

ÉPOCAS METALOGENÉTICAS Y TIPOS DE YACIMIENTOS METÁLICOS EN LA MARGEN OCCIDENTAL DEL SUR DEL PERÚ: LATITUDES 14°S - 18°S

Jorge ACOSTA, Jorge QUISPE, Alex SANTISTEBAN & Harmut ACOSTA

INGEMMET, Av. Canadá No. 1470. San Borja. Lima 41.

Email: jacosta@ingemmet.gob.pe , jquispe@ingemmet.gob.pe, asantisteban@ingemmet.gob.pe, hacosta@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas geográficas: 76° - 69° O Longitud Oeste y 14° - 18° S Latitud Sur, abarca parte de las regiones políticas de Tacna, Moquegua, Arequipa, Ica, Puno y Ayacucho. Geomorfológicamente la zona comprende la Cordillera de la Costa, Piedemonte Andino, Flanco Pacífico de la Cordillera Occidental y Cordillera Occidental. Las elevaciones van desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm. La geología está conformada por unidades del Precámbrico y Paleozoico en la Costa y Mesozoico y Cenozoico en la Cordillera Occidental y Altiplano.

EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA Y MAGMATISMO ASOCIADO

Las rocas más antiguas del Complejo Basal de la Costa forman el basamento y corresponden a gneises y granitos que forman el macizo de Arequipa en la Cordillera de la Costa, las cuales se acrecionaron al margen occidental de Gondwana en el Proterozoico tardío (Kraemer et al., 1995. En Zappettini et al., 2001). La edad de las rocas metamórficas es de 1 900 Ma y su edad de metamorfismo varía entre 1200 y 970 Ma (Wasteneys et al., 1995; Martignole & Martelat, 2003. En Pino et al., 2004).

En el Flanco Pacífico de la Cordillera Occidental el Devónico – Carbonífero inferior está representado por los sedimentos clásticos de la Fm. Machani, Grupo Ambo y rocas volcánicas básicas de la Fm. Junerata del Pensilvaniano. Durante el Jurásico inferior y Cretácico inferior, la Cordillera de la Costa registra cuatro eventos intrusivos desde el Jurásico inferior (~185 Ma) hasta el Cretáceo inferior (~95 Ma) (Clark et al., 1990). En el jurásico inferior, se registra también actividad magmática submarina de la Fm. Chocolate (~185-150 Ma; Boily et al., 1984. En Clark et al 1990). A fines del Cretácico inferior y durante el Cretácico superior, se emplazó el Batolito de la Costa (Pitcher, 1985) y entre el Cretácico superior y Paleoceno se depositaron rocas volcánicas andesíticas del Grupo Toquepala (59-70 Ma; James et al., 1974; Sébrier et al., 1983. En Clark et al, 1990).

En el Piedemonte Andino se encuentran tobas riolíticas, domos riódacíticos, estratovolcanes e intrusivos del Paleoceno-Eoceno inferior (63-55 Ma; Benavides-Cáceres, 1999) y el Grupo Moquegua del Eoceno medio con secuencias sedimentarias continentales de antearco controladas por el sistema de fallas Incapuquio (Sempere et al., 2004). En el Oligoceno superior-Mioceno inferior grandes volúmenes de ignimbritas riódacíticas alcanzaron el Océano Pacífico.

Las rocas aflorantes en la Cordillera Occidental están constituidas principalmente por rocas volcánicas e intrusivos sub-volcánicos, con edades entre el Oligoceno y Plioceno. Las rocas volcánicas composicionalmente varían desde andesitas basálticas a riolitas. Presentan una afinidad geoquímica calcoalcalina con alto potasio y posiblemente depositadas entre los 30-17 Ma y 14-3 Ma (Schneider, 1987; Gardeweg y Ramírez, 1987; Coira et al., 1993; Kay et al., 1999; García et al., 2000. En Zappettini et al., 2001).

EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL Y MAGMATISMO RELACIONADO CON EVENTOS HIDROTÉRMICOS

En el sur del Perú se han identificado seis sistemas regionales de fallas NO-SE (Figura 3), los cuales son: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo, Sistema de Fallas Nazca-Ocoña, Sistema de Fallas Cincha-LLuta, Sistema de Fallas Incapuquio, Sistema de Fallas Caylloma-Condoroma, Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y el Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri.

El Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo se encuentra en la costa y pasa por Ica, Arequipa y Moquegua. En Ica recibe el nombre de Falla Treinta Libras. Inicialmente se comportó como una falla transcurrente dextral y posteriormente como una normal. Esta falla controló el magmatismo durante el Jurásico – Cretácico inferior y se manifiesta como un rift o enjambres de diques (Injoque, 2001). El Sistema de Fallas Incapuquio (SFI) habría estado activo como un sistema normal en el Jurásico inferior durante un proceso de *rifting* (Pino et al., 2004) y posteriormente se comportó como un sistema transcurrente sinistral con una extensión mayor a 400 km (Jacay et al., 2002) que pasa por Tacna Moquegua y Arequipa. El Sistema de Fallas Cincha-LLuta se encuentra entre Arequipa y Ayacucho y se comportó como un sistema transtensivo en el Cretácico inferior, con movimientos dextrales durante el Cretácico superior – Paleoceno. En el Eoceno se comporta como un sistema sinistral con componentes inversos (Romero et al., 2002). Los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri son estructuras heredadas del Permo-Triásico que se encuentran entre Puno y Cusco. En el Mesozoico se comportaron como sistemas transcurrentes normales, en el Paleógeno-Neógeno fueron sistemas transcurrentes inversos y en el Cuaternario muestran una configuración en escalera (Carlotto, 1998; en Carlotto et al., 2005).

Los sistemas de fallas se encuentran delimitando seis dominios geotectónicos (Figura 3): Nazca-Ocoña, Cincha-LLuta-Ilo, Puquio-Caylloma-Incapuquio, Abancay-Condoroma, Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri. Estos dominios geotectónicos se caracterizan por tener rocas de cierta edad y facies, también pueden reflejar niveles de erosión que exponen yacimientos tipo pórfido (nivel profundo) o sistemas epitermales (nivel somero).

En la Cordillera de la Costa (Tacna-Moquegua-Arequipa) se ha registrado hasta cuatro eventos intrusivos (Figura 1) desde el Jurásico inferior (~185 Ma) hasta el Cretáceo inferior (~95 Ma) (Clark et al 1990). Solo los tres últimos eventos están relacionados a la mineralización (Figura 1 y 2) de pórfidos de Cu-Mo (160-156 Ma) y óxidos de Fe-Cu-Au (145 Ma y 105-100 Ma). Los intrusivos y los depósitos minerales se encuentran en estructuras NO-SE del Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. Esto se puede distinguir principalmente en los prospectos tipo IOCG en Licona y Rosa María, así como en los pórfidos de Cu-Mo Tía María (Cachuyo) y La Llave, entre las latitudes 17° -18°S. Existen otras estructuras de rumbo NE-SO asociadas al Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo entre Tacna y Moquegua, donde se encuentran los yacimientos IOCG Hierro Morrito, Cerro Pelado y el pórfido Cu-Mo El Yaral en la Cordillera de la Costa. Estos yacimientos se encuentran en el Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo En el departamento de Ica, entre los 14°-16°S, el Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo, localmente representado por la Falla Treinta también ha controlado la mineralización de Marcona y Mina Justa (164-150 Ma) y Hierro Acarí (109 Ma) en el Dominio Geotectónico Nazca-Ocoña.

En el Flanco Pacífico de la Cordillera Occidental se registraron cinco eventos intrusivos (Figuras 1 y 2) desde el Cretáceo superior (~80 Ma) hasta el Eoceno medio (~40 Ma) (Clark et al., 1990; Zweng & Clark, 1995). Estos eventos están relacionados al Sistema de Fallas Incapuquio, entre los 16° y 18°S, que también controló la mineralización de los pórfidos de Cu-Mo Angostura (68 Ma) y Zafranal durante el Cretácico superior. No obstante, este sistema fue más importante, durante el Paleoceno-Eoceno, en la génesis de grandes pórfidos de Cu-Mo como Cuajone, Toquepala y Quellaveco dentro del Dominio Geotectónico Puquio- Caylloma-Incapuquio así como de Cerro Verde y Chapi. Hacia el NO, entre las latitudes 14°-16° S, los sistemas de fallas Cincha-LLuta y Nazca-Ocoña delimitan el Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo, que se caracteriza por tener yacimientos del Cretácico superior tipo pórfidos de Cu-Mo, depósitos de oro y polimetálicos relacionados con el Batolito de la Costa (Figura 1). Los pórfidos Cu-Mo del Cretácico superior son yacimientos de menor tonelaje comparados con los del Paleoceno-Eoceno y entre los proyectos más importantes destacan: Lara y Puquio. Existen otros prospectos de pórfido-skarn de Cu como: Huaracumi, Alondra, Marcahui, Durazno, Agua Verdes, Cuco y Tibillos.

