

Tectónica salina y mineralizaciones polimetálicas de origen magmático-hidrotermal: el caso del distrito de Morococha

Silvana Stipetich¹, Abel Zorrilla², Erick Valencia², Julio Zarate², Pablo Valverde¹, Diego Benites¹, Lisard Torró¹, Jean Vallance¹

¹ Facultad de ciencias e ingeniería, Especialidad Ingeniería Geológica, Pontificia Universidad Católica del Perú Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 15088, Perú. E-mail: stipetich.s@pucp.pe

² Pan American Silver Perú SAC y Cia. Minera Argentum S.A., Av. la Floresta Nro. 497 Int. 301, Chacarilla del Estanque, San Borja, Lima 15037

1. Resumen

En Morococha, los cuerpos de anhidrita hospedados en las rocas carbonatadas de la base de la Formación Chambará, cerca al contacto con el Grupo Mitu, presentan indicios de haber sufrido deformación, movilización y ascenso producto de tectónica salina (“halocinesis”) durante la Orogenia Andina. Estos cuerpos presentan comúnmente una asociación espacial, con cuerpos polimetálicos de remplazamiento tipo “cordillerano”. Se propone que los cuerpos de anhidrita actuaron como capas impermeables focalizando los fluidos y favoreciendo la formación de cuerpos mineralizados, y eventualmente proporcionando una fuente adicional de azufre.

2. Abstract

In the Morococha district, anhydrite bodies hosted in the carbonate rocks at the base of the Chambará Formation, close to the discordant contact between Mitu and Pucará Groups, show signs of having undergone deformation, mobilization and ascent due to halokinesis during the Andean Orogeny. These evaporite bodies are often spatially associated with “Cordilleran” polymetallic replacement bodies. We propose that impermeable anhydrite bodies focused mineralizing fluids promoting carbonate replacement and could constitute a local additional S source.

3. Introducción

Los yacimientos espacialmente asociados a diapiros de evaporitas son típicamente del tipo Mississippi Valley (MVT), incluyendo ejemplos en China (Leach et al., 2017), Túnez (e.g. Bouhlef et al., 2016), Marruecos (e.g. Bouabdellah et al., 2015) y España (Perona et al., 2018). En Perú los yacimientos del tipo MVT potencialmente asociados con tectónica salina son: San Vicente (Fontboté y Gorzawski, 1990, Badoux et al., 2001) y, Cañón Florida del distrito de Bongará (de Oliveira et al., 2019). Ambos yacimientos tienen como roca de caja a los carbonatos del Triásico-Jurásico del Grupo Pucará (Rosas et al., 2007), una unidad geológica cuya base contiene evaporitas responsables de la formación de números domos salinos al este de la Cordillera Oriental (Sempere & Cotrina, 2018, Baby et al., 2019, Fiestas et al., 2019). Mientras en los yacimientos de tipo MVT las evaporitas están frecuentemente involucradas en el proceso de formación de la mineralización, en yacimientos formados por fluidos de origen magmático-hidrotermal dicho papel no ha sido evaluado. Presentamos aquí un primer ejemplo.

4. Marco Geológico

El distrito minero de Morococha se ubica 150 km al Noreste de Lima, en la terminación Norte del Domo de Yauli. Se trata de un yacimiento polimetálico “cordillerano” de Cu-Ag-Pb-Zn centrado en pórfidos tempranos de Cu-(Mo-Au) asociados a múltiples intrusiones del Mioceno tardío, y en particular al pórfido gigante de Toromocho (Catchpole et al., 2015a). Las vetas y cuerpos de remplazamiento se hospedan en rocas volcánicas, intrusivos, rocas carbonatadas y skarns, siendo los estratos carbonatados de la Formación Chambará, en la base del Grupo Pucará, el principal encajonante (Catchpole et al., 2015b).

