

# ESTILOS Y CONTROL DE MINERALIZACIÓN EN EL DISTRITO MINERO DE SELENE, APURÍMAC, PERÚ

Celso Palacios<sup>1</sup>, Andreas Dietrich<sup>2</sup>, Eric Nelson<sup>3</sup> y Paul Layer<sup>4</sup>

<sup>1</sup>.Hochschild Mining PLC Perú, <sup>2</sup>. Consultor independiente, <sup>3</sup>. Colorado School of Mines, <sup>4</sup>. University of Alaska.

El distrito minero de Selene está ubicado sobre el arco magmático Miocénico de los Andes Peruanos del sur que alberga muchos depósitos epitermales de baja a intermedia sulfidación y alta sulfidación. Este arco se desarrolló en un margen activo como respuesta a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo el margen oeste de la placa continental Sudamericana. Selene alberga varios sistemas vetiformes epitermales de plata y oro, alrededor de un lithocap argílico avanzado estéril.

El presente estudio resume los trabajos realizados en término de lito-estratigrafía, estructural, alteración de la roca huésped y paragénesis de la mineralización, mediante cartografiado geológico de detalle a escala 1/10,000 cubriendo 10 km<sup>2</sup>, y cartografiado semi-detallado a la misma escala cubriendo 35 km<sup>2</sup>. Esto fue complementado con cartografiado geológico a escalas 1/5000 y 1/2000 en interior mina, re-logueo de testigos, estudios petromineralógicos y uso de ASD-Terraspec. El trabajo de campo sumó 150 días, los trabajos de gabinete fueron realizados en la universidad Colorado School of Mines, los estudios de ASD en las oficinas de Hochschild Mining PLC y los estudios de dataciones en la Universidad de Alaska.

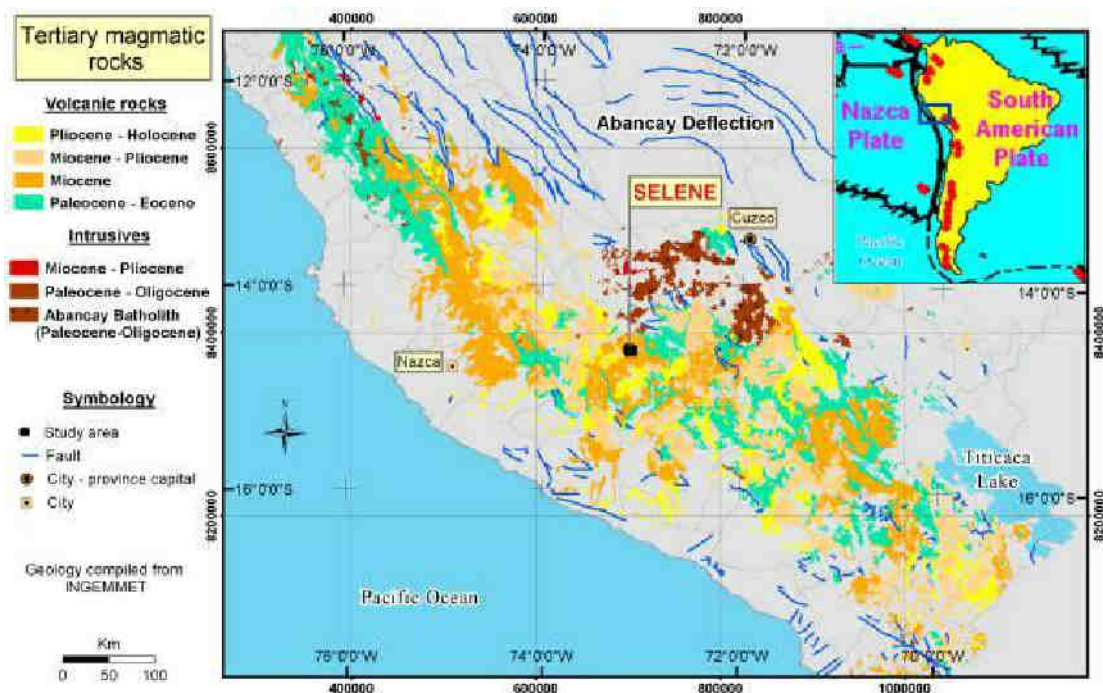


Fig. 1. Arco magmático Terciario del sur del Perú con la ubicación del distrito minero de Selene sobre la franja magmática Miocénica. Mapa índice de Sudamérica muestra volcanismo activo y reciente.