Hacia la Cordillera Occidental y Altiplano el magmatismo es más joven y se registran cuatro eventos intrusivos entre el Oligoceno (~30 Ma) y el Mioceno (~6 Ma). Estos eventos están asociados a tres Sistemas de Fallas: Caylloma-Condoroma, Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri, donde

los dos últimos sistemas controlaron el magmatismo potásico alcalino desde el Oligoceno (Carlotto et al., 2005). Estos sistemas de fallas habrían controlado en parte la mineralización de los yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal. Los sistemas de fallas se encuentran delimitando tres dominios geotectónicos: Puquio-Caylloma-Incapuquio, Abancay-Condoroma y Cusco-Lagunillas-Mañazo. En el Dominio Puquio-Caylloma-Incapuquio, cerca a los 14°S de latitud (Ayacucho) se encuentra la edad más antigua de mineralización de los depósitos epitermales Au-Ag. Esta edad corresponde al yacimiento Antapite (26.34 – 25 Ma). Sin embargo, en entre las latitudes 14°30' y 15°30' S (Ayacucho y Arequipa) se distinguen dos periodos de mineralización de yacimientos epitermales de Au-Ag entre 18.1 - 13.48 Ma y 5.4 - 1.0 Ma donde destacan los depósitos de Selene, Poracota, Chipmo, Arcata, Palla Palla y Ccarhuaraso. Más al sur, entre Puno y Moquegua, se alojan yacimientos polimetálicos con superposición epitermal y depósitos epitermales Au-Ag del Mioceno. Hacia el SE, en la frontera Moquegua-Puno, el Sistema de Fallas Condoroma-Caylloma controló la mineralización epitermal de alta sulfuración en Tucari y Santa Rosa entre los 7.16-4.61 Ma.