4.1. Geología Estructural

En Morococha, al norte del pórfido Toromocho, se presenta un anticlinal NNW-SSE abierto limitado al NE y el SW por, los cabalgamientos Potosí, de vergencia SW, y Gertrudis, de vergencia NE, respectivamente (Petersen, 1965, Fig. 1). El plegamiento y los cabalgamientos están asociados a la formación del cinturón plegado y corrido del Marañón entre el Cretácico Superior y el Eoceno (Mégard, 1984; Benavides-Cáceres, 1999; Scherrenberg et al., 2016). Las estructuras anticlinales y los sobreescurrecimientos controlaron, en parte el emplazamiento de los cuerpos intrusivos del Mioceno relacionados a las mineralizaciones de tipo pórfido (Petersen, 1965; Catchpole et al., 2015a). Las mineralizaciones polimetálicas posteriores fueron esencialmente controladas por un sistema de fallas NE-SW con fuerte buzamiento y de movimiento normal-dextral. En menor medida, también por los sobreescurrecimientos Potosí y Gertrudis (e.g. Manto Ombla), los contactos de los intrusivos y el contacto Grupo Mitu-Grupo Pucará (Catchpole et al., 2015b).

4.2. El “Complejo de Anhidritas” de Morococha

En la base de la Formación Chambará, próximos a/o sobre el contacto discordante entre el Grupo Pucará y el Grupo Mitu, se hospedan cuerpos lenticulares de anhidrita (Haapala, 1953; Nagell, 1957). Denominados como el “Complejo de Anhidritas”, estos cuerpos están compuestos por anhidrita (60-70%), rocas carbonatadas localmente eskarnizadas, y pizarras (Haapala, 1953).

Haapala (1953) atribuyó al Complejo un origen evaporítico con removilizaciones, mientras Nagell (1957), en base a observaciones de vetas con relleno de anhidrita cortando a los intrusivos del Mioceno, propuso un origen hidrotermal por remplazamiento de calizas. Estudios isotópicos de S realizados por Petersen (1972) apuntan a un origen sedimentario y sugieren una removilización parcial de las anhidritas. Estudios isotópicos posteriores de O, S, Sr, y Nd realizados por Kouzmanov et al. (2011), abalan este estudio concluyendo que se trataría de evaporitas del Triásico-Jurásico que sufrieron una parcial removilización asociada a la migración de fluidos activados por anomalías térmicas producto del magmatismo del Mioceno.

Secciones y descripciones presentadas por Haapala (1953) y Nagell (1957), registran cambios importantes en la potencia del “Complejo de Anhidritas”. En su parte central, el complejo alcanza una potencia total de 150 m, con capas individuales de anhidrita de entre 5 y 30 m, y desaparece progresivamente hacia el este. Sobreyacen directamente a los volcánicos del Grupo Mitu o a las calizas de la Formación Chambará. El contacto superior del complejo es, a gran escala, concordante con las calizas de la Formación Chambará, con discordancias locales a escala métrica. El complejo presenta mayor potencia en la proximidad de intrusivos y fallas. A gran escala, el “Complejo de Anhidritas” sigue el plegamiento de la zona; sin embargo, los niveles carbonatados en el interior del complejo presentan una mayor deformación que las calizas ubicadas en su techo. Nagell (1957) atribuyó esta mayor deformación a la naturaleza plástica de la anhidrita, indicando además que la fuerte deformación estaría expresada por el intenso brechamiento presente en los contactos superior e inferior del complejo.

No existe registro de mineralización económica en el interior del complejo, pero sí una asociación espacial frecuente de cuerpos mineralizados en sus contactos en zonas donde está atravesado por las fallas NE-SW relacionadas a venas polimetálicas. Importantes leyes de cobre se han registrado en sus contactos con el stock Gertrudis (Nagell, 1957).

5. Resultados

5.1. Estructuras en Alapampa y San Antonio

El remapeo de detalle, de las zonas Alapampa y San Antonio por los geólogos de Pan American Silver, y los trabajos de perforación de la Veta Morro Solar desde superficie e interior de mina permitieron precisar el modelo estructural.

En Morococha, diferentes brechas, a gran escala concordantes con la estratificación, han sido descritas. La brecha Churruca se encuentra en la Formación Condorsinga. En la zona de Alapampa, Terrones (1949) describió dos niveles de esta brecha, ambos compuestos por fragmentos (semi)angulosos de calizas en una matriz calcárea; les atribuyó un origen sedimentario. Sin embargo, durante los trabajos de remapeo y de perforación, se notó que los clastos de esta brecha presentan frecuentemente venas de carbonatos que no se extienden en la matriz indicando una fase de brechamiento claramente post-litificación. En Toldojirca,

Perez (2009) realizó observaciones similares en una brecha ubicada en la misma formación, atribuyéndole un origen tectónico.

