



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# NUEVOS DATOS GEOCRONOLÓGICOS GRUPO CALIPUY: RELACIÓN ENTRE LAS OCURRENCIAS VOLCÁNICAS Y LA MINERALIZACIÓN AURÍFERA Y CUPRÍFERA EN EL DISTRITO MINERO LA ZANJA

Billy Beas<sup>1,2</sup>, Jocelyn McPhie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Minera La Zanja SRL, Calle Las Begonias 415, San Isidro, Lima, Perú ([Billy.beas@buenaventura.pe](mailto:Billy.beas@buenaventura.pe))

<sup>2</sup> University of Tasmania, CODES, Hobart 7001, Tasmania, Australia ([bjbeas@utas.edu.au](mailto:bjbeas@utas.edu.au))

<sup>2</sup> University of Tasmania, CODES, Hobart 7001, Tasmania, Australia ([J.McPhie@utas.edu.au](mailto:J.McPhie@utas.edu.au); [jocelynmcphe@gmail.com](mailto:jocelynmcphe@gmail.com))

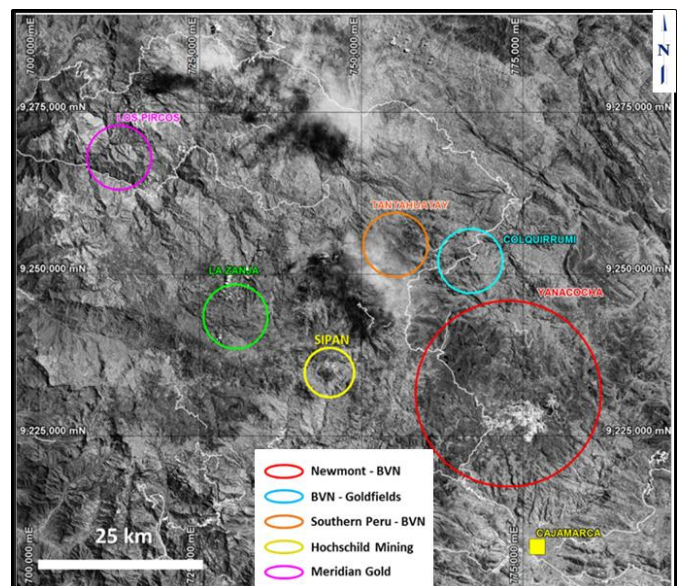
## 1. Introducción

El distrito minero La Zanja se ubica en el sector norte de los andes peruanos (Ver Figura 1). La mina en producción, contiene más de 500,000 onzas de Au en sus dos yacimientos operativos San Pedro Sur (SPS) y Cerro Pampa Verde (CPV) y recursos de cobre en el orden de 50 MT @ 0.31% Cu and 0.12% Mo en Castrejon, adicionalmente posee zonas con potencial reconocido como Cerro La Zanja (CLZ) y Cerro La Zanja Pórfido (CLZP) (Amaya et. al, 2008). El campo volcánico La Zanja, ubicado dentro del distrito La Zanja, cubre un área de 35 km x 25 km, comprendiendo estratigráficamente a los volcánicos Calipuy (Cenozoico)(Teal, L., and Benavides, A., 2010), además de una serie de unidades rocosas de composición félsica a intermedia emplazadas en el cinturón volcánico Cenozoico de los andes en el norte del Perú, aproximadamente 200 km al oeste desde el margen activo de subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana (Palacios, et. al 1995).

## 2. Vulcanismo e Hidrotermalismo en el distrito minero La Zanja

### 2.1 Historia Vulcanológica en la Zanja

Se han realizado trabajos de geocronología en base a zircones primarios, zircones detríticos y rutilos indicando que el Campo Volcánico La Zanja (LZVF) comprende unidades del Paleógeno y Neógeno ( $36.02 \pm 0.78$  Ma to  $10.25 \pm 0.32$  Ma)(Ver Figura 2).



