



XVIII Congreso Peruano de Geología

FUENTES NATURALES DE DRENAJE ÁCIDO: CUENCA DEL RÍO TAMBO (PUNO-MOQUEGUA)

Cristina Cereceda¹, Shianny Vasquez¹, Vilma Maquera¹, Paola Chapilliquen¹, Arnold García¹, Boris Santos¹ & Wai NG¹

¹ INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima-Perú.

1. Introducción

La zona de estudio está ubicada entre los departamentos de Puno y Moquegua, abarca la subcuenca de Ichuña que comprende la parte alta de la cuenca del Río Tambo (Fig. 1). El presente trabajo se realizó en el marco del Proyecto: Estudio de Línea Base Geoambiental en la cuenca del Río Tambo. El objetivo del estudio radica en establecer la relación del PH de las aguas superficiales con los contenidos de Fe total de las rocas, con la finalidad de conocer las litologías que tienden a formar aguas ácidas.

Para lo cual, se observó el comportamiento del Fe₂O₃ en la roca y en el agua. En este sentido, se realizó la caracterización litogeoquímica en base a unidades litológicas hipabisales (Ia), sedimentarias (IIa, IIb, IIc, IIId, IIe, IIIf), volcánicas, y volcano-sedimentarias (IIIa, IIIb, IIIc, IIIId, IIIe, IIIIf) y zonas de alteración (Va). Asimismo, se realizó la caracterización hidroquímica de acuerdo a los componentes mayoritarios de las aguas superficiales.

Es así que, se observó que las zonas con presencia de sulfuros están relacionadas a mineralizaciones de alta y baja sulfuración y están restringidos al este de la subcuenca de Ichuña y al sur del poblado del mismo nombre, cuyas aguas ácidas se mantienen hasta en los drenajes de segundo orden (Ríos Itapallane, Crucero, San Antonio y Jachata). La vetas y brechas hidrotermales con presencia de sulfuros (Va) son las que contienen elevadas concentraciones de Fe (15-90 ppm) al igual que las areniscas cortadas por venillas de goethita y hematita (IIb, IIId y IIe), pero en el primer caso los sulfuros en contacto con el oxígeno del aire y agua generan aguas ácidas, mientras que la disolución de óxidos, hidróxidos y minerales silicatados y carbonatos producen aguas alcalinas; concluyendo que la mineralogía es el factor que controla la formación de aguas ácidas de origen geogénico.

2. Marco Geológico

La zona de estudio está conformada por rocas que abarcan desde el Jurásico al Plioceno. Las rocas más antiguas están conformadas por secuencias silicoclásticas Jurásico Cretáceas del Grupo Yura (Lipa et al., 2001), en ligera discordancia yacen las secuencias pelíticas de la Fm. Murco del cretáceo superior. En discordancia angular yacen los conglomerados del Grupo Puno del Paleogeno (Lipa et al., 2001), que anteriormente fue denominado como Conglomerados Ciguaya (Marocco & Del Pino, 1966), luego sobreyacen las secuencias volcano-sedimentarias de la Fm. Pichu del Eoceno (García, 1978), encima yacen las lavas andesitas y andesitas basáltica del Grupo Tacaza del Oligoceno (Wasteneys, 1990). En discordancia progresiva sobreyacen secuencias lacustres y piroclásticas del Grupo Maure del Mioceno (Cerpa & Meza, 2001; Carlotto et al., 2005, Torres et al, 2010), interdigitado por secuencias volcánicas del Grupo Sillapaca del Mioceno Superior (Cerpa et al., 2012). Luego sobreyacen los depósitos de los centros volcánicos San Miguel, Huancarani y Pinquillo asignados al Grupo Barroso (Rodríguez et al, 2002).

Por otro lado, en los centros volcánicos ubicados en el segmento Este de la subcuenca de Ichuña, se observan anomalías espectrales de óxidos y arcillas que evidencian zonas afectadas por alteración hidrotermal relacionados a mineralizaciones de baja y alta sulfuración asociados a mineralización de Au-Ag, Ag-Pb-Cu-Zn, Ag-Pb-Zn y en donde están ubicados los prospectos y ocurrencias minerales: Tres Marías (Hennig et al., 2008), San Antonio de Esquilache, Virgen de Chapi y Chapi Chiara. Al sur, también se observan zonas afectadas por alteración hidrotermal asociado al yacimiento epidermal de alta sulfuración Chucapaca (Remigio, 2012).