La brecha Toldo, ubicada en la base de la Formación Chambará, presenta similitudes con la brecha Churruca. Las dos brechas tendrían, por lo tanto, un origen tectónico, formando zonas de despegue, y en el caso de la brecha Churruca, duplicando localmente la secuencia sedimentaria (Fig. 2).

Los sobreescurrecimientos Potosí y Gertrudis, cortan a la brecha Churruca debido a una acentuación del plegamiento original. La falla Morro Solar, que es una estructura de rumbo NE-SW, buzando al SE y que cuenta, con una extensión mayor a 3 km, separa dos bloques con diferentes intensidades de deformación en la zona San Antonio (Fig. 1). En el bloque SE el sobreescurrecimiento Potosí duplica la secuencia sedimentaria, mientras que este desaparece en el bloque NW dejando un simple anticlinal asimétrico (Fig. 1). Así, antes de ser una estructura mineralizada en el Mioceno (veta Morro Solar), la falla Morro Solar actuó como una *tear fault*.

5.2. Vetas y cuerpos de reemplazamiento asociados a anhidritas

En los últimos años, la profundización de las labores mineras en la Mina Morococha al norte del “Complejo de Anhidritas” ha permitido alcanzar el límite Mitu-Pucará donde se encontró un nivel continuo de evaporita (Figs. 1 y 2). La modelización, en base a mapeo de galería y perforación, reveló que los niveles de anhidrita contienen lentes tanto de calizas del Grupo Pucará como de material volcánico arrastrado del subyacente Grupo Mitu (Fig. 2). Se encontraron cuerpos mineralizados tipo mantos en los niveles de calizas intercalados en la anhidrita en aquellas zonas donde estos son cortados por vetas polimetálicas. Dichos cuerpos de reemplazamiento presentan removilización de anhidrita incluyendo recristalización, inyecciones en calizas y en las mismas vetas, así como reemplazamiento local por grandes cristales de yeso. El Manto Ivette es uno de esos cuerpos teniendo como *feeder* a la veta Morro Solar en la zona Alapampa (Figs. 2 y 3). La mineralización metálica en estas dos estructuras incluye abundante pirita, esfalerita, galena y cobres grises, proporciones menores de calcopirita y cantidades traza de arsenopirita, hübnerita y fases de Ag (Valverde, 2020). Un primer estadio de mineralización de cuarzo-pirita fue seguido por un estadio de cristalización de minerales de metales base y subsecuentemente por un estadio rico en carbonatos hidrotermales acompañados por sulfosales y telururos ricos en Ag.

Cuarenta metros por encima del Manto Ivette se encuentra el Cuerpo Esperanza (Figs. 2 y 3). Este cuerpo se hospeda en niveles de calizas dolomitizadas enriquecidas en materia carbonosa y tiene su raíz en uno de sus ramales techo de la veta Morro Solar. El Cuerpo Esperanza, comprende dos cuerpos mineralizados circulares de 40 m de diámetro con altas leyes de Cu y Zn recubriendo un cuerpo de anhidrita (Vallance, 2015). La mineralización presenta una zonación horizontal bien marcada, compuesta por un núcleo de pirita fina a gruesa fuertemente reemplazado por una zona rica en Cu (calcopirita-tetraedrita), seguida por una zona distal rica en Zn y Ag (esfalerita-tetraedrita). La transición de los cuerpos mineralizados hacia su roca de caja techo es i) directa, con nódulos de anhidritas en las calizas; o ii) progresiva, marcada por brechas con clastos de caliza (algunos delineados por ribetes de carbonatos y menores sulfuros) y cementados por anhidrita. La anhidrita está presente en la Veta Morro Solar desde el Manto Yvette hasta el ramal techo constituyendo la raíz del Cuerpo Esperanza. Esta observación sugiere que estas vetas fueron los *feeders* del Cuerpo Esperanza tanto para la anhidrita como para la mineralización posterior.

6. Discusión

La tectónica salina o “halocinesis” ha sido ampliamente evocada en el Oriente Peruano (Sempere & Cotrina, 2018) y en menor cantidad en el Perú Central (Fiestas et al., 2019). En cambio, hasta la fecha no ha sido descrita en la Cordillera Occidental.