**Figura 1. Ubicación del distrito La Zanja en relación a los principales depósitos en la región.**

Actualmente, quince episodios han construido la estratigrafía del distrito La Zanja. Las unidades más antiguas reconocidas en La Zanja ( $\sim 36.02$  a  $\sim 34.26$  Ma) ocurren en la zona sur del distrito alrededor de las áreas de Huachulla y Pabellón, y están relacionadas a erupciones explosivas eruptivas. Estas unidades se caracterizan por ser ricas en plagioclasas, con presencia de cuarzo y pobres en contenido de líticos. La abundancia de cuarzo se incrementa con la segunda fase de erupciones riolíticas ( $\sim 33.50$  Ma) (Ver Figura 3).

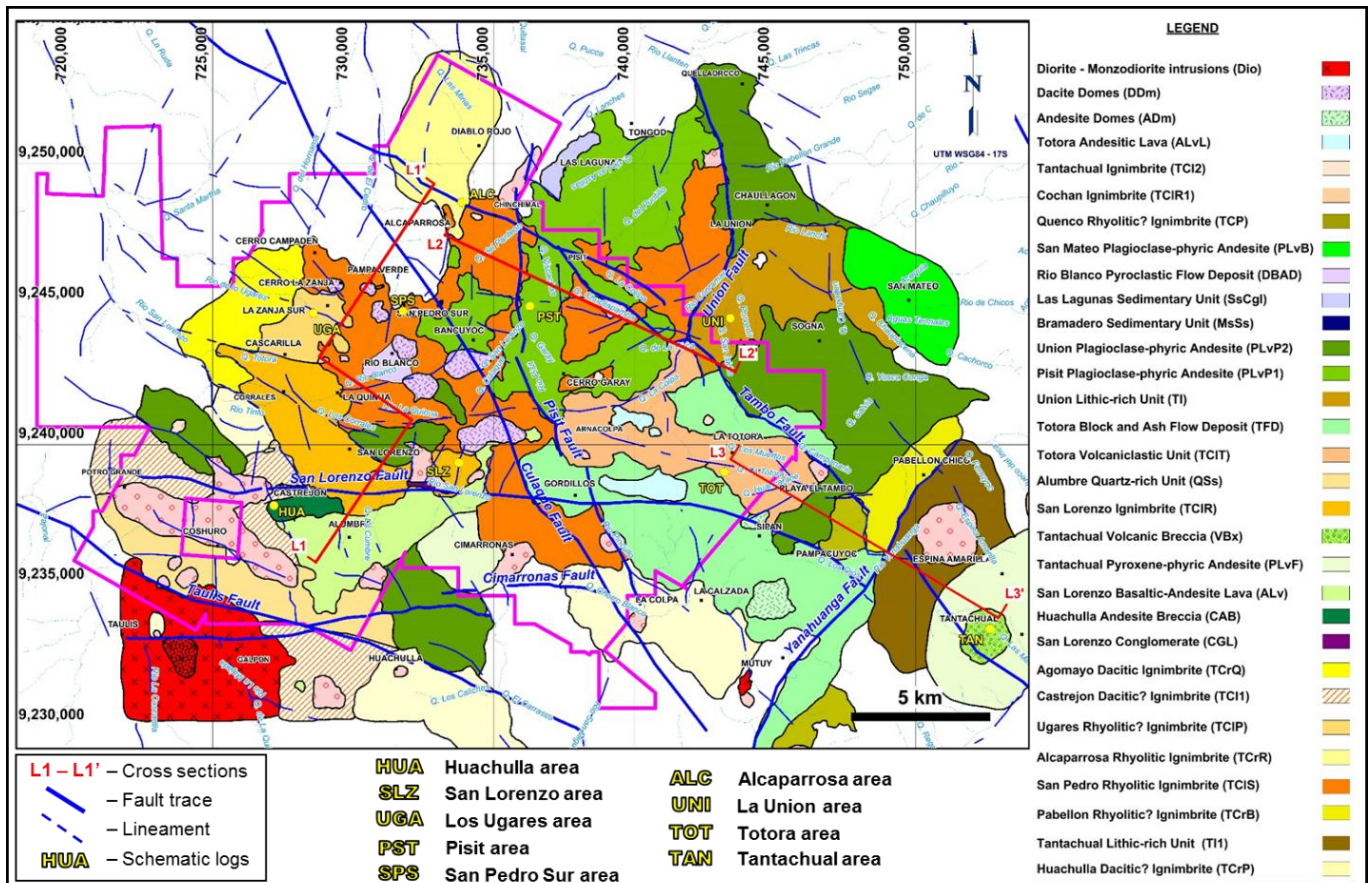


Figura 2. Mapa litológico del distrito minero La Zanja, muestra las unidades reconocidas en campo

