



## Análisis litogeoquímico del proyecto aurífero Ciénaga-Mirador Distrito Minero Hualgayoc - Región Cajamarca

Jesús Frisancho<sup>2</sup>; Juan Calizaya<sup>1</sup>; Rosmery Delgado<sup>2</sup>; Enrique Callo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Jefe de Exploraciones, Cía. Minera Coimolache – Minera Buenaventura SA., Calle. Las Begonias 415 Intr. P-19 (Piso 19) – San Isidro, Lima

<sup>2</sup>Geólogos de Exploración BF, Cía. Minera Coimolache – Minera Buenaventura SA., Calle. Las Begonias 415 Intr. P-19 (Piso 19) – San Isidro, Lima (jesus.frisancho@buenaventura.pe)

### Resumen

El complejo volcánico Ciénaga-Mirador está conformado por flujos de lava, flujos piroclásticos, tobas de composición andesítica, dacítica y riolítica; asociados a pórfidos dacíticos dioríticos y brechas freáticas e hidrotermales con matriz de óxidos. Estos depósitos conforman un borde de caldera y domos a lo largo de fallas EW, la mineralización se presenta en forma de oro libre acompañado con óxidos de hierro, asociados a cuerpos de sílice masiva, “vuggy” y arenosa.

Se realizaron dataciones U-Pb en zircones en la Universidad de Ottawa (Canadá). Las edades de las rocas intrusivas fueron entre  $13.85 \pm 0.16$  Ma y  $14.05 \pm 0.24$  Ma.

Se procesa data de espectrometría de reflectancia (Terraspec) siendo las alteraciones hidrotermales reconocidas como: sílice-alunita-pirofilita, paragonito-muscovita, muscovita-dickita, caolinita-montmorillonita-illite; las cuales definieron un depósito epitermal de alta sulfuración con transición a pórfido. Con la caracterización petroquímica de magmas fértiles a partir de rocas volcánicas e intrusivas y la ocurrencia mineral a escala distrital y regional se define a Ciénaga-Mirador como un depósito epitermal de Au-Ag y pórfido Au con bajo potencial de desarrollo.

**Palabras clave:** clúster análisis, terraspec, firma adakitica, geocronología, dendogramas y litogeoquímica.

### Abstract

The Ciénaga-Mirador volcanic complex is made up of lava fields, pyroclastic levels, tuff of andesitic, dacitic and rhyolite composition; Associated with dioritic porphyries and phreatic and hydrothermal breccias with oxide matrix. These deposits form a boundary of boiler and domes along EW faults, mineralization occurs in the form of free gold accompanied by iron oxides, associated with massive silica bodies, vuggy silica and sandy.

The U-Pb dates were made in zircons at the University of Ottawa (Canada), using the LA-ICPMS. The ages of the intrusive rocks were between  $13.85 \pm 0.16$  Ma and  $14.05 \pm 0.24$  Ma.

Reflectance spectrometry data (Terraspec) is processed, with the hydrothermal alterations recognized as silica-alunite-pyrophyllite, paragonite-muscovite, muscovite-dickite, kaolinite-montmorillonite-illite; the definition of a high sulphidation epithermal deposit with transition to a porphyry.

With the petrochemical characteristic of fertile magmas from volcanic and intrusive rocks and mineral occurrence at regional and local scale, a Ciénaga-Mirador is defined as an Au-Ag epithermal deposit and gold porphyry with low development potential.

**Keyword:** Cluster analysis, terraspec, signature adakitic, geochronology, dendrograms, and litogeochemistry.

## 1. Introducción

Los proyectos Ciénaga-Mirador; clasificados como depósitos de alta sulfuración de Au-Ag, coligados a un pórfido dacítico con Au; definido como un proyecto con baja ley de 0.8 a 0.15 g/t Au, localizado en la provincia de Hualgayoc, a 85 km al NE de la ciudad de Cajamarca a 3,900 msnm (Figura 1).

