

**DOMINIOS GEOTECTÓNICOS: BASADO EN LA TECTÓNICA, GEOLOGÍA,
MAGMATISMO, GEOQUÍMICA, DEPÓSITOS DE MINERALES (Fe-Cu-Au-
Mo) Y GEOFÍSICA**

**GEOLOGÍA
GEOLOGÍA DE YACIMIENTOS MINERALES Y METALOGENIA**

Mirian Mamani, Harmuth Acosta, Juan Pablo Rodriguez, Moises Cutipa, Lourdes Cacya
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Av. Canadá # 1470 San Borja – Lima
Tel: 6189800 anexo 163
www.ingemmet.gob.pe

DOMINIOS GEOTECTÓNICOS: BASADO EN LA TECTÓNICA, GEOLOGÍA, MAGMATISMO, GEOQUÍMICA, DEPÓSITOS DE MINERALES (Fe-Cu-Au-Mo) Y GEOFÍSICA

GEOTECTONIC DOMAINS: BASED ON THE TECTONICS, GEOLOGY, MAGMATISM, GEOCHEMISTRY, MINERAL DEPOSITS (Fe-Cu-Au-Mo) AND GEOPHYSICS

Mirian Mamani^{1,2}, Harmuth Acosta¹, Juan Pablo Rodriguez¹, Moisés Cutipa¹, Lourdes Cacya¹

(1) INGEMMET Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 41, Perú

(2) Abteilung Geochemie, Universität Göttingen, Goldschmidtstrasse 1, D-37077 Göttingen, Alemania, mirian@gwdg.de

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Av. Canadá # 1470 San Borja - Lima
Tel: 6189800 anexo 163
mmamani@ingemmet.gob.pe

Resumen

Hemos construido una base de datos geológica que consiste de: geología integrada, estructuras definidas en campo con mediciones del tipo y edades de actividad, ocurrencias de minerales metálicos, mediciones de aeromagnetometría, geocronología de rocas ígneas y metamórficas (>300 muestras), geoquímica (>500 muestras) de elementos mayores-traza y tierras raras de rocas ígneas y metamórficas, fósiles de las unidades sedimentarias (>50 muestras) y columnas tipo de los principales metalotectos sedimentarios para la Costa Sur del Perú (departamentos de Tacna, Moquegua, Arequipa). En base a la combinación de todos estos datos se ha delimitado dominios geotectónicos de importancia para la exploración de yacimientos, tres estructuras de importancia cortical: 1) Sistema de Fallas Iquipi. 2) Sistema de Fallas Cincha LLuta Incapuquio. 3) Estructura del Alto de la Clemesí.

Abstract

We have built a database consisting of geological, geology integrated structures defined in field measurements of the type and age of activity, occurrences of metallic minerals, measurements aeromagnetometry, geochronology of igneous and metamorphic rocks (300 samples), geochemistry (500 samples) of major elements - trace and rare earth igneous and metamorphic rocks, fossils sedimentary units (50 samples), like columns of the main sedimentary metalotect for the South Coast of Peru (departments of Tacna, Moquegua, Arequipa). Based on the combination of these data has been defined tectonic domains of importance to the exploration of deposits, three major crustal structures: 1) Iquipi Fault System. 2) Cincha - Lluta - Incapuquio Fault System. 3) Structure of the Alto de la Clemesí.

1. Introducción

La complejidad tectónica en el área ha sido materia de mucha discusión durante muchos años (Vicente, 1989; Jenks, 1948; Tosdal, 1981; Pitcher et al., 1985; Clark et al., 1990). Recientemente muchos estudios enfatizan la importancia de la intersección entre sistemas de fallas corticales y lineamientos transversales para la formación de depósitos de minerales, por ejemplo en el norte de

Chile la intersección del lineamiento Calama-El Toro con el sistema de fallas Domeyko esta relacionado a los "Giant" pórfidos de Cu de Chuquicamata y El Abra (Sillitoe, 2010).

