



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## ORO Y MATERIAL ORGANICO EN EL DEPOSITO DE SHAHUINDO (CAJAMARCA, PERU)

Jean Vallance<sup>(1)</sup>, Macneill Balboa<sup>(1)</sup>, Brigitte Berna<sup>(1)</sup>, Omar Cabrera<sup>(2)</sup>, Camille Baya<sup>(3)</sup>, Patrice Baby<sup>(3)</sup>,  
Gleb S. Pokrovski<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Ingeniería de Minas e Ingeniería Geológica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima, Perú. email: [jvallance@pucp.pe](mailto:jvallance@pucp.pe)

<sup>(2)</sup> Tahoe Resources Peru S.A.C., Cal. Esquilache Nro. 371 Int. 1401 (Oficina 1401-B), San Isidro, Lima, Perú

<sup>(3)</sup> Géosciences Environnement Toulouse, Université de Toulouse, CNRS-IRD-OMP, 14 Av. E. Belin, F-31400 Toulouse, Francia

### RESUMEN

La mineralización aurífera del yacimiento de oro de Shahuindo en el Departamento de Cajamarca (Perú) se encuentra esencialmente hospedada por areniscas y limolitas de las Formaciones Santa, Caruaz y Farrat, del Grupo Goyllarisquiza pero también localmente por intrusivos andesíticos a dacíticos de edad Oligoceno a Mioceno. La mineralización presenta un fuerte control estructural y litológico con las zonas de altas leyes espacialmente asociadas a zonas con contenido de material orgánico. La secuencia paragenética incluyendo un estadio temprano de intermedia-alta sulfuración seguido de un estadio más tardío de baja sulfuración sugiere una reducción de los fluidos hidrotermales oxidantes por el material orgánico conduciendo a la deposición del oro

**Palabras clave:** oro, sulfuración intermedia, material orgánico, carbón, arenisca, Goyllarisquiza

### ABSTRACT

The Shahuindo gold deposit located in Cajamarca Region (Northern Peru) is hosted by sandstone and siltstone Formations of the Lower Cretaceous Goyllarisquiza Group. Locally, the mineralization is hosted by andesitic to dacitic intrusions of Oligocene to Miocene age which cut the folded

and thrust sedimentary sequence. The orebodies show a strong structural and lithological control and the highest gold grades are spatially associated with organic matter occurrences in sandstones, veins or breccias bodies. The paragenetic sequence indicates a first stage of intermediate to high-sulfidation character, followed by a later stage of low sulfidation. It is inferred that this redox state change is due to interaction between fluids and organic matter-bearing rock, leading to gold deposition.

**Keywords:** gold, intermediate sulfidation, organic matter, coal, sandstone, Goyllarisquiza

### INTRODUCCIÓN

Varios yacimientos de oro en el mundo están asociados, en el espacio y en el tiempo, con ocurrencias de material orgánico o carbón, como por ejemplo los yacimientos de tipo Carlin (Cline et al., 2005), ciertos yacimientos de oro orogénico (Goldfarb et al., 2005 ; Large et al., 2011) e hasta el famoso Witwatersrand (Fuchs et al., 2016). Tal asociación ha sido poco reconocida en yacimientos de oro epitermal, en parte porque la roca hospedante es en general ígnea (volcánico y/o plutónica) como es el caso de los yacimientos de Yanacocha y Pierina en el Norte de Perú. Entre estos dos últimos yacimientos, existen una serie de yaci-

mientos auríferos hospedados en areniscas, limolitas y lutitas localmente ricas en material orgánico y carbón, perteneciendo a la Formación Chimú del Grupo Goyllarisquiza del Cretácico Inferior que sobreyace los sedimentos ricos en material orgánico y pirita singenética de la Formación Chicama (Jurásico Superior). Entre esos depósitos figuran Lagunas Norte, La Arena, La Virgen, Santa Rosa, El Toro y el proyecto Igor-Callanquitas (Tumialán, 2003; Chirif y Sang Mo, 2007; Davis y Sim, 2012) perteneciendo en su mayoría al tipo “high-sulfidation” con eventual asociación con un pórfido. El yacimiento de Shahuindo al contrario presenta las características de un yacimiento “intermediate sulfidation” y hasta ahora no se ha encontrado rasgos de un sistema pórfido (Defilippi et al., 2016). Este yacimiento, contiguo al yacimiento de Algamarca, hospedado por las areniscas de la Formación Chimu en el anticlinal de Algamarca, esta hospedado por las Formaciones más jóvenes Santa, Caruaz y Farrat, también parte del Grupo Goyllarisquiza. Los sondajes los más profundos no alcanzaron el piso de la mineralización y es posible que el yacimiento se extienda hasta la Formación Chimu en profundidad. El presente estudio se focaliza en la descripción de la mineralización aurífera primaria y sus relaciones con el material orgánico. Los resultados indican que las mejores leyes de oro están sistemáticamente asociadas a zonas ubicadas en rocas sedimentarias y presentando a la vez buena permeabilidad y presencia de material orgánico.