En los años 1990 Southern Peru, evalúa ambos proyectos, efectuando cartografiado, muestreo de rocas, trincheras y sondajes. El 2001, Buenaventura toma la administración y realiza trabajos de exploración, laboreo subterráneo (túnel Luchita), ubicado al centro de Ciénaga. Posteriormente, durante el 2016 al 2018 se efectuó una campaña de mapeo geológico a escala 1:2,500, relagueos y logueos de 9.5 km, estudios lito geoquímicos de sondajes profundos >400 m, dataciones radiométricas y una campaña de perforación para un modelo geológico conceptual.

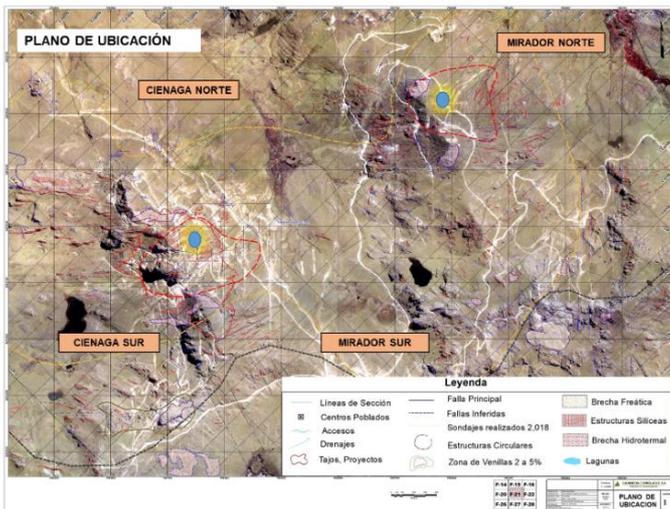


Figura 1. Plano de ubicación proyectos Ciénaga-Mirador.

## 2. Geología

La nueva interpretación de secciones geológicas, nos ha permitido reconocer en superficie y en profundidad dos cuerpos porfíricos tempranos de composición dacítica (PTE); asociados al sistema estructural noreste, los resultados son 2 centros prospectivos.

Primer centro es Ciénaga en un área 500x300x300 m, se hospeda en rocas dacíticas y pórfidos andesíticos con alteración argílica intermedia y potásica con leyes de 0.59 g/t Au en los primeros 200 m, de 200 m a 480 m registra 0.2 g/t Au asociado a mineralización de pirita fina en venillas de sílice gris.

Segundo centro es Mirador, comprende un área de 450x350x300 m, se hospeda en rocas volcánicas, presenta una microdiorita con alteración argílica

intermedia con ensamble flogopita - paragonita - muscovita, alteración potásica con biotita secundaria, feldespatos potásicos, también notamos alteración propilitica con ensamble clorita, epidota y actinolita; el proyecto registra leyes de 0.21 g/t Au, a la cota 3,770 msnm.

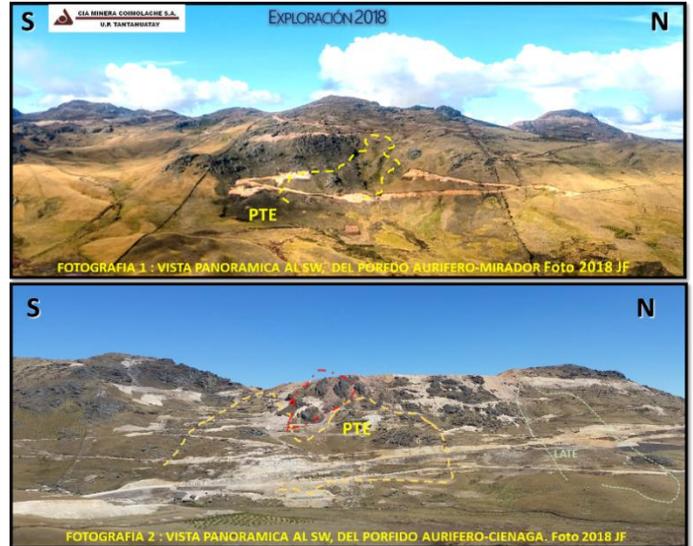


Figura 2. Vista panorámicas de Ciénaga-Mirador 2018.