Es por esto que el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) propone realizar estudios que proporcionen información desde el basamento (las rocas más antiguas) hasta las más recientes y a partir de estos nuevos estudios en combinación con otras herramientas como la geocronología, geofísica y geoquímica plantear la importancia que tienen las estructuras antiguas en la configuración estructural actual y ubicación de los yacimientos.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es definir nuevas zonas propicias para la exploración en el sur de Perú, a partir de la identificación de fallas corticales y dominios geotectónicos. Esto dentro del marco de trabajo del Proyecto GR1: Geología de la Costa Sur y Vertiente Oeste de la Cordillera Occidental. De la dirección de geología regional del INGEMMET.

3. Desarrollo y Colección de datos

La base de datos consta de shapefiles de geología, tectónica (fallas principales y secundarias), banco de datos de geocronología y termocronología (esta base esta a libre disponibilidad y se puede descargar del GEOCATMIN en el link <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/index.html>) banco de datos de geoquímica de roca total que consiste de elementos mayores, traza y tierras raras (esta base de datos se puede visualizar en el GEOCATMIN en el link <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/index.html>) y estudios petrográficos de las rocas ígneas.

La combinación de estos datos nos ha permitido definir los dominios geotectónicos más relevantes para la costa sur del Perú. Estos dominios están limitados por sistemas de fallas importantes y contienen Super Unidades intrusivas y Unidades volcánicas representativas.

4. Presentación y discusión de resultados

4.1. Dominios Tectónicos

Los principales sistemas de fallas (Fig. 1), la distribución espacial y temporal de las rocas magmáticas, intensidades magnéticas, ocurrencias metálicas relacionadas y evolución geológica ayudaron a definir los dominios geotectónicos de la

Costa Sur y Vertiente Oeste de la Cordillera Occidental.