La ignimbrita San Pedro (TCIS) y Alcparrosa (TCrR) fueron emplazadas en el Oligoceno temprano y forman el paquete más extenso y de mayor espesor en el distrito, estas ignimbritas alojan los principales depósitos de alta sulfuración de Au y los depósitos de intermedia a baja sulfuración de Au y Ag (Andia, et. al 2014). La principal fuente de estas ignimbritas no ha sido definida aún pero es posible que estén relacionadas a una caldera localizada al norte - noroeste fuera del distrito. Un episodio efusivo andesítico de ~30 Ma produjo una serie de lavas ricas en fenocristales de piroxenos y plagioclasas que cubren a las ignimbritas del Paleógeno. Estas unidades andesíticas están relacionadas con unidades clásticas (conglomerados y brechas volcánicas) observadas en la parte sur del distrito. El magmatismo andesítico fue contemporáneo con la fase tectónica compresional (Fase tectónica Oligocena, Benavides-Cáceres V., 1999), y la ocurrencia de las unidades sedimentarias sugieren una pausa en la actividad volcánica de por lo menos ~3.53 m.y. Un nuevo evento explosivo riolítico de ~26.95 Ma ocurre después de la fase tectónica Oligocena. Los productos de este evento han cubierto un área limitada en la zona oeste del distrito, y son contemporáneos al depósito de pórfido de cobre de Cerro La Zanja de ~25.19 Ma ubicado en el sector sur de la depresión San Pedro.

Algunos cuerpos intrusivos han sido reconocidos mayormente en la zona sur a suroeste del distrito alrededor de las áreas de Taulis, Mutuy y Castrejón. Estas intrusiones dioríticas a monzodioríticas (Andia, et. al 2011) tienen edades que van desde los ~22.47 Ma a ~17.55 Ma y son contemporáneos con la fase tectónica Inca IV de

la orogenia andina (Benavides-Cáceres V., 1999). Estas intrusiones también están relacionadas con los depósitos tipo pórfido en las áreas de Castrejon (~18.50 Ma) y Taulis. Después del episodio de intrusiones de ~22 Ma, un estadio erosional (posiblemente sedimentario) ocurre en la zona sur del distrito sobre estas dioritas - monzodioritas. Además, existen intrusiones de ~18 Ma, hacia la zona este - sureste del distrito donde se desarrolla un episodio epitermal de alta sulfuración en el área de Totorá con ~18.93 Ma e intrusiones dioríticas no aflorantes (Andia, et. al, 2015).

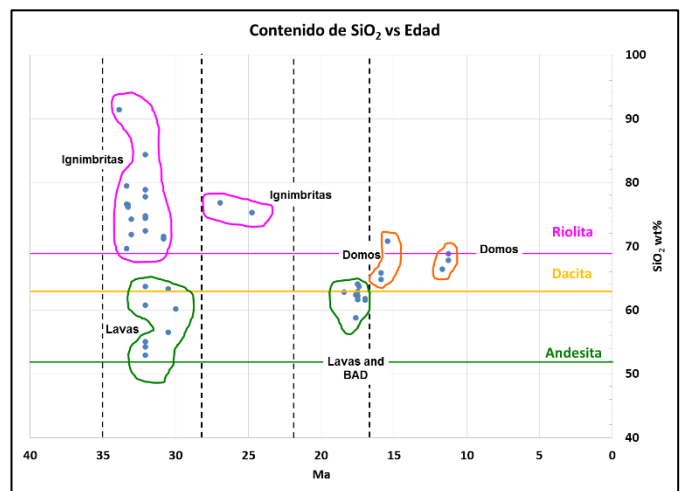
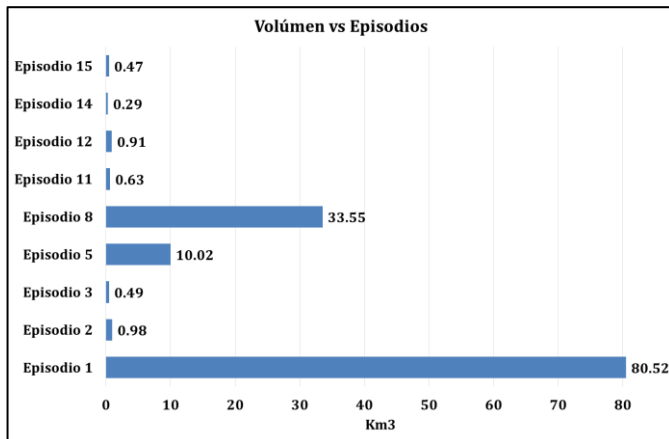