Dentro del folio Ciénaga-Mirador de 605 Ha, se tienen diferentes unidades litológicas del complejo volcánico Tantauatay (lavas, tufos, domos y brechas) de edad Miocénica, con equivalencia del volcánico Calipuy, que tienen una potencia 500 m aproximadamente.

Volcánicos Coherentes VC, son flujos lávicos de naturaleza Andesita (Lv-and), también llamados toba cristales (T-Xs) de carácter efusivo, se presentan en forma de coladas de lava, emitidos desde la parte superior de Ciénaga, asociados a un borde de caldera, estos flujos se distribuyen sobre la superficie, esta unidad representa el 50% de afloramiento, de colores gris oscuros a negros, textura porfírica grano medio a fino; carácter bimodal, la relación fenocristales & matriz es variable 70/30; presentan un débil desarrollo de textura "patchy" (pirofilita) con potencia de 120 m aproximadamente. También se observaron unidades de volcánico fragmental VF y tobas de cenizas T-Cenz.

Los múltiples episodios intrusivos, diferenciados en Ciénaga-Mirador son de 5 tipos, a partir de sus relaciones de corte y su nivel de emplazamiento siendo: (1) Intrusivo precursor (PRE), (2) Pórfido temprano (PTE), (3) Pórfido intramineral temprano (PITE), (4) Pórfido intramineral tardío (PITA), (5) Intrusivo tardío o late (LATE), asociados a un sistema porfírico.

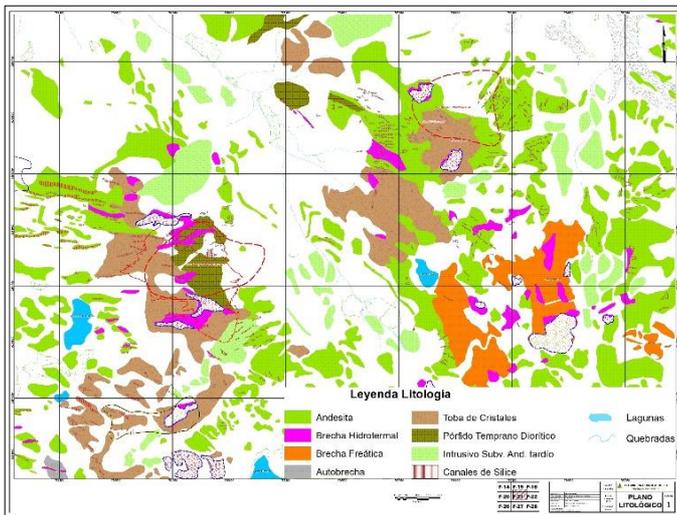


Figura 3. Geología de Ciénaga-Mirador 2.5k.

### 3. Alteraciones

Para el estudio de alteraciones hidrotermales contamos con nuevos ensambles mineralógicos, los cuales caracterizamos con Terraspec; fueron 2,022 muestras, de 9 sondajes perforados el 2018. Al analizar los ensambles notamos una gradación sistemática que inicia con alteración argilica avanzada: sílice, alunita, pirofilita con textura “patchy” incipiente (Noble et al., 2009) y diáspora. Luego se desarrolla una considerable alteración argilica (caolinita-monmorillonita-illita), posteriormente advertimos una alteración filica con ensamble de paragonita, muscovita y finalmente tenemos una alteración potásica.