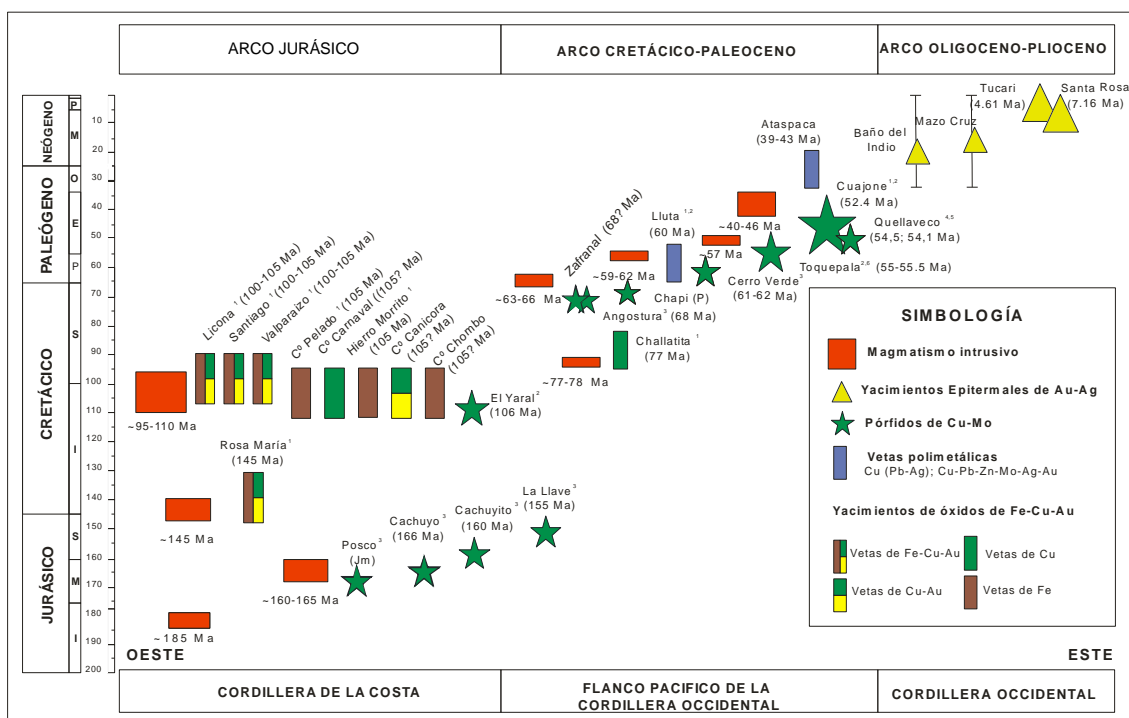


Figura 1. Relación espacio-tiempo entre los tipos de yacimientos y magmatismo asociado. entre las latitudes 16 – 18°30' S. Datos geocronológicos para la mineralización hipógena: 1= Clark et al., 1990; 2 = Clark, 2003; 3 = Quang, 2005; 4 = Estrada, 1975; 5 = Minera Quellaveco, S.A. (no publicado); 6 = Zweng & Clark, 1995.

FRANJAS METALOGENÉTICAS

Los depósitos metálicos en el sur del Perú se presentan en diferentes tipos y están distribuidos espacialmente dentro de dominios geotectónicos, los cuales están delimitados por sistemas de fallas regionales que han controlado el tipo de mineralización en épocas particulares. De este modo, se ha definido doce franjas metalogenéticas (Figura 3):

- Franja de depósitos de Cu-Fe-Au del Jurásico medio–superior.
- Franja de pórfidos de Cu del Jurásico medio–superior.
- Franja de depósitos de Cu-Fe-Au del Cretácico inferior.
- Franja de depósitos de Au-Cu-Pb-Zn relacionados al Batolito de la Costa del Cretácico Superior.
- Franja pórfidos de Cu-Mo del Cretácico Superior.
- Franja de pórfidos de Cu-Mo del Paleoceno
- Franja de pórfidos de Cu-Mo del Eoceno.
- Franja de depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos Paleoceno-Eoceno.
- Franja de epitermales de Au-Ag del Oligoceno.

Franja epitermal de Au-Ag del Mioceno.

Franja de depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno

Franja de epitermales de Au-Ag del Plioceno.

Las franjas metalogenéticas representan épocas de mineralización que se extienden a lo largo de estructuras y litologías que han favorecido la mineralización de depósitos particulares. De esta manera, se pueden encontrar diferentes franjas metalogenéticas dentro de dominios geotectónicos, los cuales se caracterizan por estar formados por unidades litológicas de cierta edad y estar limitados por grandes sistemas de fallas.