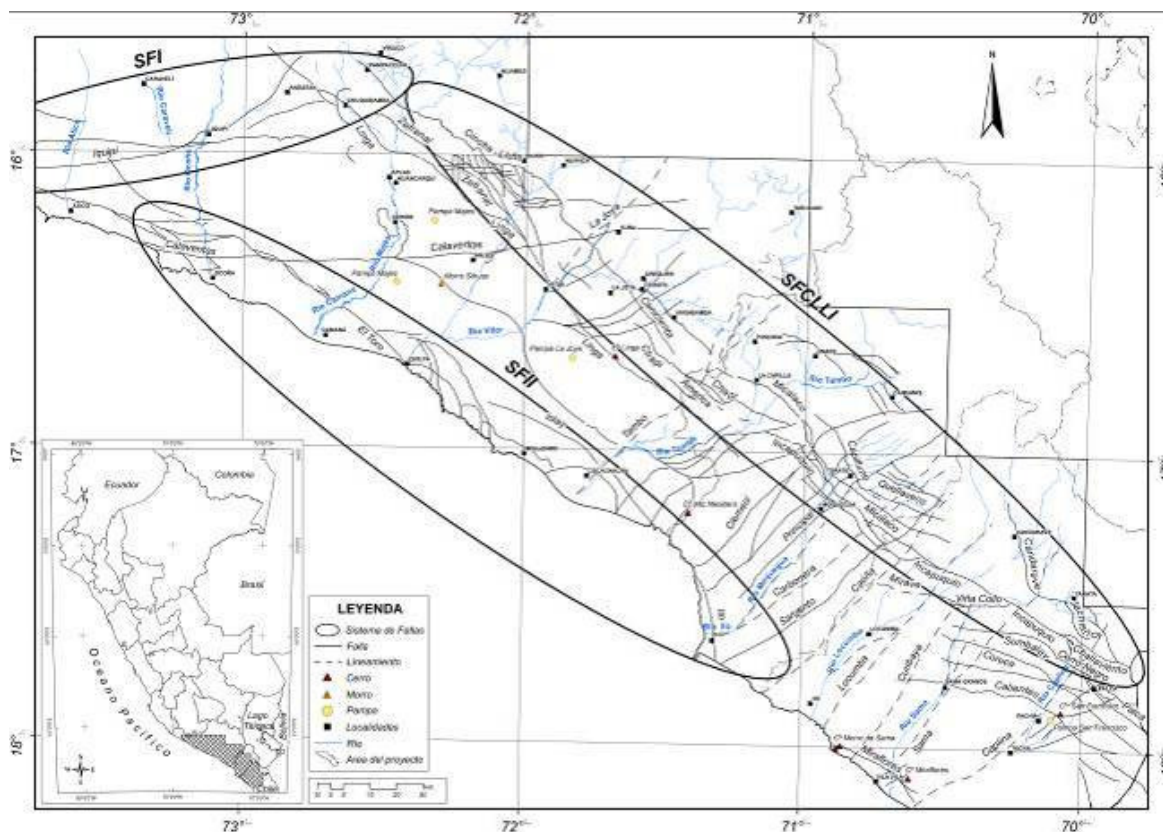


Figura 1. Mapa Estructural para la Costa sur Peruana. Mostrando los principales sistemas de fallas. SFI-Sistema de fallas Iquipi, SFCLLI-Sistema de fallas Cincha Lluta Incapuquio y SFII-Sistema de fallas Islay Ilo.