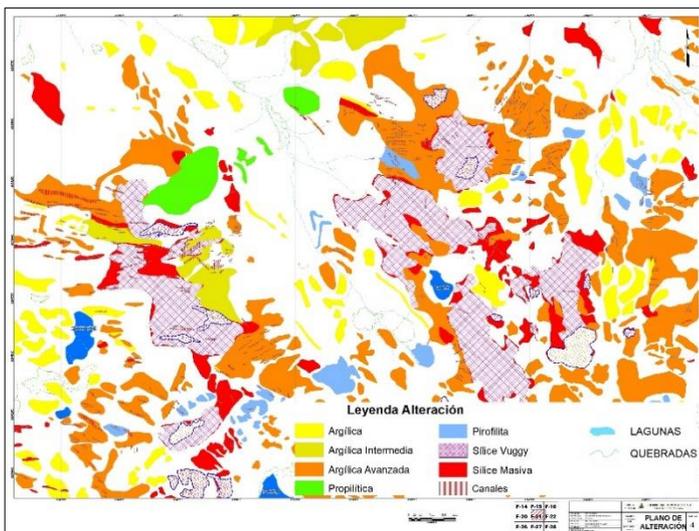


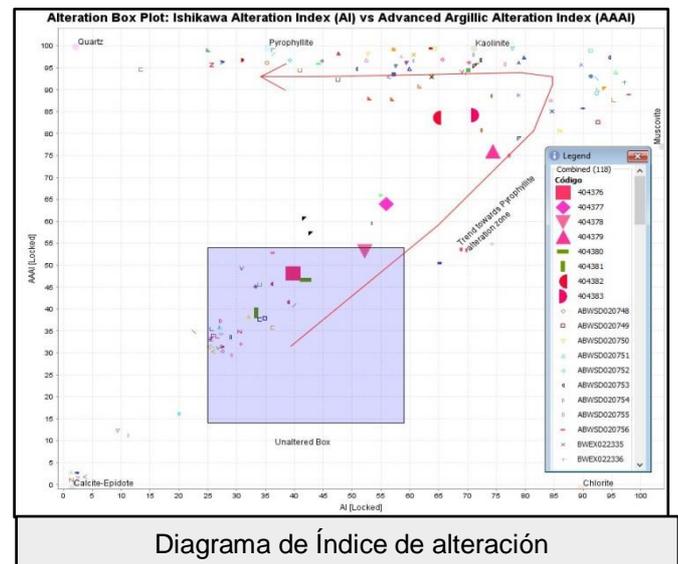
Figura 4. Plano de alteración Ciénaga-Mirador 2.5k.

### 4. Análisis litogeoquímico

Se recolectaron 8 muestras de roca en campo y de sondajes diamantinos cuyos resultados de petroquímica se procesaron y analizaron para

determinar sus firmas litogeoquímicas, en ambos casos las muestras son intrusivos y volcánicos, en Mirador se extrajeron 2 muestras del sondaje MIN 17-102 y en Ciénaga 6 muestras de los sondajes CIN17-124 y CIN17-131 con códigos 404376 al 404380, que fueron analizados en el laboratorio ALS. Se realiza la estadística primaria de elementos mayores y trazas, diagramas de correlación y dendrogramas para asociar elementos afines. Además se generaron 12 diagramas con el software ioGAS™.

El diagrama índice de alteración refleja el grado de intensidad que presentan los minerales al alterarse, al usar los pesos molares de los elementos mayores que se concentran en las plagioclasas y feldespatos potásicos debido a que son más abundantes, el resultado refleja que muchas de las muestras están alteradas, por lo tanto, los diagramas geoquímicos de clasificación de elementos mayores no caracterizan de igual forma que una roca sin alteración.



$$AAI = 100 \times \frac{SiO_2}{SiO_2 + (10 \times MgO) + (10 \times CaO) + (10 \times Na_2O)}$$

Figura 5. Diagrama de Índice de alteración (Williams & Davidson, 2004; Large et al., 2001).