Las vetas preferencialmente son hospedadas por flujos-domos riódacíticos que intruyeron series andesíticas a dacíticas de un estrato-volcán. El edificio volcánico está encerrado por una característica topográfica elíptica de 7 x 4.5 km que sugiere la existencia de un borde de caldera. El sugerido borde de caldera probablemente colapsó después de la erupción de una ignimbrita riódacítica basal de  $16.3 \pm 0.3$  a  $16.2 \pm 0.2$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre biotita) seguido por la construcción de un estrato-volcán de

aproximadamente  $15.15 \pm 0.7$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  roca total). La ignimbrita basal es de dimensiones regionales y está compuesta por flujos de cenizas piroclásticas nada, a parcialmente soldados intercalados con tufos retrabajados, todos de composición dacítica, que es correlacionable a la Fm Alpbamba (Grupo Sillapaca). El estrato-volcán que descansa sobre la ignimbrita basal está conformado por 3 unidades lito-estratigráficas que de más antigua a más joven son: el flujo lávico andesítico inferior, seguido por una serie epiclástica andesítica (lavas, tufos, aglomerados), ambas correlacionables con la Fm Aniso; y finalmente coronando el estrato-volcán de lavas andesíticas porfíricas finas a afaníticas correlacionables a la Fm Saycata.

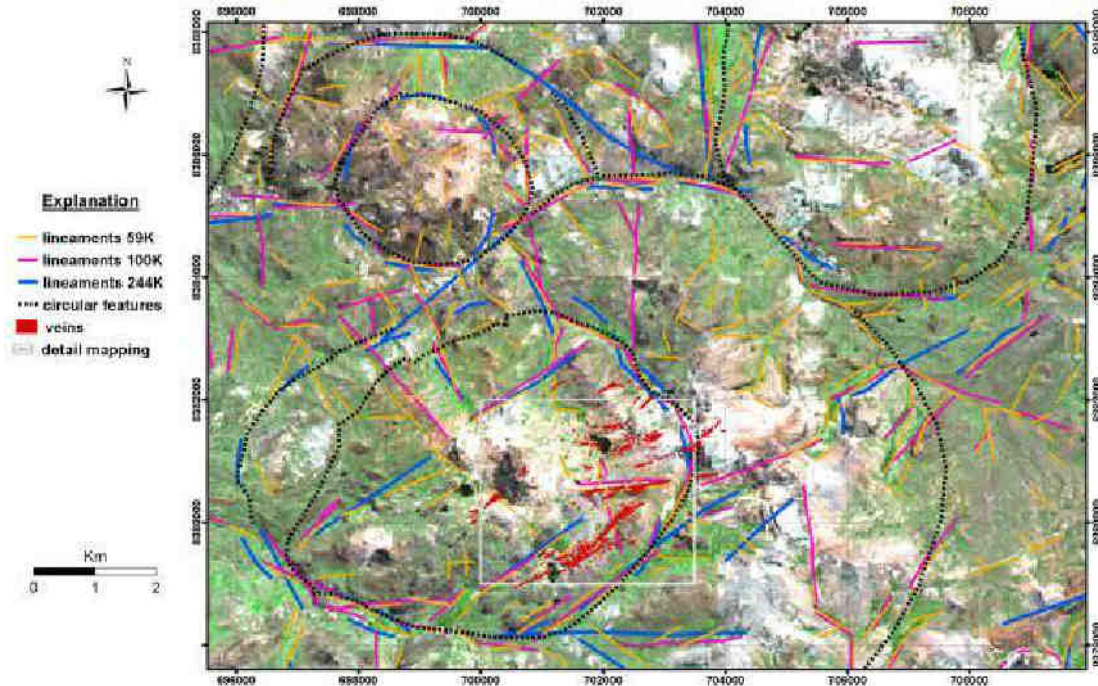


Fig. 2. Imagen satelital Aster con el cartografiado de estructuras regionales a diferente escalas. Observe las características circulares que encierran al distrito minero de Selene.