## CONTEXTO GEOLOGICO

La mina Shahuindo está ubicada al sur del Departamento de Cajamarca, en la Provincia de Cajabamba y es parte de la faja plegada y corrida del Marañon caracterizada por una tectónica de piel delgada afectando a secuencias sedimentarias de edad triásico a cretácico inferior, entre el Cretácico superior y el Eoceno (Mégard, 1984; Benavides-Caceres, 1999; Eudes et al., 2014; Scherrenberg et al., 2016) y posteriormente atravesados por una serie de intrusiones magmáticas relacionadas al Grupo Calipuy (Mégard, 1984; Benavides Cáceres, 1999; Eudes et al., 2014; Scherrenberg et al., 2016), entre el Oligoceno y el Mioceno. En el área de la Mina Shahuindo, las secuencias sedimentarias han sido afectadas por un sistema de corrimientos con niveles de despegue ubicados en las lutitas de las Formaciones Chicama y Santa ricas en material orgánico y pirita singenética, con formación de pliegues por propagación de falla

“andinos” NW-SE, afectados posteriormente por fallas de desgarre de rumbo NE-SW. Varios cuerpos andesíticos a dacíticos intruyeron las secuencias sedimentarias durante el Oligo-Mioceno (26 a 16 Ma, dataciones U-Pb sobre circones, Bussey y Nelson, 2011) con fuerte control estructural de los corrimientos y planos axiales de anticlinales “andinos” y fallas de desgarre NE-SW. Ciertas fallas de desgarre NE-SW presentan también un juego normal con hundimiento hacia el SE dejando así aflorar las partes más profundas del sistema hacia el NW.

## DESCRIPCIÓN DE LA MINERALIZACION

En la mina Shahuindo se explota oro en una zona de óxidos, ubicados principalmente en una charnela anticlinal afectando a las areniscas de la Formación Farrat, que puede alcanzar 150 m de potencia. En profundidad se ha reconocido la mineralización primaria en sulfuros dentro de vetas y de cuerpos de brechas. El yacimiento ha sido interpretado como epitermal de intermedia sulfuración en base al ensamble mineralógico de abundante pirita, cobres grises, galena, esfalerita, estibina, micas blanco, pirofilita, caolinita, alunita y posiblemente “vuggy silica” y oro detectado en “assays” pero no observado directamente (Hodder, 2010, Defilippi et al., 2016).

La revisión de los registros de perforación diamantina así que la observación directa y el muestreo de una selección de sondajes claves pusieron en evidencia un fuerte control estructural y litológico de la mineralización. Los cuerpos mineralizados se encuentran ubicados: (1) en cemento de brechas, con clastos de rocas sedimentarias “blanqueados”, ubicadas al techo y al piso de cuerpos ígneos cuyo emplazamiento ha sido controlado por los corrimientos andinos, planos axiales de anticlinales y fallas de desgarre; (2) en relleno de estructuras NW-SE (“andinas”) de extensión en las charnelas anticlinales afectando las areniscas competentes de la Formación Farrat; (3) en cemento de las zonas de brechas de las fallas de desgarre NE-SW; (4) en diseminaciones y relleno de vetillas dentro de estratos de arenisca de grano medio con contenido de laminaciones de lutitas negras carbonosas piritosa (Fig. 1A), preferencialmente en base de secuencia donde estratos de areniscas permeables suprayacen estratos de lutitas carbonosas piritosas impermeables. Todas esas zonas mineralizadas corresponden a zonas con permeabilidad primaria

o secundaria y con presencia de material orgánico. Los estratos los más finos de lutita y limolita carbonosas y piritosas no presentan leyes de oro por su impermeabilidad. Los contactos de los cuerpos intrusivos con los sedimentos ricos en material orgánicos actuaron como drenaje y trampa para los fluidos mineralizantes y es notoria la rareza de mineralización hospedada dentro de dichos cuerpos intrusivos.