Las rocas estériles del volcánico Ciénaga-Mirador varían entre 10-15 La/Yb, mientras que las rocas asociadas con alteración argilica avanzada-mineralización de Au de Ciénaga-Mirador están entre 25-52 La/Yb. Para identificar rocas con firma de magma fértil asociados a un depósito de alta sulfuración se podría usar el rango de valores de La/Yb entre 25 y 61. Los elementos mayores son normalizados a un 100% con base libre de volátiles, para facilitar la comparación.

Las muestras denotan la evolución en el tiempo de rocas de arco normal andesita, dacita de campo calcoalcalinas a campo adakítico con valores de La/Yb entre 17-27 y de Yb entre 0.75-1 ppm. Para

depósitos porfíricos, se usan los rangos entre 30 y 42 para el cociente La/Yb. Las muestras quedan en el campo Calcoalcalino.

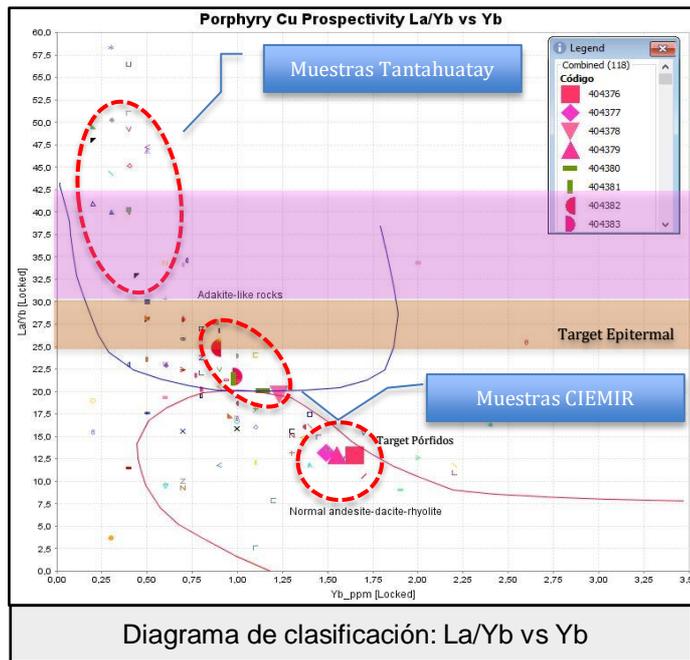


Figura 6. Ratios La/Yb vs Yb. Composición típica de rocas similares adakita límite base para andesita-dacita-riolita normal (Richards et al., 2012).

De acuerdo al diagrama TAS se observa que la mayoría de rocas muestran un magmatismo del tipo sub alcalino, de composición intermedia a ácida y aumentan en sílice conforme aumenta los álcalis totales.

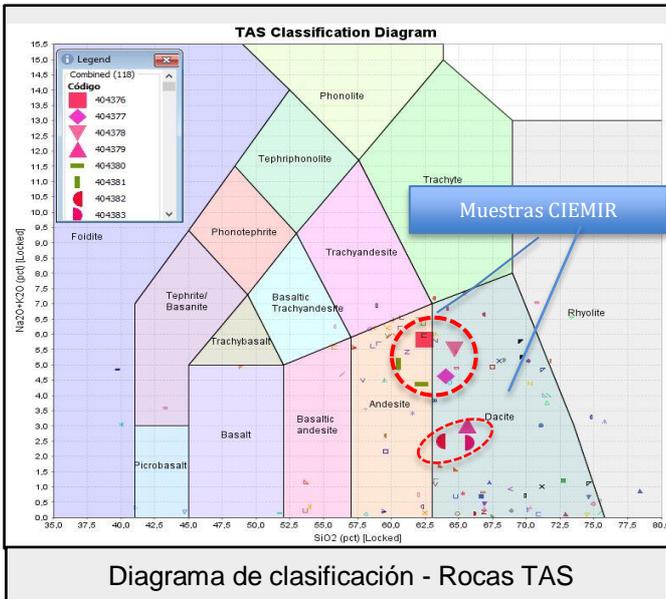


Figura 7. Rocas volcánicas; clasificación TAS de rocas ígneas con álcalis total versus sílice (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub>) según Le Maitre (1989) y Le Bas et al. (1986). También las muestras recaen en el rango de dacitas y andesitas.