Sin embargo, la información estratigráfica plasmada en el mapa geológico agrupa a las rocas de acuerdo a su edad,

hecho que dificulta una adecuada caracterización lito- geoquímica, por lo que, fue necesario la elaboración de un

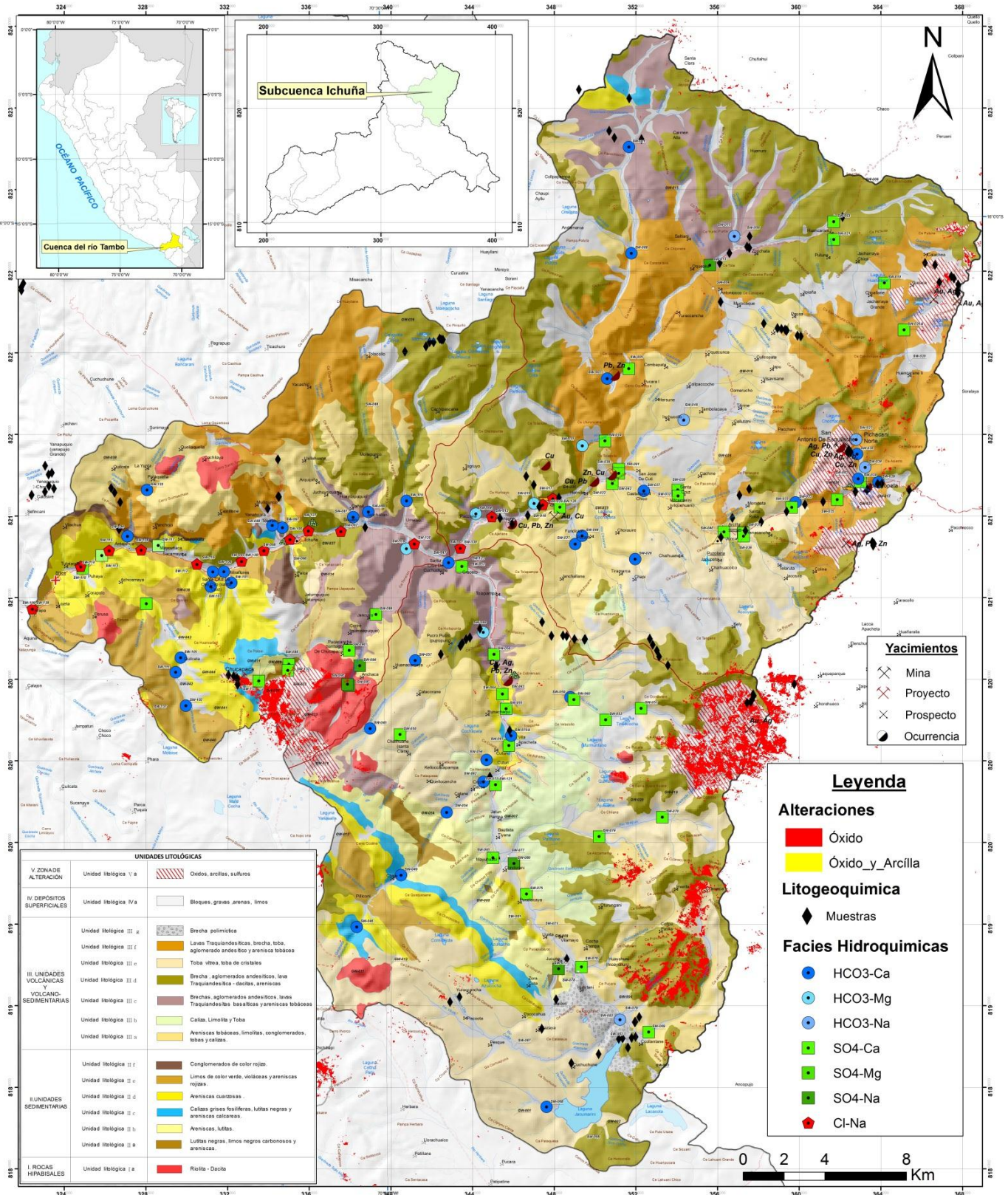


Fig. 1: Mapa Hidroquímico de la subcuenca Ichuña, parte alta de la cuenca del río Tambo.