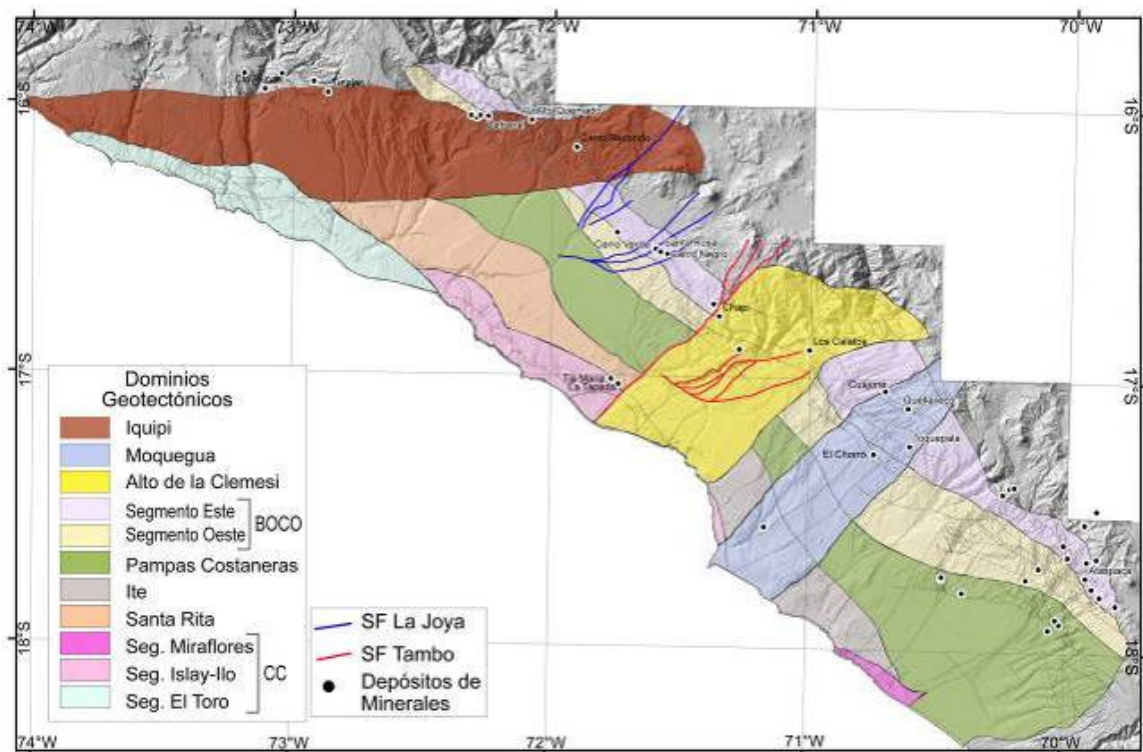


Figura 2. Mapa de Dominios Geotectónicos para la Costa sur Peruana. Estos dominios fueron definidos en base a la geología, estudio de cuencas sedimentarias, sistema de fallas y lineamientos principales mapeados en el campo. BOCO-Borde oeste de la Cordillera Occidental, CC-Cordillera de la Costa y SF-Sistema de fallas.