El flujo domo riódacítico Explorador, está ubicado dentro y paralelo al borde interno SE del sugerido borde de caldera y ha sido datado en  $14.6 \pm 0.1$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre biotita). Este flujo domo presenta notable foliado de flujo con buzamiento desde sub-horizontal a sub-vertical y contiene bloques colgados (roof pendants) de las unidades epiclásticas y lávicas. Este flujo domo está separado por cerca de 1.5 km de distancia desde el sub-circular flujo domo riódacítico Parcachata, datado en  $14.5 \pm 0.1$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre biotita). El flujo domo Parcachata está ubicado en el centro del distrito y de la sugerida caldera. Diques andesíticos, plugs y domos cortan ambos flujos domos. Domos tardíos riolíticos fueron probablemente emplazados ligeramente después de los flujos domos.

Actividad hidrotermal relacionada al lithocap argílico avanzado, con una edad de  $14.62 \pm 0.05$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre alunita), es contemporánea dentro del margen de error de la edad de la biotita de los flujos domos. Fluidos hidrotermales fueron ácidos y oxidados evidenciado por los halos de ensambles con alunita dominante cerca del núcleo del sistema Parcachata que gradaba hacia fuera a través de ensambles con dickita ( $\pm$  pirofilita) (Sillitoe 1995). Los ensambles de alteración sugieren condiciones de neutralización progresivamente hacia fuera del centro magmático-hidrotermal evidenciado por la alteración caolín-esmectita periférica.