mapa litológico (Fig. 1) donde se agruparon las rocas de acuerdo a su naturaleza y cuya cartografía contempla la representación individual de cada litología o bien de forma asociada, cuando se trata de una alternancia o de una mezcla homogénea, es así que, se determinaron 15 unidades litológicas agrupadas en 5 grupos; donde la

unidad hipabisal está conformada por subvolcánicos y domos dacíticos y riolíticos (Ia), las unidades sedimentarias corresponden a las formaciones Cachíos (IIa), Labra (IIb), Gramadal (IIc), Hualhuani (IId), Murco (IIe) y Puno (IIf). Por otra parte, se han diferenciado 6 unidades volcánicas y volcano-sedimentarias: areniscas

tobáceas, limolitas, conglomerados, tobas y calizas (IIIa), caliza, limolita y toba (IIIb), brechas, aglomerados andesíticos, lavas traquiandesíticas basálticas y areniscas tobáceas (IIIc), brecha, aglomerados andesíticos, lavas traquiandesítica-dacítica, areniscas (IIId), toba vítrea, toba de cristales (IIIe), lavas traquiandesíticas, brecha, toba, aglomerado andesítico y areniscas tobáceas (IIIf). Los depósitos superficiales están conformados por arenas, gravas, bloques y limos (IVa) y las zonas de alteración por óxidos-arcillas y sulfuros (Va).

3. Litogeoquímica

La caracterización geoquímica se realizó en base a las unidades litológicas, para lo cual se colectaron un total de 196 muestras que comprenden areniscas, limolitas, calizas, tobas, lavas, subvolcánicos, rocas con alteración hidrotermal, vetas y brechas hidrotermales. El análisis químico se realizó en el laboratorio SGS del Perú, por los métodos de fusión de metaborato de Litio por ICPM-AES y Fusión de Peróxido de Sodio por ICP-MS/AES.

El diagrama de dispersión de Th-Sc (Fig. 2A) permite discriminar la composición de las rocas ígneas (Prendergast, 2007), es así que, las lavas y tobas de la unidad IIIc tienen composición máfica, las rocas de las unidades IIId y IIIe son de composición ácida, mientras que las rocas de la unidad IIIf son intermedias a ácidas. El contenido de hierro está en función a la diferenciación del magma (Fig. 2B), es así que, las rocas menos diferenciadas tienen contenidos entre 6 y 12 ppm (IIIc), en las rocas más diferenciadas (IIId y IIIe) son menores a 7 ppm, y en las rocas intermedias (IIIf) varían entre 8 y 2 ppm aproximadamente. Por otra parte, en el diagrama de clasificación de areniscas (Fig. 2C), se observa que las areniscas de la unidad IIa son ferruginosas, las de la unidad IIb varían de ferruginosas a lito-arenitas y las de la unidad IIc varían de ferruginosas a arenita cuarzosa, el carácter ferruginoso en las unidades IIb y IIc se debe a la presencia de venillas de hematita y goetita, al igual que en la unidad IIe. En cambio, en la unidad IIc es una waca, y en la unidad IId es lito-arenita. En tanto que, las areniscas de la unidad IIIa comprenden lito-arenitas, arcosas y wacas.

Por otro lado, el contenido de Fe₂O₃ en las areniscas y pelitas disminuye a manera que incrementa el K₂O (Fig. 2D), es así que, las areniscas de las unidades IIa, IId y IIe presentan contenidos entre 4 y 8 %, en cambio, el contenido de Fe en las areniscas de las unidades IIb son menores a 3%, y en las areniscas de la unidad IIIc son menores a 7%. Sin embargo, algunas areniscas de las unidades IIb, IIc y IId tienen contenidos entre 20-90 % de Fe, debido a que presentan venillas de óxidos. Por otro lado, el Fe en las pelitas de la unidad IIa varía entre 4 a 7 ppm, y en las unidades IIb, IIc y IIIa son menores a 3%, al igual que en las calizas de la unidad IIc. Por otro lado, el contenido de Fe en las rocas alteradas de la unidad Va oscila entre 1 y 100% y no depende del K.

4. Hidroquímica

Para la caracterización hidroquímica de las aguas superficiales en la subcuenca Ichuña, se evaluaron 126 estaciones distribuidas en los ríos y quebradas principales

entre los meses de setiembre y octubre (época de estiaje). La medición de los parámetros físico - químicos: pH, CE, ORP, TDS, T°, OD, salinidad y resistividad se midieron in situ. El análisis químico se realizó en el laboratorio de INGEMMET, en donde se tomó muestras para análisis de HCO₃ y CO₃= por el método Titrimétrico, para los SO₄, CL- y NO₃ por el método de Cromatografía Iónica; y para los metales disueltos y totales por 42 elementos por ICP-MS/OES.