En el diagrama de multielementos fue necesario hacer una normalización de los datos obtenidos en

cada muestra, lo cual demuestra que en Ciénaga-Mirador existe un enriquecimiento en tierras raras livianas (La-Pr) y empobrecimiento en tierras raras pesadas (Er-Lu). Las anomalías negativas en Europio (Eu<sup>+2</sup>) corresponden a intrusivos félsicos: pórfidos dacíticos. Haciendo una comparación con Tantahuatay se tienen las mismas firmas que el pórfido intramineral tardío (PITA).



Figura 8. Diagrama de multielementos de tierras raras normalizadas al condrito (McDonough y Sun, 1995).

### 5. Geocronología

Se tiene 7 muestras para el folio Ciénaga-Mirador del año 2017, realizadas en la Universidad Ottawa, (Viala & Hattori, 2018) a una de las muestras enviadas para su ensaye, se realizó un análisis modal, se obtuvo circón >0.01 %, el análisis fue U/Pb en circones, utilizando el método LA-ICPMS. Los intrusivos cercanos a Tantahuatay 1-4, tienen una edad de 11.01-12.59 ± 3.4 Ma, mientras que los intrusivos dacíticos de Ciénaga-Mirador, están en un rango de edad de los 13.85 a 14.05 Ma; ambos del Mioceno.

Cuadro 1. Dataciones Radiométricas Mirador Ciénaga

Muestra	Litología	Análisis	Método Datación	Edad
1	Andesita	U/Pb en circones, Rb/Sr	Mirador Norte	41.19±0.75
2	Diorita	U/Pb en circones, Rb/Sr	San Miguel (Sinchao)	14.54±0.18
3	Pórfido diorítico	K/Ar, Ar/Ar en alunita	Tingo (Stock work)	14.45±0.19
4	Andesita	K/Ar, Ar/Ar en alunita	Peña las Aguilas	13.35±0.13
5	Diorita	U/Pb en circones, Rb/Sr	Gaviotas	13.41±0.36
6	Andesita	K/Ar, Ar/Ar en alunita	Mirador Norte	13.85±0.16
7	Pórfido diorítico	U/Pb en circones, Rb/Sr	Ciénaga Norte	14.05±0.24

### 6. Conclusiones

El estudio de caracterización geoquímica constituye una herramienta importante para clasificar unidades geológicas intrusivas, pero es limitado y condicional en rocas alteradas. Los resultados geoquímicos revelan asociaciones mineralógicas a partir de una misma fuente magmática calcoalcalina homogenizada en la corteza inferior, los cuales fueron afectados por las alteraciones hidrotermales tipo ácido sulfato.

Los diagramas de variación de elementos mayores muestran que la mayoría de rocas corresponden a un magmatismo calcoalcalino con valores medios de potasio de composición sub alcalino a ácida (55-68% de SiO<sub>2</sub>).

La asimilación del magma en la corteza inferior fue más somera para las rocas asociadas a los pórfidos de Tantauatay (mayor contenido de anfíbol) que para las rocas asociadas a la unidad Ciénaga-Mirador (menor anfíbol y aumento de granate).

Existe un fuerte fraccionamiento debido al enriquecimiento en tierras raras livianas y empobrecimiento en tierras raras pesadas, característico de magmas que provienen de corteza continental. Ausencia de anomalías negativas de Eu.

El diagrama de cocientes La/Yb versus Yb, indica la evolución en el tiempo de los magmas desde un arco normal a un campo adakítico.

