

# CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA DEL YACIMIENTO OROGENICO OLLACHEA CORDILLERA ORIENTAL-SURESTE DEL PERÚ

Donald McIver, Yury Valdivieso & Juan Diego Rojas

MINERA IRL, Av. Santa Cruz 830, Miraflores, Lima, Perú.

## INTRODUCCION

El depósito Ollachea está ubicado en la Cordillera Oriental del sureste del Perú; políticamente se encuentra en la Región Puno, provincia de Carabaya y distrito de Ollachea.

El yacimiento considerado de tipo "Oro Orogénico en Shear Zone", está hospedado en la franja paleozoica de rocas sedimentarias metamorfizadas; las rocas huésped de la secuencia mineralizada está constituida principalmente por pizarras y pizarras con intercalación de limolita metamorfizada de la Formación Ananea media e inferior, respectivamente.

Estructuralmente, se encuentra dentro de una importante zona de cizalla (shear zone) formada entre las fallas de cizalla inversas de magnitud regional, denominadas Ollachea y Paquillusi, las cuales presentan orientación de tendencia Este-oeste, sub paralela a las capas y a la foliación. Las inflexiones y/o cambios de rumbo estructural corresponden a zonas de mayor dilatación que generan mayor permeabilidad de la roca, muy favorables para el emplazamiento y deposición de la mineralización aurífera.

La mineralización aurífera se presenta libre, disseminada y en micro venillas, asociado a las venillas de cuarzo gris y blanquecino deformadas, con disseminación de sulfuros (aproximadamente 3%) y geometría tipo manto irregular con tramos de mineralización aurífera entre 1 y 40 m. de potencia, sub paralelos a la foliación y a las fallas de cizalla principales. Los diferentes eventos de removilización del oro y sulfuros producto del metamorfismo y tectonismo, habrían enriquecieron las zonas centrales del yacimiento.

Los tipos de análisis de muestras utilizados para el estudio geoquímico corresponden al ICP de 36 elementos cuya principal característica es que posee límites de detección para la mayoría de los elementos en ppm y algunos en ppb, método ideal para el análisis de elementos traza. También se utilizaron muestras con análisis de oro (ensayo al fuego), que usa una cantidad de muestra que, a nivel de trazas, hace representativo y cuantitativo el resultado de los elementos de interés; muestras 50 gramos, con límites de detección 0.01 g/t, 10 ppb y 5 ppb; así mismo se consideraron datos de muestras reanalizadas y análisis selectivo de oro por retallas.

El **estudio geoquímico** del yacimiento Ollachea, indica para la Formación Ananea valores de *background* distrital (extensión sureste de la franja de pizarras de la Formación Ananea) entre 0.005 a 0.02 ppm Au y 50 a 100 ppm As; los valores del *background* local fluctúan entre 0.02 a 0.05 ppm Au y 150 a 400 ppm As.

El detalle del estudio geoquímico de muestras de rocas superficiales, subterráneas y testigos de perforación han sido procesados y disgregados para cada horizonte de la Formación Ananea y de la Formación Sandia; el estudio estadístico fue realizado, utilizando aproximadamente 9,000 muestras.

Se consideran como anomalías a los valores mayores a 0.2 ppm Au y 2,940 ppm As. Los resultados de la Correlación Pearson indican una débil a moderada correlación Au-As (0.30 a 0.61) en la Formación Ananea y una correlación negativa Au-As (-0.13 a -0.08) en la Formación Sandia.

## GEOLOGIA

La secuencia estratigráfica del depósito Ollachea está constituida en la base por areniscas, limolitas metamorfizadas, metarenisca y cuarcitas de la Formación Sandia; sobreyaciendo a la anterior se encuentra la Formación Ananea, localmente diferenciada en tres horizontes y con distribución espacial más restringida.

La Formación Sandia se encuentra cabalgando a la Formación Ananea a lo largo de la traza de la falla de cizalla Ollachea, al norte del área del proyecto; en el sur presenta una disposición estratigráfica normal (figura 1), controlada parcialmente por la falla de cizalla Paquillusi.