Se ha evaluado los componentes mayoritarios en el agua como cationes: Ca, Mg, Na y K y aniones: HCO₃, SO₄ y CL-. El predominio de las facies hidroquímica en las aguas superficiales muestra tres grupos mayoritarios (Fig. 3). El primer grupo corresponde a las aguas bicarbonatadas cálcicas y representa al 42 % de las estaciones monitoreadas, estas aguas están asociadas principalmente a las unidades sedimentarias IIa, IIb, IIc, IIc y IIe, y en menor proporción a las unidades volcánicas IIIc, IIId, IIIe y IIIf, cabe resaltar que este grupo registra valores de pH entre 7 a 9 (aguas neutras a ligeramente alcalinas). El segundo grupo corresponde a aguas de composición sulfatada cálcica que representa el 45% de la población muestreada, registrando valores de pH entre 3 a 7.5 (aguas ácidas, ligeramente ácidas y neutras), y están asociadas principalmente a zonas de alteración hidrotermal con precipitación de sulfuros (Va) que por intemperismo se oxidan. Finalmente el tercer grupo que representa al 13% de las estaciones monitoreadas, corresponde a las aguas cloruradas sódicas, que se ubican a lo largo del río Ichuña y en parte del río Jesús María a partir de su confluencia con la fuente termal Jesús María, que modifica drásticamente el comportamiento químico de las aguas, clasificándolas como aguas de mezcla.

5. Resultados

En conclusión, se logró determinar que las brechas hidrotermales (sulfuros, óxidos, cuarzo), zonas de gossan y areniscas con venillas rellenas de hematita y goethita, presentan contenidos elevados de Fe₂O₃ (15-90%). Las rocas volcánicas máficas y las rocas con alteración propilítica y argílica, presentan contenidos altos (7-10%) de Fe₂O₃. Las rocas volcánicas intermedias a ácidas, las areniscas ferruginosas (IIa) y wacas, las lutitas con mayor grado de madurez tienen contenidos medios de Fe₂O₃ (4-7%), mientras que, las rocas volcánicas ácidas, las lito-arenitas, lutitas (IIb) y calizas (IIc) tienen entre medios a bajos contenidos de Fe₂O₃ (<4%).

El drenaje que lixivia los sulfuros tiene carácter sulfatado y PH bajo, el cual durante su recorrido disminuye paulatinamente en los ríos Itapallane, Crucero, San Antonio y Jachata, en cambio las aguas que lixivian las rocas (areniscas) cortadas por venillas de goetita y hematita (IIb, IIc y IId) tienen carácter bicarbonatado cálcico y PH altos a neutros, al igual que el drenaje que lixivia las lavas, tobas, areniscas, limolitas y calizas presentes en las demás unidades litológicas. En conclusión las reacciones de oxidación de los sulfuros controlan el Ph en el agua.

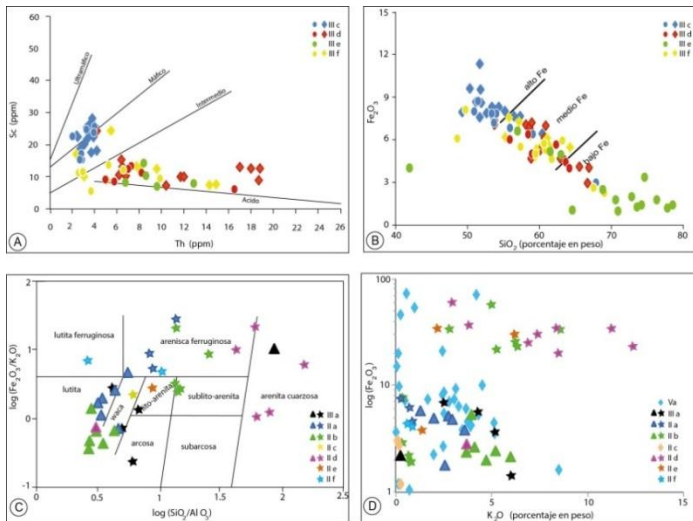


Fig. 2: A. Diagrama de dispersión Th-Sc. B. Diagrama Harker, los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles. C. Diagrama de clasificación química de areniscas y pelitas (Herron, 1988). Los rombos representan lavas y las elipses tobas, las estrellas representan areniscas y los triángulos pelitas, y los rombos celestes, a vetas, brechas y rocas alteradas.