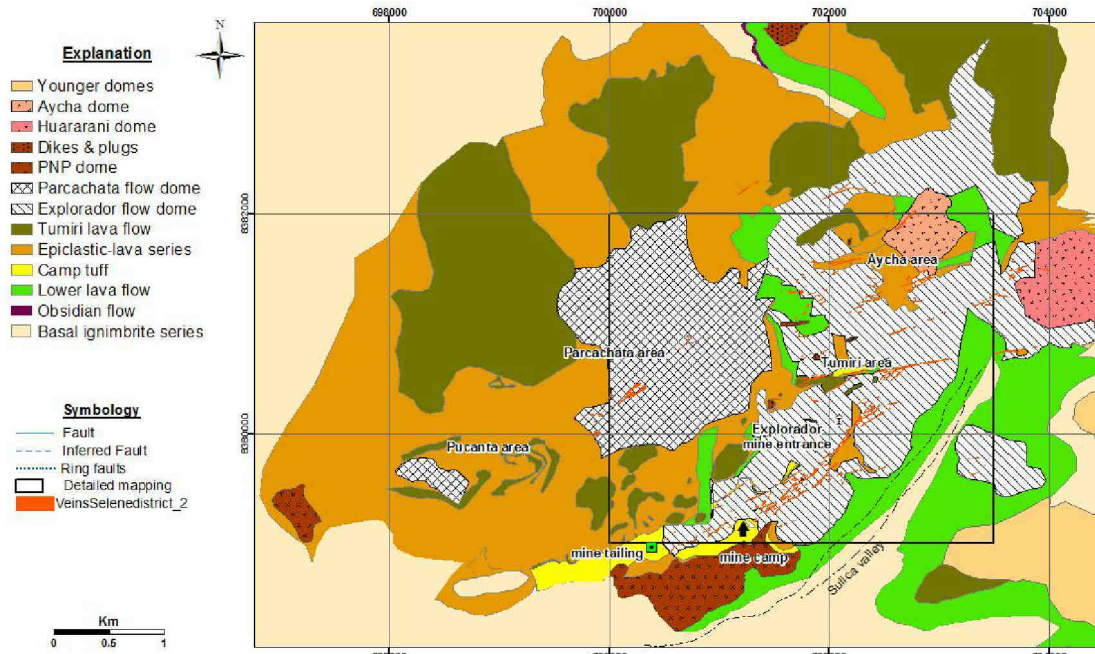


Fig. 3. Mapa geológico del distrito Selene que es caracterizado por un edificio volcánico erosionado parcialmente y por una serie de complejos de domos y lavas domos. El flujo domo Paracachata está en el centro del área y ocupando los terrenos mas elevados.

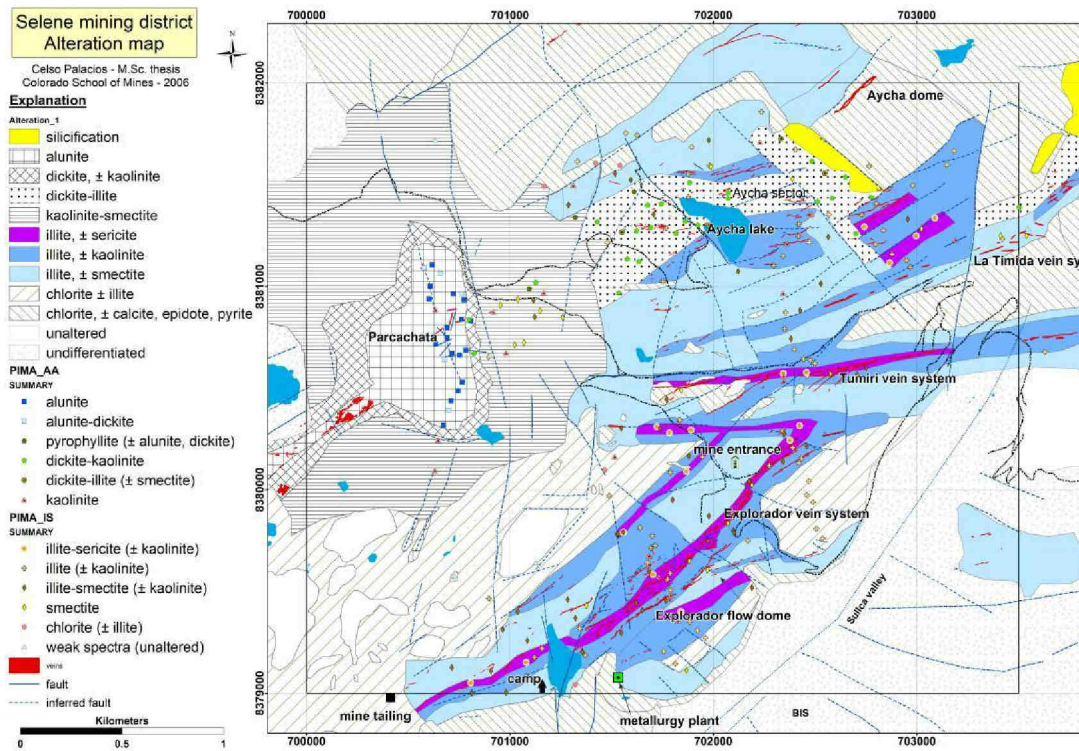


Fig. 4. Mapa simplificado de alteraciones de la zona de detalle. El área de Paracachata al oeste con ensamblajes argílicos avanzados centrados en la lava domo Paracachata con prolongación de vetas de reemplazamiento hacia el SW. Al este y sureste halos argílicos intermedios centrados en vetas de relleno como Explorador, Tumiri, Tímida y vetas en Aycha. Zona norte de Aycha ensamblajes de alteración mixtos con dickita e illita con casquetes silíceos más altos.