Una de las características geoquímicas más resaltantes de las muestras de rocas tomadas en litologías de la Formación Sandia (al techo de la falla de cizalla Ollachea), es que presentan valores anómalos de: Ti y contenido de Calcio hasta de 12%, contenidos bajos de As y esporádicos valores anómalos de Au. En los niveles de cuarcitas al piso de la falla de cizalla Paquillusi, se obtuvo una buena correlación Cu-Pb (0.61), la cual correlaciona con las evidencias de mineralización polimetálica, asociada al stock de la sienita Macusani, identificada al sureste del proyecto Ollachea.

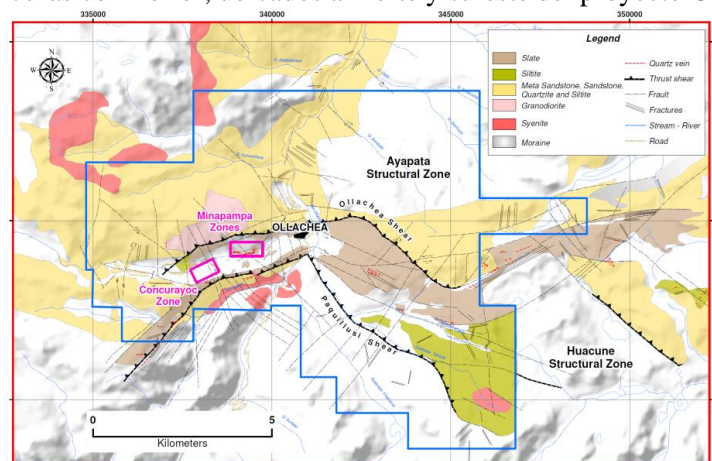
**FORMACIÓN ANANEA**, Constituida por una gruesa secuencia de pizarras y limolita metamorfizada con intercalación de pizarras con espesor reconocido a través de sondajes diamantinos de hasta 550m.; litología distribuida a lo largo del proyecto con orientación E-W e inflexiones suroeste y sureste en sus extensiones; se han diferenciado tres horizontes:

**HORIZONTE INFERIOR**, compuesto por pizarras con intercalaciones de limolita metamorfizada, tienen menor intensidad de foliación y permeabilidad; este tipo de litología hospeda mantos auríferos de menor potencia con contenido ligeramente inferior al del horizonte medio.

**HORIZONTE MEDIO**, compuesto exclusivamente por pizarras deformadas con fuerte foliación; hospeda los principales mantos auríferos con valores económicos y leyes entre 1 a 210 g/t Au; la potencia de los tramos económicos varía entre 1 y 40 metros, en un espesor aproximado de 200m de pizarras. El contenido promedio de sulfuros de hierro es aproximadamente 3% (pirrotita>>pirita>>arsenopirita); y se presentan en forma diseminada y en venillas.

**HORIZONTE SUPERIOR**, está constituido por pizarras con elevado contenido orgánico (pizarras carbonosas); se han reportado contenidos de As-Cu-Pb; también existen anomalías geoquímicas de oro que no llegan a originar mineralizaciones económicas.

Las secuencias sedimentarias están cortadas por intrusivos de probable edad Hercínica del Devónico superior (Stewart et al. 1974), que incluyen esquistos hospedados frecuentemente en la Formación Ananea a manera de sills y diques deformados (plegados y lenticulares); también se conocen intrusiones de edad Pérmica como el stock de San Gabán ubicado al noroeste y las Sienitas Macusani del Triásico superior-Jurásico inferior, ubicados al norte y sureste del proyecto Ollachea.



**Figura 1:** Mapa geológico del proyecto Ollachea (Valdivieso, et al. 2009).

## GEOQUIMICA

Los diferentes tipos de análisis realizados para las muestras del estudio geoquímico son: ICP de 36 elementos que posee límites de detección de los elementos en ppm y algunos en ppb, analiza elementos en el orden de trazas; se utilizaron muestras con análisis de oro (ensayo al fuego), técnica que usa una cantidad de 50 gramos con resultados a nivel de trazas, que, hace representativo y cuantitativo el resultado del oro, con límites de detección 0.01 g/t, 10 ppb y 5 ppb; así mismo se consideraron datos de muestras reanalizadas y análisis selectivo de oro por retallas.