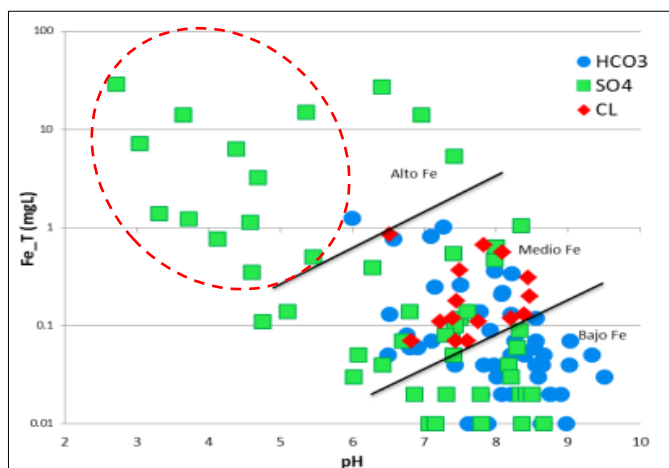


Fig. 3: Comportamiento del Fe y el Ph en las aguas bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas en la subcuenca Ichuña. Las aguas sulfatadas ácidas corresponden a las zonas con presencia de sulfuros.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Ing. Luis Cerpa y a los geólogos Luis Muñoz y Keller Padilla por el acompañamiento durante los trabajos de campo.

Referencias

Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., La Torre, O. & Ibarra, I. 2005. Las Cuencas Terciarias Sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del Sur del Perú. Soc. Geol. Perú, Vol. Esp. 6, p. 103-126.

Cerpa, L. & Meza, P. 2001. Las cuencas neógenas del sur del Perú, la Cuenca Descanso-Yauri (Mioceno): evolución sedimentológica y tectónica. Tesis Grado. Univ. San Antonio Abad. Cusco, 130 p.

Cerpa, L., Cereceda, C., Torres, D., Muñoz, L., Aguilar, R., Martínez, J., Siesquen, D. & Chacon, A. 2012. Controles Tectono-Magmáticos en el Sur del Perú (72°-70°30'W). Implicancias metalogenéticas. XVI Congreso Peruano de Geología, Resúmenes. Sociedad Geológica del Perú, p. 23-26.

García, W. 1978. Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz y Pizacona, hojas 34-t, 34-u, 34-x, 34-y. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 29, 63 p.

Hennig, D., Lehmann, B., Burgess, R., Nekouvaght, M. 2008. Geology, geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Cerro Millo epithermal high-sulfidation gold prospect, southern Peru. Ore Geology Reviews 34, p. 304-316.

Herron, M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Petrology. vol 58 (5), p. 820-829.

Lipa, V.; Valdivia, W. & Carrasco, S. 2001. Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Ichuña (33-u). INGEMMET, 11 p.

Marocco, R. & Del Pino, M. 1966. Geología del Cuadrángulo de Ichuña (hoja 33-u), INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 57 p.

Prendergast, K. 2007. Application of litho-geochemistry to gold exploration in the St Ives goldfield, Western Australia. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Vol. 7, p. 99-108.

Remigio, F. 2012. Domos, diatremas y piroclastos del complejo volcánico Chucapaca, evidencias de sistemas epitermales” Moquegua – Perú. Tesis Grado. Univ. Nacional de Ingeniería. 169p.

Rodríguez, R.; Cuellar, F.; Loza, M.; Palomino, F. & Valdivia, E. 2002. Descripciones del relleno Oligoceno-Mioceno entre las cuencas Tincopalca y Huacochullo, borde oriental de la Cordillera Occidental entre los departamentos de Puno y Arequipa. En: Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, 2002. Trabajos científicos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, tomo 1, p. 265-272.

Torres, D., Cerpa, L., Muñoz, L., Carlotto, V. 2010. Evolución Tectónica-Estructural de una cuenca intramontañosa transpresiva: la cuenca Condorama, Arequipa, Sur del Perú. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes. Sociedad Geológica del Perú, p. 822-825.

Wasteneys, H. 1990. Epithermal Silver Mineralization Associated with a Mid-Tertiary Diatreme: Santa Bárbara, Santa Lucía District, Puno. Peru. Tesis PhD. Queen's University. Kingston, Ontario, Canadá. 528 p.