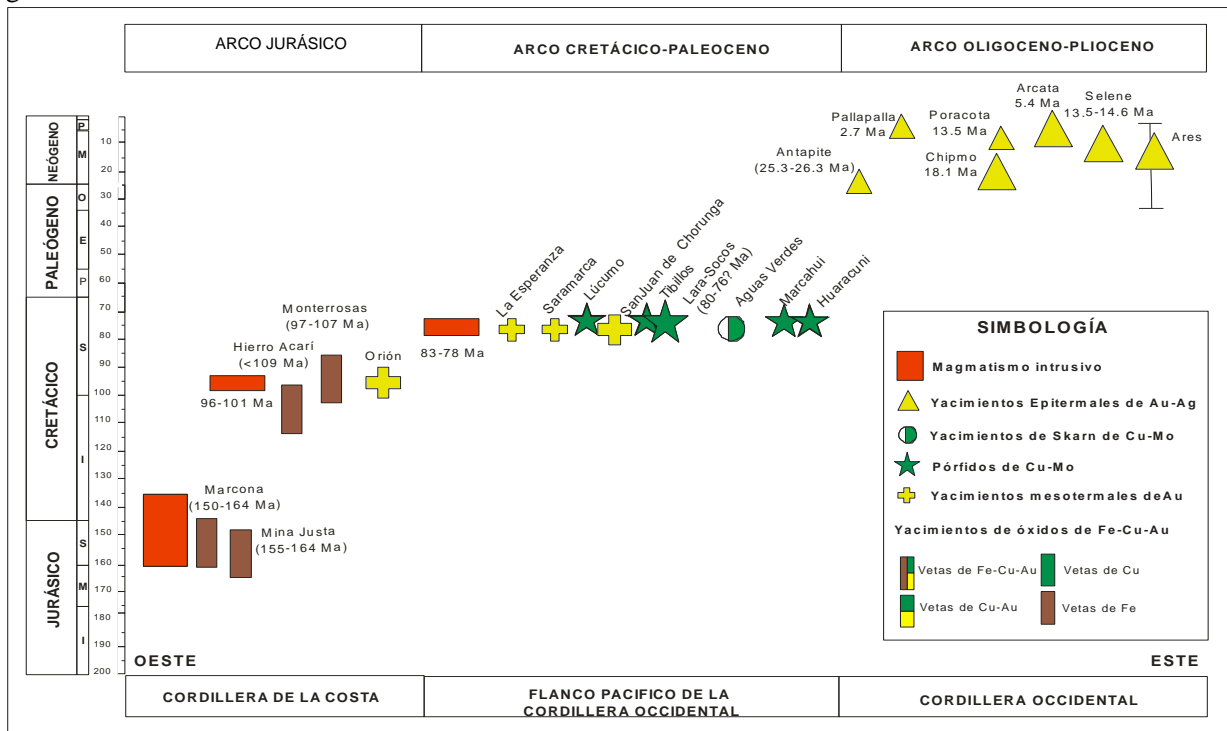


Figura 2. Relación espacio-tiempo-tipo de yacimiento entre las latitudes 14°S- 16°S.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

Los dominios geotectónicos de Nazca-Ocoña y Cincha-LLuta-Ilo están formados por unidades volcánicas-sedimentarias del Jurásico-Cretácico, donde los sistemas de fallas Ica-Islay-Ilo, Cincha-LLuta e Incapuquio controlaron la sedimentación, magmatismo y formación de yacimientos tipo IOCG, pórfidos de Cu-Mo y depósitos de Au-Cu-Pb-Zn relacionados al Batolito de la Costa durante 3 épocas metalogenéticas entre el Jurásico medio y el Cretácico superior (Figura 3). El origen de los depósitos IOCG y pequeños pórfidos de Cu-Mo coincide cuando existía una corteza extendida y caliente. El origen de estos yacimientos se llevó a cabo dentro de regimenes tectónicos de extensión y transtensión bajo un magmatismo de composición basáltica-intermedia durante el Mesozoico medio – tardío (Sillitoe, 2003; Sillitoe & Perelló, 2005).

El dominio Puquio-Caylloma-Incapuquio esta formado principalmente por rocas volcánicas que van del Paleoceno al Plioceno. Este dominio presenta cinco épocas metalogenéticas. La formación de grandes pórfidos de Cu-Mo y ocurrencias polimetálicas durante el Paleoceno-Eoceno estuvo controlada por el sistema de fallas Incapuquio. Sin embargo, a pesar de que el control estructural fue decisivo para la ubicación y geometría de los pórfidos de esta edad, no fue un factor determinante para su origen. En su lugar se considera que el extremo acortamiento y engrosamiento cortical, iniciado desde hace 100 a 120 Ma (Clark et al., 1990), y provisto por estos sistemas de fallas regionales con el consecuente levantamiento y exhumación (Maksaev & Zentilli, 1988, 1999; Maksaev, 1990; Skewes & Holmgren, 1993; Skewes & Stern, 1994; Perrelló et al., 1996; Kurtz et al., 1997; Kay & Mpodozis, 2001. En Sillitoe & Perelló, 2005; Pino et al., 2004) fueron los controles fundamentales de la génesis de los grandes pórfidos de Cu-Mo.

A partir de en adelante, desde el Oligoceno al Plioceno, es importante la mineralización de Au-Ag en depósitos epitermales (Figura 3) donde la mineralización tuvo un control litológico y estructural (Sistema de Fallas Condoroma-Cailloma).

El dominio Cusco-Lagunillas-Mañazo esta formado por unidades volcánicas-sedimentarias del Oligoceno-Mioceno. Parte de este dominio presenta dos épocas de metalogenéticas de depósitos epitermales y polimetálicos, durante el Mioceno y Plioceno. Los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri han controlado la sedimentación, magmatismo y formación de yacimientos desde el Oligoceno.