Figura 3. Diagrama resumen del contenido de SiO2 wt.% de las unidades litológicas vs la edad de emplazamiento.

Los magmas andesíticos nuevamente fueron producidos durante el desarrollo de la fase tectónica Quechua I (Benavides-Cáceres V., 1999) desde los ~18.44 Ma a los ~16.97 Ma. Los depósitos de flujo de bloques y cenizas, lavas ricas en fenocristales de plagioclasa, domos andesíticos y unidades sedimentarias volcanogénicas han sido emplazadas mayormente en la mitad este del distrito, cubriendo las unidades del Paleógeno. Este episodio volcánico andesítico está relacionado a centros volcánicos locales y sus depósitos son los segundos más extensos en el distrito (Ver Figura 4); adicionalmente uno de estos centros (Hueco Grande, Turner, S., 1997) hospeda la mineralización de la mina de Au Sipán.



**Figura 4. Diagrama resumen del volumen estimado producido por los episodios volcánicos e hidrotermales.** Episodio 1, erupciones riolíticas; Episodio 2, erupciones andesíticas y sedimentación; Episodio 3, erupciones riolíticas; Episodio 5, intrusiones; Episodio 8, erupciones andesíticas e intrusiones; Episodio 11, erupciones dacíticas y actividad hidrotermal; Episodio 12, erupciones andesíticas; Episodio 14, erupciones dacíticas y Episodio 15, erupciones explosivas)

La mayor concentración de actividad hidrotermal en el distrito ocurre desde los ~16.34 Ma con el principal depósito epitermal de alta sulfuración de Au, San Pedro Sur. Subsecuentemente ocurre un emplazamiento de domos dacíticos a lo largo de la falla Culaque de orientación NO-SE (Figura 2) y cercanos al sector sur de la depresión San Pedro. Este emplazamiento está dividido en dos fases desde los ~15.89 Ma a los ~11.27 Ma durante las cuales ocurren una serie de ocurrencias minerales epitermales en esta zona.

La primera fase de domos dacíticos ocurre conjuntamente con la primera fase de mineralización aurífera de los depósitos epitermales de alta sulfuración del Mioceno Medio (San Pedro Sur, Pampa Verde, Cerro La Zanja), que están alrededor de los ~15 Ma. Una nueva erupción efusiva andesítica ocurre a los ~13.46 Ma conformada por lavas ricas en fenocristales de plagioclasas y anfíboles ubicadas en la zona este del distrito. La segunda fase de domos y actividad hidrotermal de alta sulfuración ocurre entre los ~12.80 Ma a ~11.27 Ma, y está relacionada al cese la fase tectónica Quechua I (Benavides-Cáceres V., 1999), probablemente relacionada a un estadio dilatacional o extensión de la orogenia Andina. Los depósitos volcánicos más jóvenes (~10.25 Ma) corresponden a episodios explosivos félsicos localizados en la zona sur del distrito la Zanja.