El estudio en microscopía óptica, electrónica de barrido y Qemscan® indica la presencia de abundante pirita temprana (Fig. 1B) conteniendo poca abundante calcopirita bajo forma de inclusiones. La telurobismutita ocurre también bajo forma de

inclusiones dentro de la pirita. Los espacios entre los granos de pirita presentan un relleno de tenantita, trazas de kobelita, crandalita-florencita, cuarzo, caolinita seguidos de arsenopirita, esfalerita, galena y localmente carbonatos como relleno tardío (Fig. 1B y 1C). No se observó enargita. Un solo grano de oro libre ha sido observado mediante microscopía electrónica. Análisis preliminares de pirita mediante ablación laser ICP-MS indicaron contenidos promedio de 1 a 8 ppm según las muestras analizadas, con picos de hasta 50 ppm y correlación positiva con el contenido de arsénico, sugiriendo así que parte del oro podría ser refractario en Shahuindo.

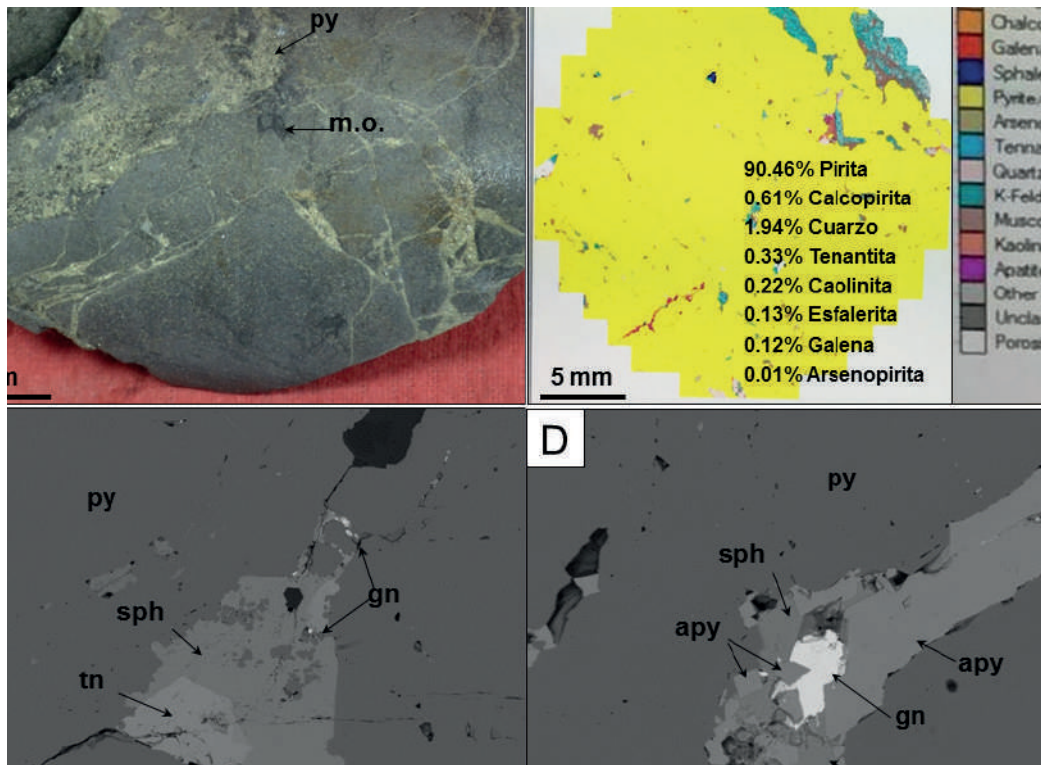


Fig. 1. A: Muestra de arenisca media con presencia de material orgánico (m.o.). La pirita (py) y otros sulfuros precipitan al contacto con el material orgánico, en parte remplazándolo; B: mapeo mediante Qemscan® de una sección pulida. La abundancia de minerales es expresada en porcentaje en masa; C: Vista al microscopio electrónico de barrido en modo electrones retrodispersados de un detalle de la muestra presentada en B. Los espacios entre los granos de pirita están rellenos por tenantita subhedral (tn) y posterior esfalerita (sph), en parte en remplazo de pirita; D: Vista al microscopio electrónico de barrido en modo electrones retrodispersados de un detalle de la muestra presentada en B. Los espacios entre los granos de pirita están rellenos por arsenopirita (apy) subhedral a euhedral, seguida de esfalerita (sph) y galena (gn).