El análisis estadístico de los resultados geoquímicos de las muestras de roca de superficie, subterráneo y testigos de perforación diamantina, han permitido definir en las litologías de la Formación Ananea, valores de fondo geoquímico (*background*) distrital (extensión sureste de la franja de pizarras de la Formación Ananea) para Au en el rango de 0.005 a 0.020 ppm y para el caso del As entre 50 a 100 ppm. Las anomalías o umbral geoquímico (*threshold*) se consideran para valores >0.050 ppm en el caso de Au y >300 ppm para As.

El *background* local para litologías de la Formación Ananea se sitúa en el rango 0.020 a 0.050 ppm Au y 150 a 400 ppm As; los valores de *threshold* se sitúan entre 0.20 a 0.46 ppm Au y 2940 a 3175 ppm As.

HISTOGRAMA DEL ORO, los datos originales convertidos a logaritmos en base 10; el histograma muestra que se trata de una población polimodal (gráfico 1).

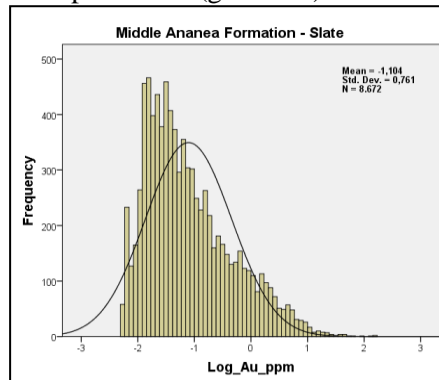


Gráfico 1: Histograma de frecuencias de Au (Log ppm).

HISTOGRAMA DEL ARSÉNICO, los datos originales convertidos a logaritmos en base 10; el histograma muestra que se trata de una población con más de una moda (gráfico 2)

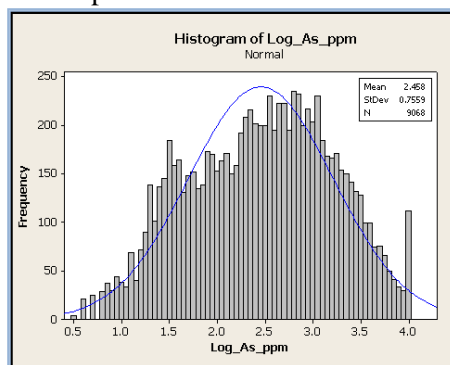


Gráfico 2: Histograma de frecuencias de As (Log ppm).

El **Análisis bivariado** realizado (Correlación de Pearson) muestra un mejor contraste estadístico cuando los datos se plotean en una escala logarítmica natural (tabla 1). En las pizarras carbonosas de la Formación Ananea superior se obtiene una correlación moderada Au-As (0.49), mientras que en los horizontes medio e inferior la correlación es más débil (0.34 y 0.30 respectivamente). En las cuarcitas de la Formación Sandía se observa una correlación moderada Cu-Pb (0.61) y una correlación débil Cu-Zn (0.41). Los esquistos deformados hospedados en la Formación Ananea, tienen una correlación moderada de Cu-Mo (0.54).

Unidad	Litología	CORRELACION DE PEARSON						
		Au-As	Au-Cu	Au-Pb	Au-Zn	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Mo
Fm. Ananea Superior	Pizarra Carbonosa	<b>0.49</b>	0.17	-0.01	0.07	0.07	<b>0.61</b>	-0.04
Fm. Ananea Medio	Pizarra	<b>0.34</b>	0.19	0.03	-0.03	0.02	0.17	0.24
Fm. Ananea Inferior	Pizarra-Siltita	<b>0.30</b>	0.13	0.06	-0.01	0.15	0.10	0.13
Fm. Sandía	Metaarenisca	-0.08	0.27	-0.13	0.02	-0.87	0.01	-0.88
Fm. Sandía	Cuarcita	-0.21	-0.17	-0.06	-0.02	<b>0.61</b>	<b>0.41</b>	0.16
Intrusivo	Esquisto de Origen Igneo	-0.13	-0.03	0.06	-0.18	-0.05	-0.30	<b>0.54</b>