En Morococha, i) las variaciones de potencia de las capas de anhidritas; ii) las discordancias locales en la base y en el techo del complejo, asociadas a zonas de brechas y de inyección de sulfatos en la caliza; iii) la gran deformación de las intercalaciones de caliza en su interior; y iv) la presencia de escamas de rocas volcánicas del Grupo Mitu indican que los niveles de anhidrita actuaron como un nivel de despegue. La brecha tectónica Toldo, que ocupa la misma posición estratigráfica que el “Complejo de Anhidrita” representa un tramo libre de anhidrita de esta zona de despegue. El Cuerpo Esperanza presenta dos pequeños diapiros producto de la migración de anhidrita desde la capa de anhidrita infrayacente a través

de la falla Morro Solar y bifurcando después hacia un ramal techo explicando así la ausencia de sulfatos en los niveles superior de la vena Morro Solar. Se propone que la circulación de los fluidos mineralizantes durante el Mioceno habrían focalizado a través de las mismas zonas de drenaje, conduciendo al emplazamiento de la mineralización por remplazamiento de la zona de contacto discordante y probablemente brechada entre los diapiros y la roca caja carbonatada. Se infiere que la anhidrita podría haber representado una fuente adicional de azufre para la mineralización mediante reacciones de termoreducción.

6. Conclusiones

El estudio del “Complejo de Anhidritas” de Morococha representa una oportunidad excepcional para entender el papel de la tectónica salina en yacimientos polimetálicos “cordilleranos”. La morfología de los cuerpos de anhidrita sugiere que las evaporitas fueron depositadas entre el Grupo Mitu y el Grupo Pucará y que fueron posteriormente deformadas y movilizadas. Estas ascendieron localmente como diapiros a lo largo de *tear faults* durante la Orogenia Andina. Los cuerpos impermeables de anhidrita focalizaron los fluidos mineralizantes hacia trampas estratigráficas o estructurales. Se infiere que la anhidrita ha podido constituir localmente una fuente adicional de azufre mediante termoreducción controlada por la materia carbonosa de las calizas dolomitizadas. Análisis isotópicos de S, C y Sr en sulfuros, carbonatos y anhidrita está en curso para corroborar esta hipótesis.

El reconocimiento de las estructuras generadas por el movimiento de las evaporitas abre un nuevo campo prospectivo en el distrito de Morococha, con potencial para aplicarse en otros yacimientos con contenidos importantes de niveles de evaporita.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con la financiación del Banco Mundial CONCYTEC-FONDECYT (107-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV) y del Programa de Apoyo al Desarrollo de Tesis de Licenciatura (PADET) de la Pontificia Universidad Católica del Perú y la colaboración de Pan American Silver Corp. Agradecemos especialmente a Rubén Díaz y Jessica Huamantalla por su asistencia profesional y constante colaboración.

References

- Baby, P., Calderón, Y., Hurtado, C., Louterbach, M., Espurt, N., Brusset, S., Roddaz, M., Brichau, S., Eude, A., Calvès, G. 2019. The Peruvian sub-eanean foreland basin system: Structural overview, geochronologic constraints, unexplored plays: *Am Assoc Pet Geol*, 117, p. 87–116.
- Bouabdelillah, M., Niedermann, S., Velasco, F. 2015. The Touissit-Bou Bekker Mississippi Valley-type district of northeastern Morocco: Relationships to the Messinian salinity crisis, Late Neogene-Quaternary alkaline magmatism, buoyancy-driven fluid convection: *Econ Geol*, v. 110, p. 1455–1484.
- Bouhlef, S., Leach, D.L., Johnson, C.A., Marsh, E., Salmi-Laouar, S., Banks, D.A. 2016. A salt diapir-related Mississippi Valley-type deposit: The Bou Jaber Pb-Zn-Ba-F deposit, Tunisia: Fluid inclusion isotope study: *Miner Dep*, v. 51, p. 749–780.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Bendežú, A., Ovtcharova, M., Spikings, R., Stein, H., Fontboté, L. 2015a. Timing of porphyry Cu-Mo base metal Zn-Pb-Ag-Cu mineralisation in a magmatic-hydrothermal system—Morococha district, Peru. *Miner Dep*, v. 508, p. 895–922.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Seo, J. H., Fontboté, L. 2015b. Zoned base metal mineralization in a porphyry system: Origin evolution of mineralizing fluids in the Morococha District, Peru. *Econ Geol*, v. 1101, p. 39–71.
- de Oliveira, S.B., Leach, D.L., Juliani, C., Monteiro, L.V.S., Johnson, C.A. 2019. The Zn-Pb mineralization of Florida canyon, an evaporite-related Mississippi valley-type deposit in the Bongará district, northern Peru. *Econ Geol*, v. 114, p. 1621–1647.
- Fiestas, J., Berrospi, R., Leach, D., Sempere, T. P. A. 2019. Tectónica salina e hidrocarburos como guías de exploración. de yacimientos MVT: Zn-Pb en los es del Perú central. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, proEXPLO 2019.
- Haapala, P. S. 1953. Morococha Anhydrite. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 26: 21-32.
- Kouzmanov, K., Ovtcharova, M., von Quadt, A., Guillong, M., Spikings, R., Schaltegger, U., Fontboté, L., Rivera, L. 2008. U-Pb $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints for the timing of magmatism mineralization in the giant Toromocho Porphyry Cu-Mo deposit Central Peru. XIII Geological Congress of Peru, 1–6.
- Kouzmanov, K., Chiaradia, M., Fontbote, L., Spangenberg, J. 2011. Origin of massive anhydrite bodies in the Morococha district, central Peru: insights from stable O, S radiogenic Sr, Nd isotope geochemistry. SGA 11th Biennial Meeting: Antofagasta, Chile, p. 405–407.
- Leach, D.L., Song, Y.C., Hou, Z.Q. 2017. The world-class Jinding Zn-Pb deposit: Ore formation in an evaporite dome, Lanping basin, Yunnan China: *Miner Dep*, v. 52, p. 281–296.
- Mégard, F. 1984. The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *J Geol Soc London* v. 141, p. 893-900.
- Nagell, R. H. 1957. Anhydrite Complex of the Morococha district, Peru. *Econ Geol*, 5210, 632–644.