Fluidos hidrotermales tardíos probablemente de una fuente diferente ascendieron a lo largo de fallas y fracturas en el flujo domo Explorador alrededor de  $13.7 - 14.2 \pm 0.1$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  roca-alterada total). Estos fluidos estuvieron cerca del pH neutro, como es evidenciado por los halos de alteración argilico intermedio con alteración proximal illita-sericita la cual gradaba hacia fuera a alteración illita ( $\pm$  caolinita), y mas afuera alteración illita-esmectita, indicando temperatura de formación de  $300-100^\circ\text{C}$  (Hedenquist et al., 1996). Estos fluidos son similares en composición, acidez y temperatura a los interpretados en Orcopampa Perú (Braxton y Petersen, 1999), Arcata Perú (Candiotti et al., 1990), Baguio, Filipinas (Reyes 1990) o Fresnillo, Mexico (Simmons et al., 1988). Estos fluidos son interpretados de ser asociados con ebullición de fluidos ricos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  (Hedenquist et al., 1998). Estos fluidos fluyeron a través de fallas de rumbo con sentido opuesto de movimiento (dextral y sinistral) que fueron desarrolladas en sistemas de falla de rumbo en ambiente conjugado frágil, de acuerdo a análisis de elementos cinemáticos de las estrías de falla y la relación angular entre la veta principal y sus vetas tensionales. El carácter de falla de rumbo produjo “jogs” transtensionales y lazos sigmoides que son relacionados al incremento de volumen de las vetas, tal como se aprecia en el campo geotermal de Tongonan en Filipinas, el depósito de Goleen Plateau gold en Australia y el depósito epitermal de Ag-Au-Pb-Zn la Porguera en Papua Nueva Guinea (Corbett and Leach, 1998). Las vetas más prominentes pertenecen al sistema de vetas Explorador. Este sistema presenta rumbos en el rango de  $220$  a  $235^\circ$  y corre a lo largo de  $2$  km paralelos al rumbo NE del eje axial del flujo domo Explorador, siendo la veta Explorador la más importante, con buzamiento promedio de  $83^\circ$ .