## CONCLUSIONES

Se propone que fluidos hidrotermales procediendo de un centro magmático profundo serían responsables de la formación de la mineralización aurífera. Los cuerpos mineralizados están hospedados en zonas permeables primarias (areniscas media

a gruesa) o secundarias (brecha, fracturas, fallas). El blanqueamiento de clastos debido a la destrucción del material orgánico en las brechas las más ricas en pirita y la asociación espacial sistemática de material orgánico en las zonas de más alta ley indican un papel clave de la reducción de un fluido hidrotermal oxidante (e.g., Kouzmanov et

Pokrovski, 2012) para la deposición del oro. La secuencia paragenética con ensamble precoces de intermedia-alta sulfuración (tennantita, alunita, crandallita-florencita, pirofilita, caolinita) seguida de un ensamble más tardío de más baja sulfuración (arsenopirita, carbonatos) respalda esta hipótesis. Se requiere más estudios para definir el papel de las Formaciones infrayacentes ricas en pirita y material orgánico, como las Formaciones Chicama y Santa, como fuente potencial de una parte del oro encontrado en el yacimiento de Shahuindo.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha contado con el apoyo del Institut Carnot ISIFoR (proyecto ORPET: Systèmes pétroliers aurifères : origine et fonctionnement) y de Tahoe Resources. Se agradece en particular a Wilder Garcia, Ricardo Gordillo, Roly Alva y Rene Vilchez su constante apoyo.

## BIBLIOGRAFIA

- Benavides-Cáceres, V. (1999). Orogenic evolution of the Peruvian Andes: the Andean Cycle. In: Skinner, B.J. (Ed.), *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Soc. Econ. Geol. Special Publication 7, pp. 61–107.
- Bussey, S., Nelson, E. (2011). Geological analysis of the Shahuindo district, Cajabamba Province, Peru. Prepared by Western Mining Services LLC for Sulliden Gold Corporation.
- Chirif, H., Sang Mo, K. (2007). Potential Evaluation of the Mineral Deposits in the La Libertad and Ancash Regions, North Peru. Informe Técnico INGEMMET, 29 p.
- Cline, J.S., Hofstra, A.H., Muntean, J.L., Tosdal, R.M., Hickey, K.A. (2005). Carlin-type gold deposits in Nevada—Critical geologic characteristics and viable models, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.H.F., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume: Society of Economic Geologists*, Littleton, Colorado, p. 451–484.
- Davis, B., Sim, R. (2012). Technical report on the calanquitas structure Igor Mine Project, Northern Peru, South America. NI 43-101 Technical Report para Sienna Gold Inc., 124 p.
- Eude, A., M. Roddaz, S. Bricchau, S. Brusset, P. Baby, Y. Calderon, J.C. Soula (2015) Timing of exhumation and deformation in the Northern Peruvian Eastern Andean Wedge (5 - 8 S) as inferred from Low Temperature Thermochronology and Balanced Cross Section: Tectonics, doi: 10.1002/2014TC003641.
- Defilippi, C.E., Muerhoff, C.V., Williams, T. (2016). Technical Report on the Shahuindo Mine, Cajabamba, Peru. NI 43-101 Technical Report para Tahoe Resources, 307 p.
- Fuchs, S. (2016). Metal distribution in pyrobitumen of the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa; evidence for liquid hydrocarbon ore fluids. *Chemical Geology* 426, 45-59.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Robert, F., Gosselin, P. (2005). Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 407–450.
- Hodder, R. (2010). The Shahuindo Epithermal Gold Occurrence: Petrographic Reconnaissance & Interpretation of Shape and Size. *Cajabamba-Perú*, 120 p.
- Large, R. R., Bull, S. W., and Maslennikov, V. V. (2011). A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits. *Economic Geology*, 106(3), 331-358.
- Mégard, F. (1984). The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Perú: *Journal of the Geological Society of London*, 141, 5, 893-900.
- Kouzmanov K., Pokrovski G.S. (2012) Hydrothermal controls on metal distribution in Cu(-Au-Mo) porphyry systems. Book chapter in: *Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe* (eds. J.W. Hedenquist, M. Harris, and F. Camus). Society of Economic Geologists Special Publication, 16, 573-618.
- Scherrenberg, A.F., Konh, B.P., Holcombe, R.J., Rosenbaum, G. (2016). Thermotectonic history of the Marañón Fold-Thrust Belt, Peru: Insights into mineralisation in an evolving orogen. *Tectonophysics*. 667, 16-36.
- Tumialán, P. H. (2003). Compendio de yacimientos minerales del Perú. *Boletín*, 10. Serie B: Geología Económica. INGEMMET. 637 p.