## 2.2 Ocurrencias Hidrotermales en La Zanja

La actividad hidrotermal dentro del distrito esta evidenciada desde el Oligoceno ~25.19 Ma (Re/Os) hacia finales del Mioceno Medio ~11.88 Ma (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar) (BVN, reporte anual no publicado, 2012) (Ver Figura 5)

### Oligoceno

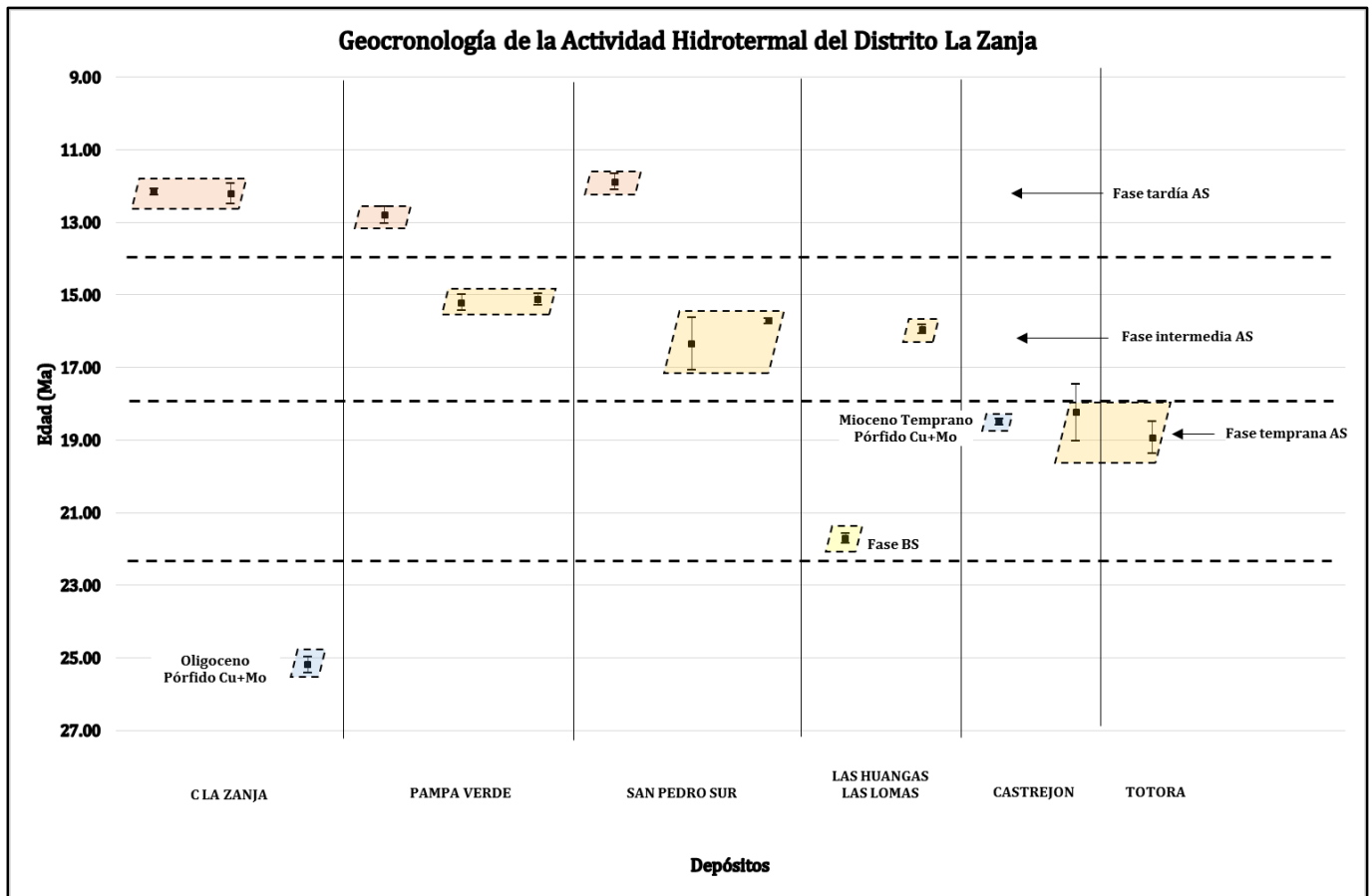
El depósito más antiguo evidenciado corresponde a la zona de Cerro La Zanja Pórfido (CLZP) de ~25.19 Ma (Oligoceno) emplazado en las Ignimbritas San Pedro y cortados por los domos dacíticos del Mioceno Medio. CLZP es estilo pórfido de Cu + Mo sobre impuesto por varios eventos auríferos de alta sulfuración. El depósito presenta venillas de cuarzo gris continuas y segmentadas en una matriz de textura en parches de alteración argílica avanzada (cuarzo+alunita+pirofilita) en la zona superior y venillas de cuarzo + molibdenita en la zona profunda. No se ha evidenciado el pórfido mineralizador aún.

