunitas 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 alunita. Sobre esta población solo se consideraron para el presente estudio a 299 muestras que reportaron valores <100 ppb Au.

Las alunitas 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 alunita con contenidos de K y, aquellas que tienen longitudes de onda mayores a 1,485 nm indican alunitas con contenidos de Na. En la litocapa Los Tambos se evidencia un incremento

gradual de contenidos de Na en alunitas con dirección NO que coincide con los targets Ecnone-Totora y Sonconche, lo cual sugiere aumento de temperatura en esa dirección.

**Figura 3:** Longitudes de onda de Alunita



### Geoquímica de Alunita

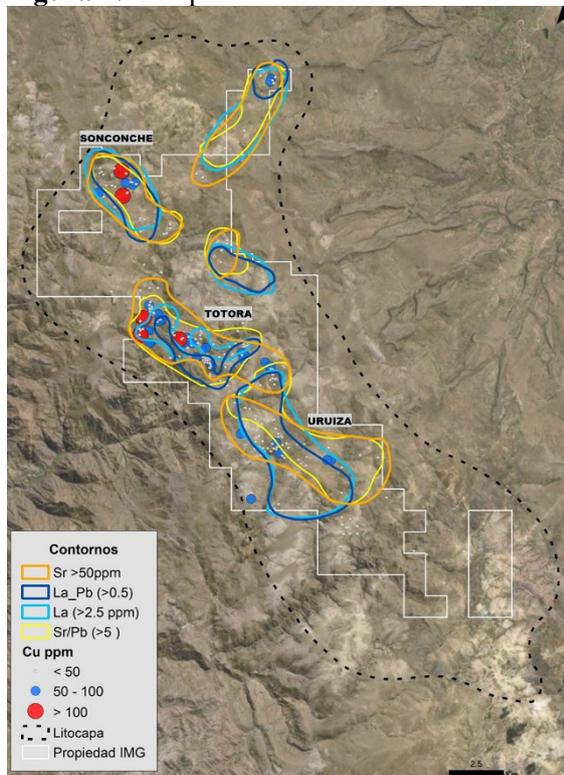
Para el análisis de elementos químicos en las muestras con alunita, se utilizó el método Au por ensayo al fuego + absorción atómica, y digestión por agua regia + ICP óptico para multi-elementos. Dentro de este paquete geoquímico, se encuentran el La, Sr, Cu, Mo, Pb, K, Na, Hg entre otros elementos, los que fueron parte de este estudio de orientación.

Las 299 muestras de roca con alunita 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 Totora, se presentan valores hasta 90 ppb Au. El Cu reporta valores de hasta 143 ppm en Sonconche y, en Totora se reporta hasta 125 ppm. El Mo reporta valores de hasta 398 ppm en Sonconche y en Totora 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 Totora 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 4:** Geoquímica de Alunita con anomalías de La, Sr, Pb y Cu



### Indice de Cristalinidad de Illitas

Con el fin de incluir otro indicador de incremento de temperatura, se realizó un estudio de Indice 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 H<sub>2</sub>O. 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 mas “cristalina”. La temperatura es el controlador principal de los IC. Entonces, temperaturas de formación más altas, generan micas blancas mas cristalinas. Por consiguiente, valores altos de IC están relacionados a presencia de “feeders” por donde transitan fluidos hidrotermales y de mineralización.

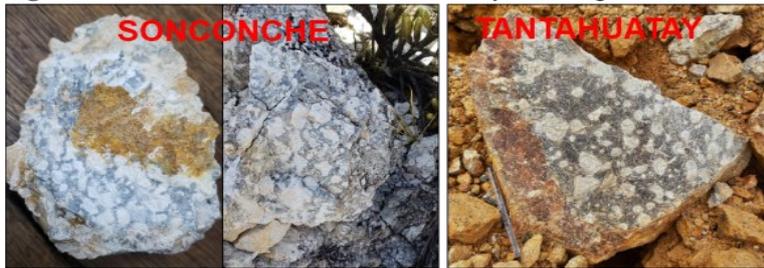
### **Vectorización de Alunita hacia Potencial Sistema Porfido y Texturas “PATCHY”**

En la extensa litocapa Los Tambos, los picos de absorción de las alunitas 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 alunitas 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 Totorá 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 alunita 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 alunitas Na, estarían indicando potencial para la ocurrencia de sistemas pórfido debajo o al costado del sector NO de la litocapa Los Tambos (target Sonconche).

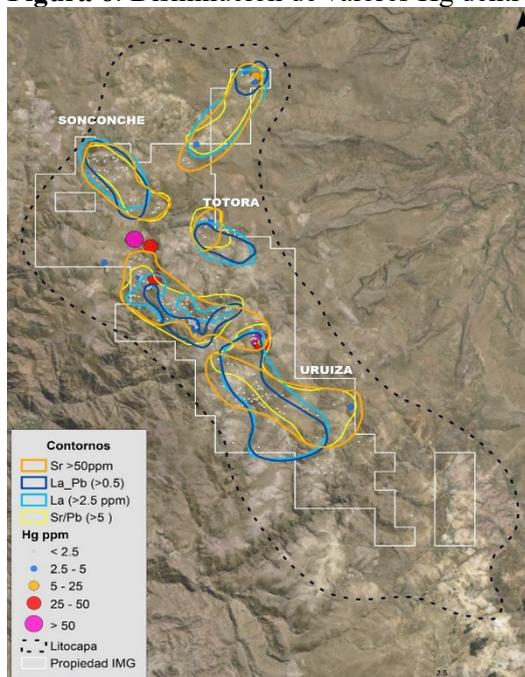
**Figura 5:** Afloramiento de textura “Patchy” en target Sonconche



**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:** Disminución de valores 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 alunita (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 alunita, 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 aun 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 alunita 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 alunitas, 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. John<sup>1</sup>, 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