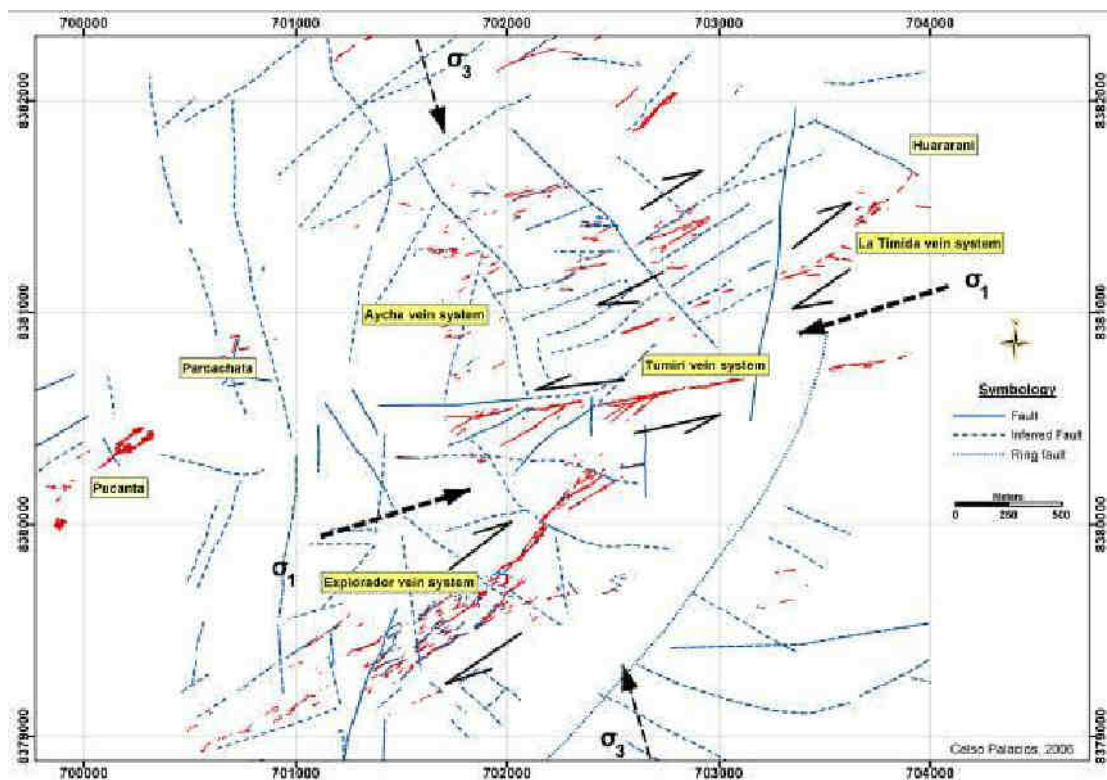


Fig. 5. Cartografiado y modelo estructural a escala distrital de Selene. El sistema de veta Tumiri es propuesto como la falla-veta principal con movimiento de rumbo sinistral que generó fallas-vetas dextral extensionales de movimiento opuesto. El sistema total es interpretado relacionado a esfuerzos compresivos NE-SO.

La mineralización en la Veta Explorador se compone de 3 principales estadios: 1) cuarzo blanco lechoso masivo con menor cuarzo reemplazando pseudomorfos de calcita lamelar. 2) Cuarzo bandedado crustiforme alternando bandas de cuarzo coliforme a subcristalizado con bandas ricas en sulfuros con Au-Ag, adularia e illita. Localmente se observa texturas escarapeladas. 3) Cuarzo

reemplazando pseudomorfos de calcita lamelar, y cuarzo masivo a drúsico. Los minerales de mena conforman de 5 a 20 % volumen de la veta y consiste de proustita y pirargirita con menores cantidades de sulfuros de grano muy fino tales como calcopirita, galena, esfalerita, arsenopirita, electrum, oro nativo, plata nativa, bornita, digenita y covelita, reconocidos al microscopio. Las bandas ricas en sulfuros finos son similares a las bandas llamadas “ginguro”, en la mina japonesa de Hishikari (Izawa et al., 1990). Óxidos incluyen goetita, menor hematita y óxidos de manganeso. Los clavos mineralizados son predominantemente de geometría vertical. El ratio Ag/Au en superficie es en promedio 85, comparable al rango para los depósitos vetiformes epitermales ricos en Ag de Arcata, Perú (Candiotti et al., 1990), Fresnillo y Zacatecas en México (Simmons et al., 1988), y Creede en Colorado (Barton et al., 1977). La mineralogía y textura de la ganga es comparable con la superzona Crustiforme-Coloforme (CC) en el modelo vertical propuesto por Morrison et al. (1990), que coincide con el intervalo de “metales preciosos” en y sobre el nivel de ebullición (Buchanan, 1981).

Fig. 6. Foto arriba-izquierda: cuarzo con textura lamelar reemplazando pseudomorfos de calcita. Foto arriba derecha: cuarzo con textura crustiforme y bandas oscuras ricas en sulfuros finos. Foto abajo izquierda: cuarzo con textura bandeada y escarapelada. Foto abajo derecha: cuarzo con bandeado coloforme y hialino.

El sistema de la veta Explorador con mineralización Ag-Au, ganga con adularia y alteración de roca con sericita, es clasificado como sistema vetiforme epidermal de tipo adularia-sericita ó intermedia-sulfidización (Einaudi et al., 2003, Sillitoe y Hedenquist, 2003), y habría sido emplazado después de la alteración argílica avanzada asociada al lithocap de Parachata, post emplazamiento de los flujos domos riódacíticos (Dietrich et al., 2005). Este distrito tiene gran potencial de exploración, especialmente evidenciado por zonas con alteración argílica intermedia que podría albergar vetas “ciegas”.