### Mioceno Temprano

Alrededor de ~21.70 Ma ocurren sistemas de vetas de baja-intermedia sulfuración auro-argentíferas con tendencia N50°O (Andia, reporte anual no publicado, 2012) emplazada en lavas andesíticas e ignimbritas, a aproximadamente 2.5 km al este del yacimiento San Pedro Sur (SPS, Figura 2). La mineralogía corresponde a cuarzo bandeado-pirita-adularia y halos de alteración illita + caolinita.

En el sector de Castrejon (CCJ) ocurre un sistema tipo pórfido de Cu+Mo (~18.50 Ma) relacionado a un litocap de ~18.24 Ma. El sistema comprende una zona central de brechas de cuarzo+turmalina+pirita+molibdenita cementada emplazadas en la Ignimbrita de Castrejon y Huachulla (TCl1 y TCrP). Este sistemas de brechas con elongación E-O, están relacionadas a intrusiones de ~18 Ma de composición diorítica y monzodiorítica (Andia, et. al 2010). El litocap está desarrollado en el alto topográfico por encima de las brechas turmalinas, con ensambles de caolinita+alunita+sericita. La zona filica ha sido reconocida por taladros diamantinos con predominancia de sericita+pirita. La alteración propilítica se desarrolla como halos del sector de brechas turmalinas, reconocidos en la unidad Brecha Andesítica de Huachulla (Huachulla Andesie Breccia, CAB) con venillas de epidota y clorita, y clorita reemplazando cristales. Además, vetas de cuarzo masivo ocurren periféricamente del sistema porfítico con orientaciones NS, NO y NE, la mejor expresión se ubica en el sector de Coshuro (Sector suroeste, Figura 2) de propiedad minera de terceros.

En el sector Totorá contemporáneo con el sistema porfítico Castrejon, ocurre un depósito aurífero de alta sulfuración (~18.93 Ma) desarrollado en depósitos piroclásticos del Mioceno Medio. La mineralización ocurre en un corredor de brechas hidrotermales de orientación NO de cuarzo oqueroso y halos argílicos avanzados. En depósito está rodeado por depósitos de bloques y cenizas de composición andesítica y hacia el suroeste el domo Los Toros de la misma composición, relacionados al centro volcánico Hueco Grande (Turner, S., 1997).



**Figura 5. Diagrama resumen de los depósitos auríferos y cupríferos que ocurren en el distrito minero La Zanja (Oligoceno - Mioceno)**

### **Medio.Mioceno Medio**

Durante este periodo se desarrolla la fase intermedia de alta sulfuración, comprendiendo los yacimientos auríferos de San Pedro Sur y Cerro Pampa Verde actualmente en producción, además de otras áreas en estudio.

San Pedro Sur presenta dos estilos de mineralización, uno de ~16.34 Ma relacionado al domo San Pedro Sur, desarrollado en el margen del domo y el segundo controlado por una estructura de apertura N800.

Posteriormente ocurren vetas de baja/intermedia sulfuración (~15.95 Ma) a 1.5 km del tajo San Pedro y vetas de alta sulfuración con sobreimpresión de intermedia sulfuración de ~15.72 Ma a 1 km al noreste del tajo San Pedro.

Los yacimientos de Cerro Pampa Verde y Cerro La Cueva Epitermal ocurren en ~15.22 Ma y ~15.13 Ma respectivamente, ambos relacionados al domo Pampa Verde aproximadamente de la misma edad.