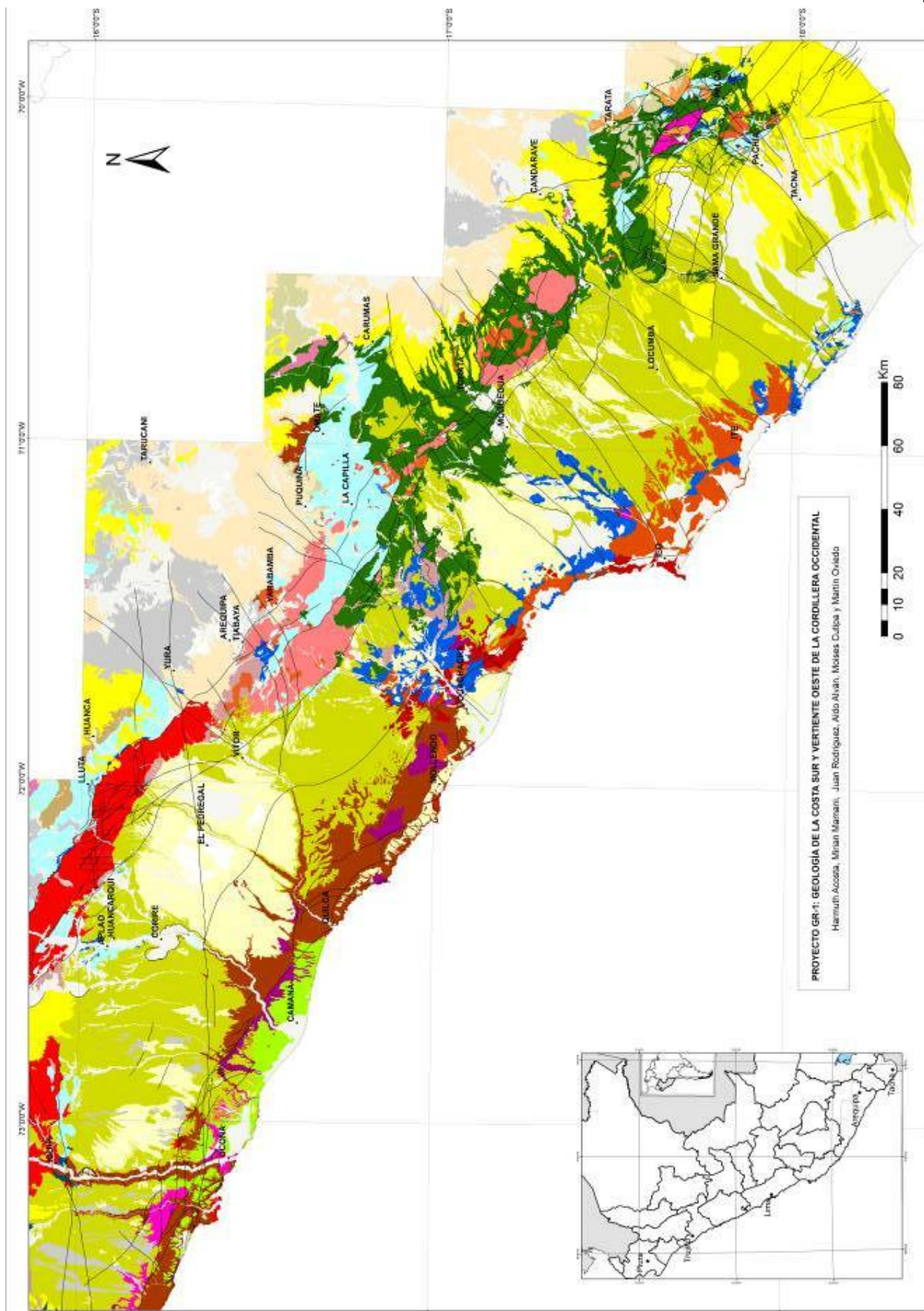


Figura 3. Mapa geológico integrado del Proyecto GR-1: "Geología de la Costa Sur y Vertiente Oeste de la Cordillera Occidental".

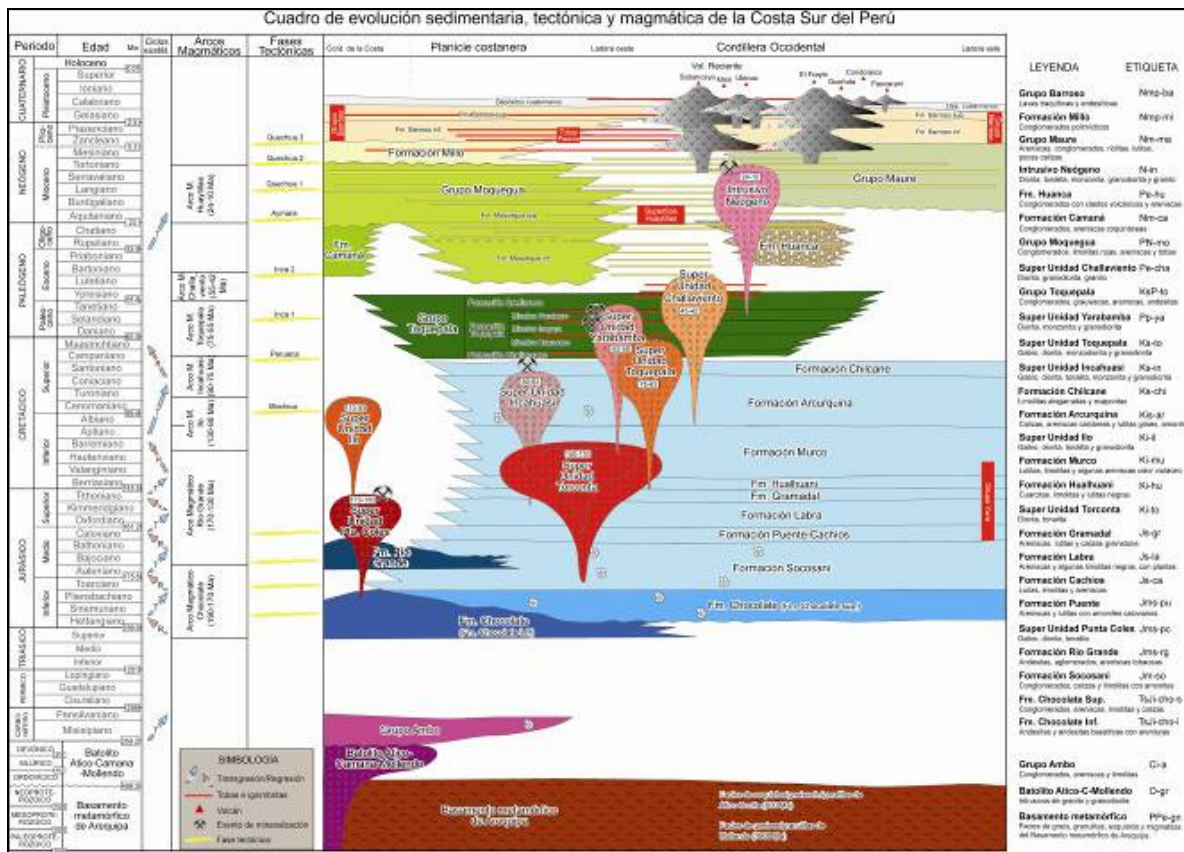


Figura 4. Leyenda de la Figura 3 y cuadro de evolución sedimentaria, tectónica y magmática de la Costa Sur del Perú.