CONCLUSIONES

En el sur del Perú el magmatismo y los eventos hidrotermales de mineralización han sido controlados por seis sistemas regionales de fallas NO-SE que delimitan seis dominios geotectónicos que contienen épocas de mineralización de diferentes tipos de yacimientos.

Entre la Cordillera de la Costa, Cordillera Occidental y el Altiplano se han registrado 13 eventos magmáticos divididos en tres periodos: Jurásico inferior (~185 Ma) hasta el Cretáceo inferior (~95 Ma) con yacimientos IOCG y pequeños pórfidos de Cu-Mo, Cretáceo superior (~80 Ma) hasta el Eoceno medio (~40 Ma) con depósitos de Au-Cu-Pb-Zn y grandes pórfidos de Cu-Mo y del Oligoceno (~30 Ma) al Mio-Plioceno (~6 Ma) con yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos.

Se han reconocido doce franjas metalogenéticas que representan la edad de mineralización de diferentes tipos de yacimientos. Las edades de mineralización van desde el Jurásico medio-superior al Plioceno e involucran principales elementos económicos de hierro, cobre, oro y polimetálicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta J., 2007. Las inclusiones fluidas como guías de exploración en depósitos de minerales. Ejemplo: El pórfido de cobre Lara. Ayacucho – Perú. Tesis de Maestría. Red DESIR-ALFA. p 97.
- Benavides, A. & Vidal, C. 1999. Exploration and mineral discoveries in Perú. In PacRim'99 Conference, Proceedings, p. 187-195.
- Carlotto V., 2005. Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. Volumen especial de la Sociedad Geológica del Perú. Vol. N°6. p. 102-126.
- Clark A.H., 1990. Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of southeastern Peru. SEG.1990; v. 85; no. 7; p. 1520-1583.
- Injoque J., 2001. Yacimientos de óxido Fe-Cu-Au en el Perú, una visión integral. XI Congreso de Peruano de Geología. Trabajos Científicos. Sociedad geológica del Perú.
- Jacay J., Sempere T., Husson L. & Pino A.; 2002. Structural characteristics of the incapuquio fault system, southern Perú. Fiveth isag, toulouse, france, p. 319-321.
- Orbegozo O., 1973. Estudio geológico del yacimiento minero Aguas Verdes (Ayacucho). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Tomo 43. p. 69-86.
- Pino A., Sempere T., Jacay J. & Fornari M. 2004. Estratigrafía, paleogeografía y paleotectónica del intervalo Paleozoico sup-Cretáceo inf. en el área Mal Paso-Palca (Tacna). Pub. Esp. No. 05 SGP-IRD. p. 15-44.
- Quispe J., 2006. "Características estructurales e isótopos de Plomo de las mineralizaciones auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica (Perú)" Tesis de Maestría. Red DESIR-ALFA. p. 88.
- Romero D., Sanchez A., Cruz M., Ticona P., Rodriguez R. 2002. Transpositional motios along the Cordillera Occidental Coastal beltboundary since the late Cretaceous (southern Peru, 16 S) 5th ISAG. Resúmenes extendidos. p. 541-544
- Sempere T., Jacay J., Carlotto V., Martinez W., Bedoya C., Fornari M., Roperch P., Acosta H., Acosta J., Ibarra I., La Torre O., Mamani M., Meza P., Odonne F., Oros Y., Pino A., & Rodriguez R. 2004. Sistemas truncurrentes de escala litosférica en el sur del Perú. Pub. Especial No. 05 SGP-IRD. p 105-110.
- Sillitoe R. & Perelló J. 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic, deposit types, metallogeny, exploration and discovery. In SEG Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume. p 845-890.
- Zappettini, E., Miranda-Angles, V., Rodriguez, C., Palacios, O., Cocking, R. 2001. Mapa metalogénico de la región fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S y 28°S).