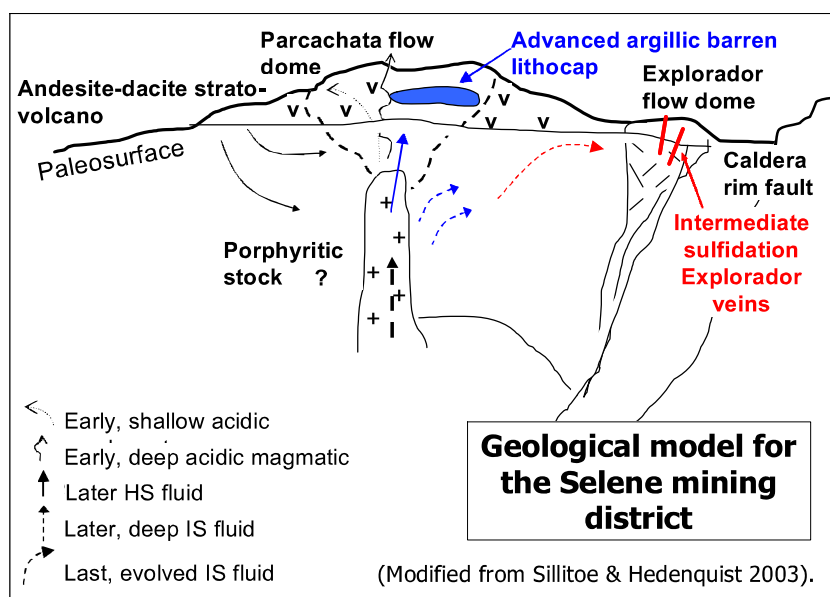


Fig. 7. Modelo propuesto con la ubicación del sistema Explorador y Parcachata en centro volcánico esquematizado (base modificada de Sillitoe y Hedenquist 2003).

## REFERENCIAS

- Barton, P., Bethke, P., and Roedder, E., 1977. Environment of ore deposition in the Creede mining district, San Juan Mountains, Colorado: Part III. Progress toward interpretation of the chemistry of the ore-forming environment: *Economic Geology*, v.72, p.1-24.
- Braxton D., and Petersen, U., 1999. Thermal aureoles of fossil epithermal systems: A case study from the Calera vein, Orcopampa, Peru: *Anniversary Volume 5 "75<sup>th</sup> Anniversary of the Geological Society of Peru"*, p. 81-102.
- Buchanan, L., 1981. Precious-metal deposits associated with volcanic environments in the southwest, *in* Dickinson, W., and Payne, W., eds., *Relation of tectonics to ore deposits in the Southern Cordillera*: Arizona Geological Society Digest, v. 14, p. 237-262.
- Candiotti, H., Noble D., and McKee E., 1990. Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, southern Peru: *Economic Geology*, v. 85, p. 1473-1490.
- Corbett, G., and Leach, T., 1998. Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, v. 6, p. 238.
- Dietrich, A., Nelson, E., Palacios, C., and Layer, P., 2005. Geology of the Explorador Ag-Au vein system and Selene mining district, Apurimac, Perú, *in* Rhoden, H., Steininger, R., and Vikre, P., eds., *Geological Society of Nevada Symposium 2005: Window to the World, Reno, Nevada, May 2005*, p. 741- 756.
- Einaudi, M., Hedenquist, J., and Inan, E., 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments, *in* Simmons, S. and Graham, I., eds., *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the earth.*, Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication, v. 10, p. 285-313.
- Hedenquist, J., Izawa, E., Arribas, A., and White, N., 1996. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration: *Resource Geology Special Publication 1*, p. 70.
- Hedenquist, J., Arribas A., and Reynolds, J., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines: *Economic Geology*, v. 93, p. 373-404.
- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokohama, T., Kawasaki, K., Koga, A., and Tagushi, S., 1990. The Hishikari gold deposit: High-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, p. 1-56.
- Morrison, G., Dong, G., and Jaireth, S., 1990. Textural zoning in epithermal quartz veins: AMIRA project P247, James Cook University of North Queensland, p. 25.
- Reyes, A., 1990. Petrology of Phillipine geothermal systems and the application of alteration mineralogy of their assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 43, p. 279-309.