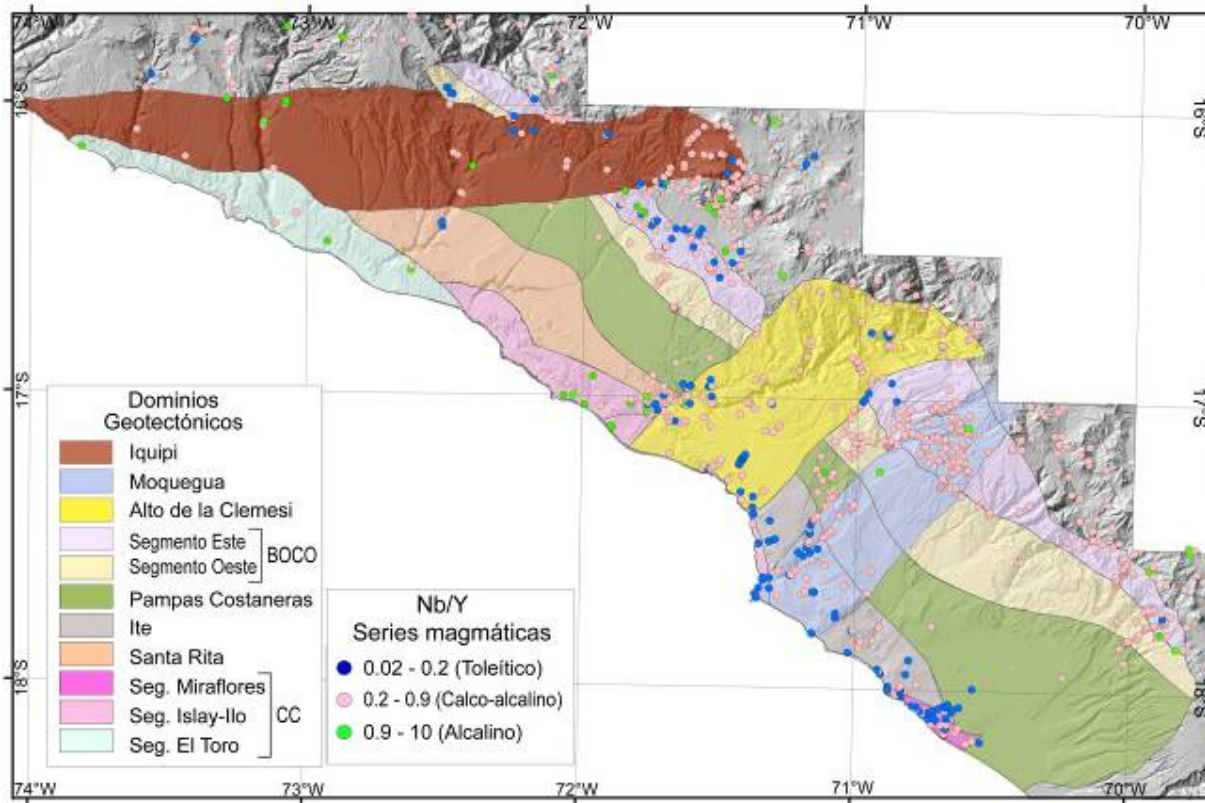


Figura 5. Mapa de Dominios Geotectónicos para la Costa sur Peruana y variaciones espaciales de las razones de Nb/Y. Las razones de Nb/Y sirven para discriminar el tipo de serie magmática de las rocas ígneas. Los datos de Nb/Y corresponden a rocas intrusivas, lavas e ignimbritas.