- Perez, J. 2009. Mineralization, structure geochemical characteristics of the Toldojirca prospect the San Andrés vein, Morococha district, Miocene polymetallic belt, Peru. Université de Genève. Master Thesis, 89 p.
- Perona, J., Canals, À., Cardellach, E. 2018. Zn-Pb mineralization associated with salt diapirs in the Basque-Cantabrian basin, Northern Spain: Geol, geochemistry, genetic model: Econ Geol, v. 113, p. 1133–1159.
- Petersen, U. 1965. Regional Geol Major Ore Deposits of Central Peru. Society of Econ Geologist, 60, 407–476.
- Petersen, U. 1972 Nuevas Investigaciones de Yacimientos Peruanos. Bol Soc Geol Perú, v. 42, p. 36-52.
- Rosas, S., Fontboté, L., Tankard, A. 2007. Tectonic evolution paleogeography of the Mesozoic Pucará Basin, central Peru. J South Am Earth Sci, v. 241, p. 1–24.
- Scherrenberg AF, Konh BP, Holcombe RJ, Rosenbaum G 2016. Thermotectonic history of the Marañón Fold-Thrust Belt, Peru: Insights into mineralisation in an evolving orogeny: Tectonophysics 667:16-36
- Sempere, T., Cotrina, J. 2018. An overlooked giant salt basin in peru. IX INGEPET 2018, 2018, 1–18.
- Terrones, A. 1949. La estratigrafía del Distrito minero de Morococha. Sociedad Geológica Del Perú, Jubilar.
- Vallance J. 2015. Informe de visita al Cuerpo Esperanza nivel 160, Zona Alapampa, mina Morococha, y del estudio de 6 secciones pulidas y 19 láminas delgadas. Informe para Compañía Minera Argentina S.A., 300 p.
- Valverde, P. 2020. Distribución de metales estratégicos In, Ge y Ga en vetas y cuerpos de reemplazamiento polimetálicos del distrito de Morococha, Junín, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 156 p.