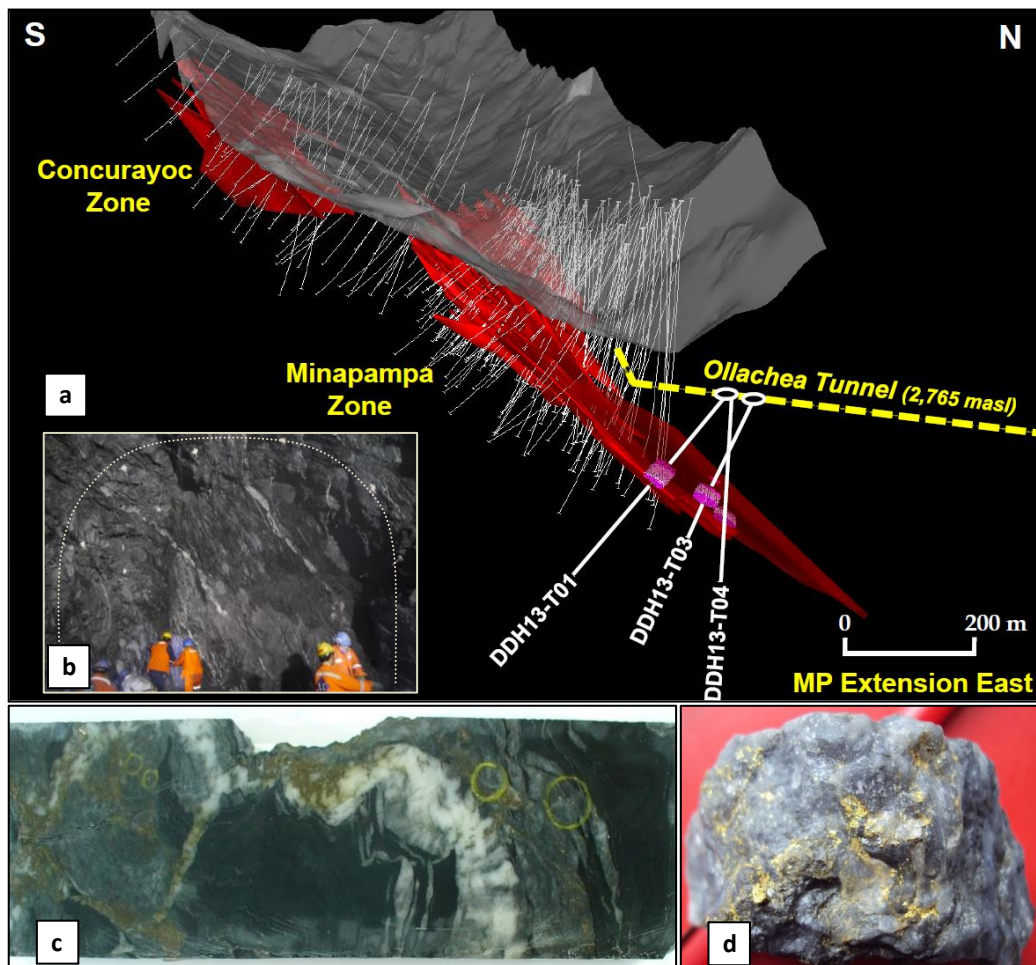
Tabla 1: Resultado de la Correlación Pearson, en muestras clasificadas de acuerdo a su litología.

El arsénico es el principal elemento *pathfinder* para la exploración de oro en el distrito; su asociación con el oro permite identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera dentro de la Formación Ananea; respuesta geoquímica alterada frecuentemente por el proceso de removilización del oro y sulfuros.

Las principales fallas de cizalla post minerales muestran arrastre y disminución del contenido aurífero en la parte central de la estructura, y enriquecimiento del mismo en las cajas techo y piso.

La mineralización tiene ensamble compuesto por venillas de cuarzo gris con diseminación de oro y micro venillas hospedadas en los bordes y cajas entre el cuarzo y las pizarras respectivamente. Existen otros eventos de mineralización sobre impuestos de sulfuros (Po, Py, Apy, Sl, Cpy, Gn.) diseminados y en micro venillas.

Las inflexiones estructurales corresponden a zonas de apertura con mayor dilatación, favorables por su permeabilidad para el desarrollo de clavos mineralizados (oreshoot) de pequeñas dimensiones.



**Figura 2:** a) Vista del modelo 3D de los mantos auríferos, abierto a lo largo del rumbo y buzamiento. b) Frente de túnel Ollachea en progresiva, +1177.30m. c) Testigo de perforación: Pizarra con venilla de cuarzo-sulfuros-oro libre diseminado en los bordes, sondaje DDH08-15: 168.00-170.00m. (11.94 gr/t Au); d) Cuarzo con diseminación de oro libre en ore shoot en la Zona Concurayoc.