El diagrama de clasificación de ambientes de formación Na+K/Al (Whalen, et al., 1987) indica un ambiente del tipo Arco Volcánico.

Se definieron los ensambles mineralógicos con Terraspec & TSG; los tipos de alteración encontradas son argílica avanzada, argílica Intermedia, potásica y propílica (clorita, epidota, actinolita), estas vectorizan hacia zonas favorables para intrusivos.

El análisis estructural nos determina 4 sistemas principales, NE-SW (Corredor), NW-SE (Azufre-Tacamache, gradas); N-S (Polvorín); E-W (CIÉ-MIR).

La geocronología del distrito está entre 14 a 41.19 Ma, corresponde al Mioceno Medio a Oligoceno; para Ciénaga-Mirador es de 13.85 a 14.05 Ma, y en Tantauatay de 11.01 a 12.59 ± 3.4 Ma.

## Agradecimientos

Al equipo de exploraciones conformado por (BVN) J. Salazar/J. Trujillo; (CMC) W. Pintado/W. Mego/C. Caja/J. Mendoza/ E. Vázquez./ A. Guadalupe por su apoyo en el trabajo y a los colegas J. Mantilla /J. Cueva/ B. Rodríguez/ A. Cerdán /M.Llontop /M. Quiroz/ E. Dueñas/ D. Mendiguri/ W. Mendoza/A. Tapia/R.Landeo/JP.Aceijas/S.Yspilco/F.Hoyos/O.Ramírez/M.Hernández/E. Días/ I.Burga y a los asesores Dra. Mirian Mamani y al Ing. Ángel Paredes.

## Referencias

Cabanis, B., and Lecolle, M., 1989, The La/10-Y/15-Nb/8 diagram. A tool for distinguishing volcanic series and discovering crustal mixing and/or contamination: Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie 2, Sciences de la Terre, p. 309, p. 20.

Cía. Minera Coimolache 2017, Reporte Geofísico de Deep Sounding Estudio de polarización Inducida y magnetometría.

Rollinson, 1993, Using Geochemical Data, p. 75-76.

Jensen 1976, after Rollinson, 1993, Using Geochemical Data, p. 63.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986, A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram: Journal of Petrology, p. 27, p. 745-750.

Le Maitre, R. W., 1989, A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Commission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell.

Viala, M., and Hattori K., 2018, Magma oxidation conditions related to gold and copper mineralization in the Hualgayoc mining district, Peru. Universidad de Ottawa.

Martínez J., 2015, Control estructural distrito minero Tantauatay - Cajamarca, Perú Reporte. v. 15, p. 4-5.

McDonough y Sun, 1995; Rollinson, 1993, Using Geochemical Data, p25-26.

Noble, D.C., Vidal, C.E., Amaya A.,W., Miranda, M. and McCormack, J.K., 2009, Ovoidal (gusano) and mottled (patchy) textured rock and associated silica veinlets and their formation by high-temperature outgassing of subjacent magma: Lancaster, pa, (usa): detach.

Richards, J.P., Spell. T., Rameh, E., Raziq, A., and Fletcher, T., 2012, High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu +/- Mo +/- Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan, Economic Geology, v.107, p. 310, Fig 9d.

Stanley, C.R., 2017, Molar Element Ratio Analysis of Lithochemical Data: A Toolbox for Use in Mineral Exploration and Mining, Exploration 17: Integrating the Geosciences: the Challenge of Discovery. Decennial Mineral Exploration Conference. Toronto, Oct. Paper 33, p. 471-494.

Whalen, J.B., Currie, K.L., and Chappell, B.W., 1987, A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 95, p. 407-419.

Williams, N.C., and Davidson, G.J., 2004, Possible submarine advanced argillic alteration at the Basin Lake prospect, Western Tasmania, Australia: Economic Geology v.99, p. 987-1002.