Estos yacimientos se desarrollan en la Ignimbrita de San Pedro del Oligoceno, márgenes de domos y zonas estructurales de expansión (Martinez, J., 2015).

Al finalizar el periodo ocurre la fase tardía de alta sulfuración (reconocida en este estudio) evidenciada en un segundo pulso de hidrotermalismo en los yacimientos de San Pedro Sur (~11.88 Ma), Cerro Pampa Verde (~12.80 Ma) y Cerro La Zanja Epitermal (~12.16 Ma). Esta mineralización ocurre en brechas hidrotermales con

cemento de cuarzo y óxidos de Fe, los cuales cortan los domos del Mioceno Medio que sirvieron de control litológico en la fase intermedia de alta sulfuración (~15 Ma).

### **N. Conclusiones**

Las edades y la ubicación de los centros volcánicos andesíticos sugieren una posible migración de la actividad volcánica desde el suroeste al noreste del distrito (~30.48 Ma a ~13.46 Ma).

La migración del vulcanismo félsico en La Zanja es progresivamente hacia el sureste - sur, reconociéndose ignimbritas en las áreas de Quenco, Cochán y Tantachual (Ver Figura 2) y hacia la zona de Yanacocha con vulcanismos cercanos a ~8 Ma (Longo, A., 2005).

La mineralización aurífera está controlada por el emplazamiento de los domos dacíticos a lo largo de la Falla Culaque y probablemente relacionada al cese compresional de la Fase Quechua I y una componente extensional.

### **Agradecimientos**

Agradezco a mis asesores, Jocelyn McPhie y J. Bruce Gemmill, por su constante apoyo en el desarrollo de los estudios de investigación y a la memoria de Don Alberto Benavides De La Quintana por su constante soporte al desarrollo profesional del personal de Cía. De Minas Buenaventura SAA.

**Referencias**

- Amaya, W., andia, R., Noé, J., asencio, M., and cerdán, A., 2008, Proyecto La Zanja, Campaña de Exploraciones 2005-2006. Reporte anual de exploraciones no publicado para Compañía de Minas Buenaventura SAA, 77 p.
- Andia, R., cerna, E., asencio, M., ruiz, C., coronado, N., 2011, Proyecto La Zanja, Campaña de Exploraciones 2009-2010. Reporte anual de exploraciones no publicado para Minera La Zanja SRL, 157 p.
- Chambefort, I., dilles, J., and longo, A., 2013, Amphibole Geochemistry of the Yanacocha Volcanics, Peru: Evidence for Diverse Sources of Magmatic Volatiles Related to Gold Ores, *Journal of Petrology*, v. 54, No. 5, p. 1017-1046.
- Cordova, J., Andia, R., Cerna, E., Beas, B., Ruiz, C., Coronado, N., 2015, Proyecto La Zanja, Campaña de Exploraciones 2015. Reporte anual de exploraciones no publicado para Minera La Zanja SRL, 38 p.
- Longo, A., 2005, Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú, Unpublished PhD thesis, Oregon State University, 469 p.
- Longo, A., filles, J., grunder, A., and duncan, R., 2010, Evolution of Calc-Alkaline Volcanism and Associated Hydrothermal Gold Deposits at Yanacocha, Peru: *Economic Geology*, v. 105, p. 1191-1241.
- McPhie, J., doyle, M., and allen, R., 1993, *Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*: Hobart, CODES Key Centre, University of Tasmania, 196 p.
- Navarro, P., monge, R., and flores, A., 2010, Centros Volcánicos Oligo - Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca, 6 p.
- Noble, D., mcKee, E., mourier, T., and mégard, F., 1990, *Geological Society of America Bulletin*, Cenozoic stratigraphy, magmatic activity, compressive deformation, and uplift in northern Peru, v. 102, p. 1105-1113.
- Teal, L., and benavides, A., 2010, History and Geologic Overview of the Yanacocha Mining District, Cajamarca, Peru: *Economic Geology*, v. 105, No. 7, p. 1173-1190.
- Turner, S., 1997, La Zanja Summary, Unpublished company report for Newmont Peru LTD, Sucursal Peru, 191 p.