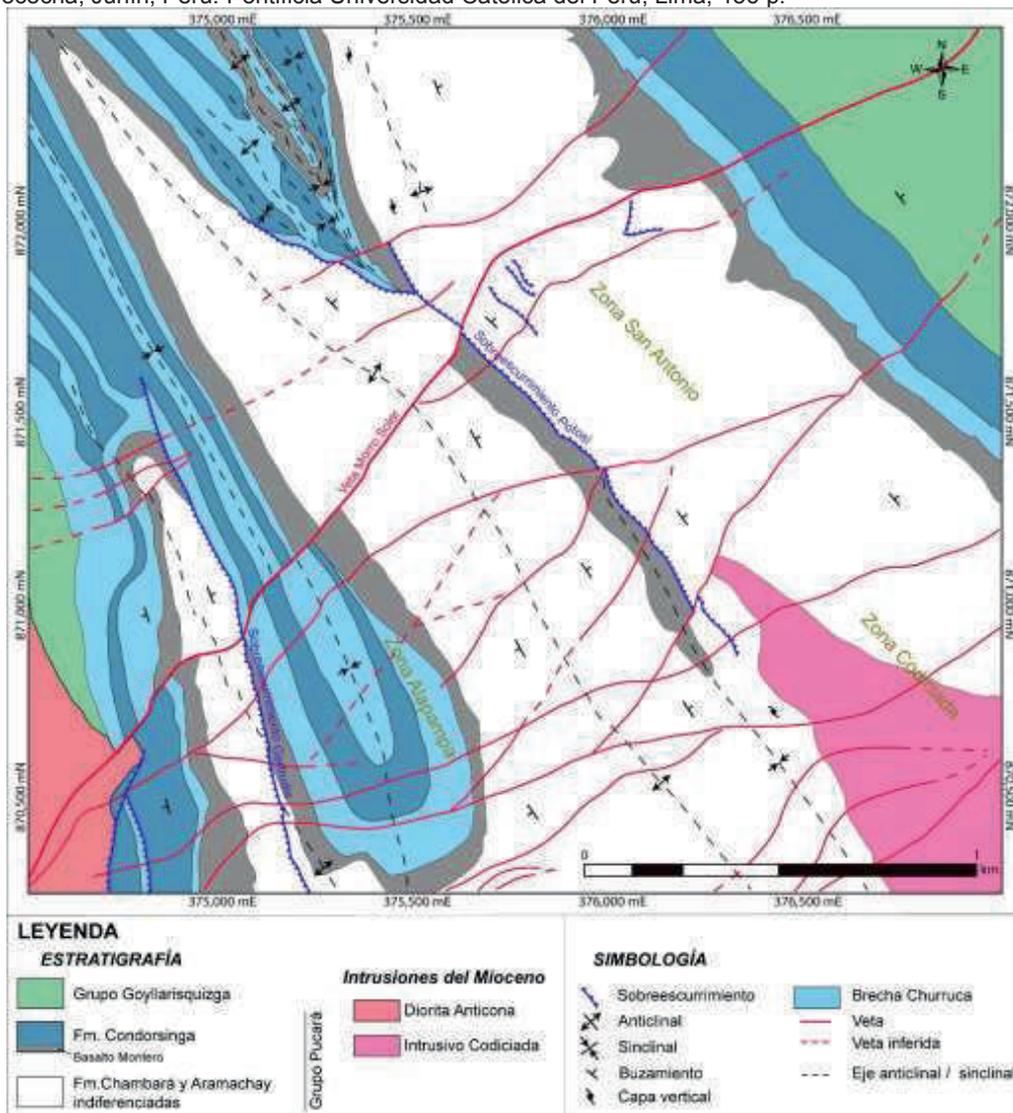


Fig. 1. Mapa geológico simplificado del Distrito de Morococha, al Norte del Pórfido Toromocho.