Los valores del *background* y *threshold* del oro y arsénico a nivel distrital (extensiones suroeste- sureste de la Formación Ananea) y, los trabajos preliminares de reconocimiento geológico con muestreo geoquímico, indican que existe continuidad de la mineralización aurífera en sus extensiones y a cotas mayores hasta de 2.0 Km. por encima de la cota del yacimiento Ollachea, como se observan en las zonas de Concurayoc suroeste, (1.5 km al suroeste) y Yanaloma (4.5 km al sureste), de la zona central del yacimiento de Ollachea.

## CONCLUSIONES

- El yacimiento Ollachea está considerado de tipo “Oro Orogénico en Shear Zone”, hospedado en la Formación Ananea que contiene tres horizontes; formación flanqueada al norte por la falla de cizalla Ollachea y al sur por Paquillusi.
- La mineralización aurífera se presenta libre, disseminada y en micro venillas, asociado a las venillas de cuarzo gris y blanquecino deformadas, con disseminación de sulfuros (aproximadamente 3%) y geometría tipo manto irregular.
- Los tipos de análisis de muestras utilizados para el estudio geoquímico corresponden al ICP de 36 elementos, análisis de oro (ensayo al fuego) y se consideraron datos de muestras reanalizadas y análisis selectivo de oro por retallas.
- El estudio geoquímico del yacimiento Ollachea, indica para la Formación Ananea valores de *background* distrital entre 0.005 a 0.02 ppm Au y 50 a 100 ppm As; los valores del *background* local fluctúan entre 0.02 a 0.05 ppm Au y 150 a 400 ppm As.
- Se consideran anomalías para los valores mayores a 0.2 ppm Au y 2,940 ppm As; los resultados de la Correlación Pearson indican débil a moderada correlación Au-As (0.30 a 0.61) en la Formación Ananea y correlación negativa Au-As (-0.13 a -0.08) en la Formación Sandia.
- Aun siendo moderado su correlación de Pearson, el arsénico es el principal y único elemento *pathfinder* para la exploración de oro en el distrito; su asociación al oro permite identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera dentro de la Formación Ananea; esta respuesta geoquímica es alterada frecuentemente por el proceso de removilización del oro y los sulfuros.

## REFERENCIAS

1. Arce, O. & Goldfarb, R. (2009). Metallogeny of Bolivia. Society of Economic Geologists.
2. Chávez, V.; Antenor; Salas, A.; Guido; Gutiérrez, S.; Edgar; Cuadros, P. & José (1990). Geología de los Cuadrángulos Corani & Ayapata. INGEMMET, Boletín N° 90. Lima-Perú. 67-117p.
3. Chamberlain, C. & McIver, D. (2011). Ollachea Orogenic gold deposit, Peru: Discovery and advancement. Minera IRL Ltd. Presentado en la Convención Minera PDAC 2010-Toronto, Canadá.
4. Haeblerlin, Y. (2002) Geological and Structural Setting, Age, and Geochemistry of the Orogenic Gold Deposits at the Pataz Province, Eastern Andean Cordillera, Perú. Thesis.
5. Palacios, O.; Sanchez A. & Herrera F. (1995) - Geología del Perú. INGEMMET. Boletín N° 55. Lima-Perú. 38-92p.
6. Reimann, C.; Filzmoser, P. & Garrett, R.G. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. Science of the Total Environment, 346 (1-3): 1-16.
7. Sinclair A.J. (1974). Selection of umbral values in geochemical data using probability graphs. Journal of Geochemical Exploration, 3 (1974) 129-149.
8. Tingley, J. & Bonham, H. (1986). Sediment-hosted Precious-metal Deposits of Northern Nevada. Nevada Bureau of Mines and Geology. Report 40. 71-79p.
9. Starling, T. (2013). Structural Review of the Ollachea District, Puno, Perú. Field Report 2012. Telluris Consulting Company Internal Technical Report.
10. Valdivieso, Y.; Llacza, D.; Vilca, A. & Rojas, J. (2013). Geología del Yacimiento de Oro Orogénico Ollachea. Informe Interno de Compañía Minera Kuri Kullu S.A.