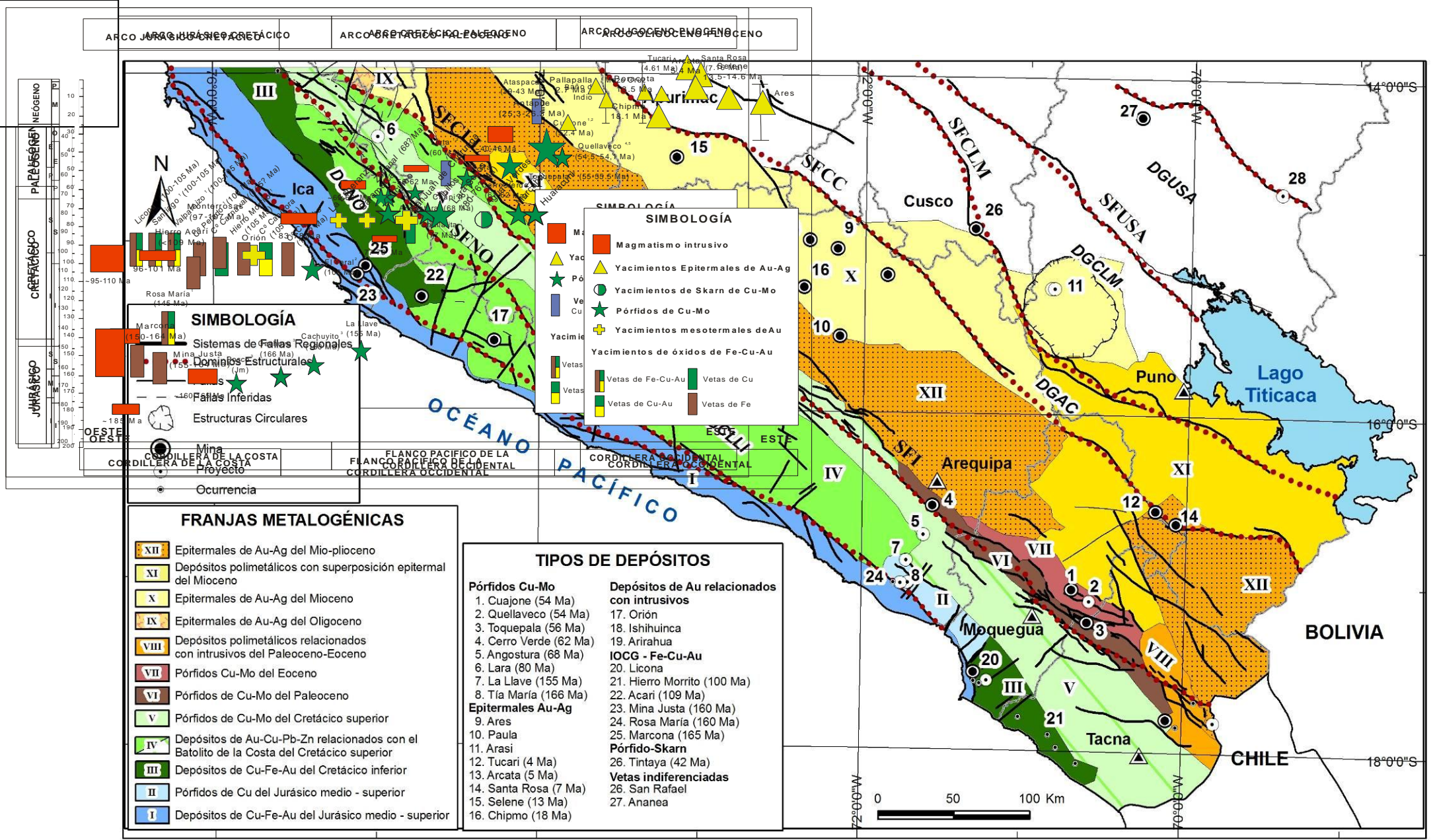


Figura 3. Mapa metalogenético del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFIII: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: Sistema de Fallas Cincha-LLuta. SFI: Sistema de Fallas Icapuquio. SFCC: Sistema de Fallas Caylloma-Condoroma. SFCLM: Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. SFUSA: Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. DGNO: Dominio Geotectónico Nazca-Ocoña, DGCLLI: Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo, DGPCI: Dominio Geotectónico Puquio-Caylloma-Incapuquio, DGAC: Dominio Geotectónico Abancay-Condoroma, DGCLM: Dominio Geotectónico Cusco-Lagunillas-Mañazo y DGUSA: Dominio Geotectónico Urcos-Sicuani-Ayaviri.