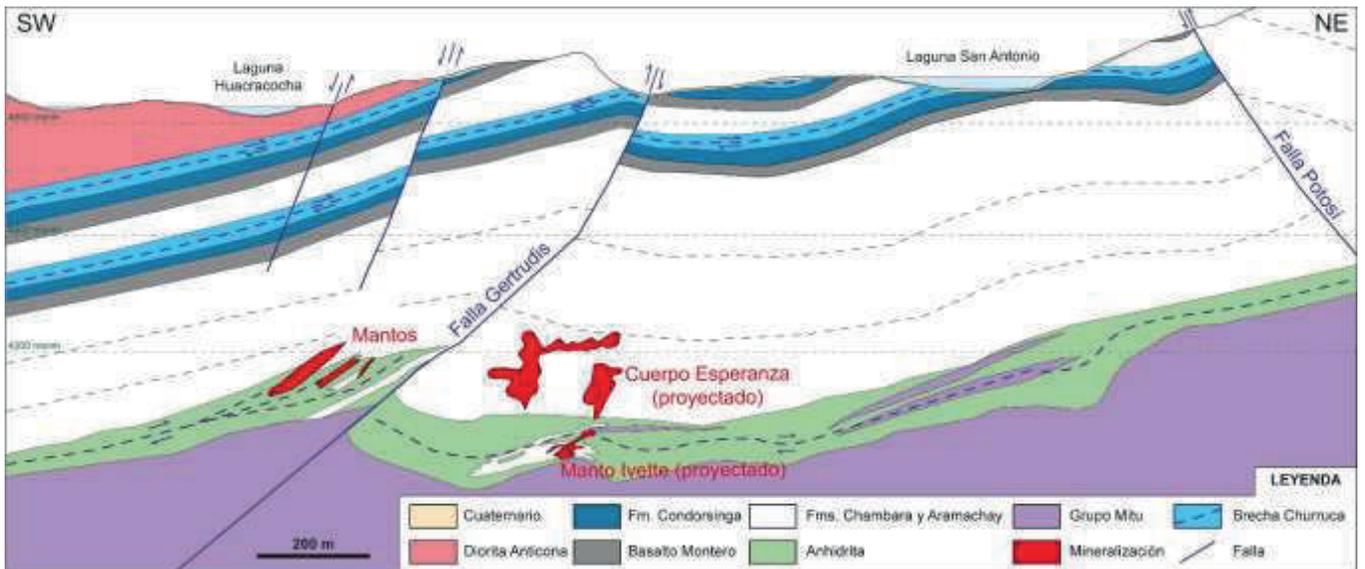


Fig. 2. Sección longitudinal de la veta Morro Solar con proyección del Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette.

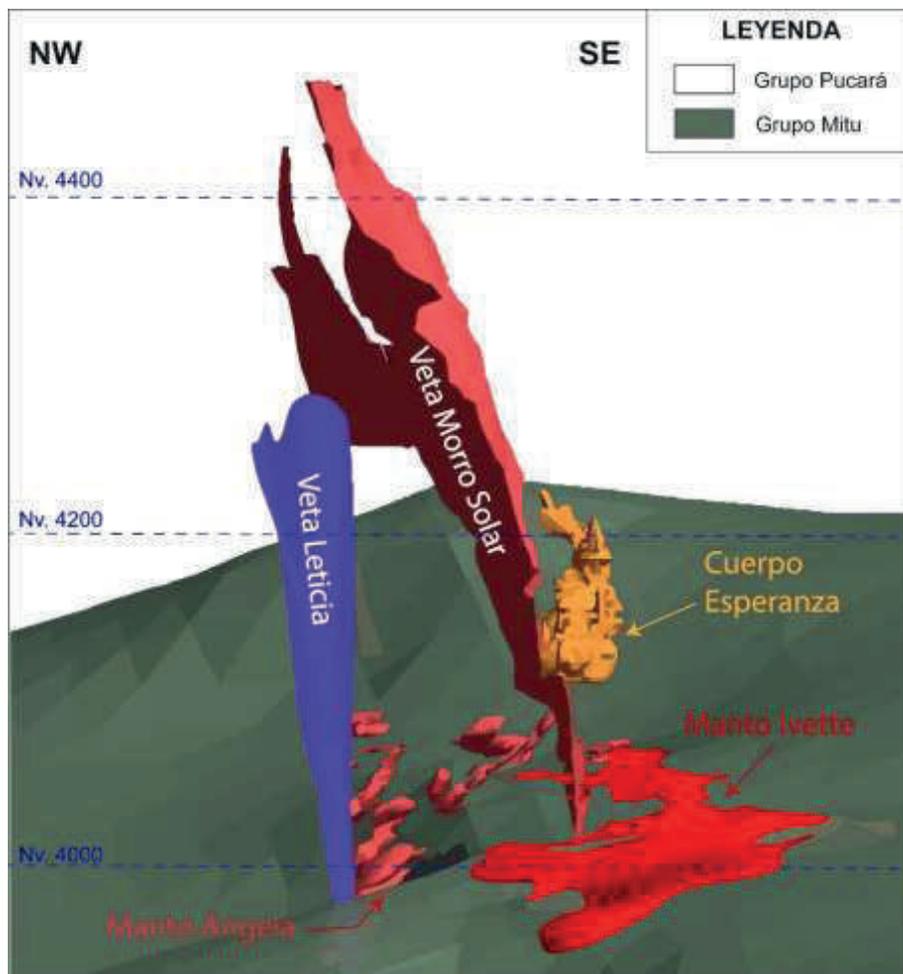


Fig. 3. Vista tridimensional, mirando al NE, de la veta Morro Solar en la zona del Cuerpo Esperanza y del Manto Ivette.