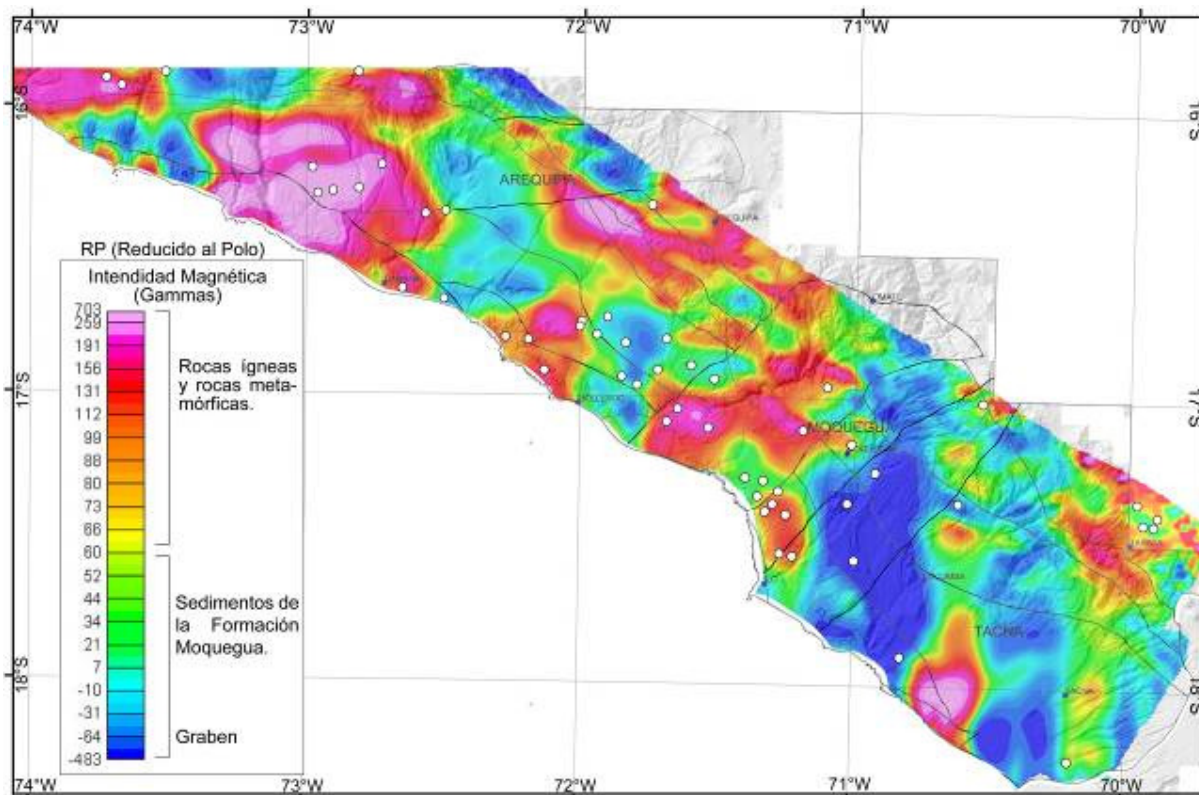


Figura 6. Mapa aeromagnético para la Costa sur Peruana, con valores reducidos al polo (RP) del tipo "Input data". Los círculos con relleno blanco son los puntos usados en la interpolación. En la leyenda se explica las intensidades magnéticas de las unidades geológicas.

4.1.1. Dominio Geotectónico de la Cordillera de la Costa

Este dominio geotectónico se encuentra ubicado entre Chala (Arequipa) y playa Vila Vila (Tacna). Los sistemas de fallas de este dominio presentan una dirección NO-SE del tipo inverso y con buzamiento hacia el SO, afectan a rocas del basamento y están divididos en tres segmentos:

Segmentos de fallas El Toro

Ubicado en la provincia de Camana, se extiende entre el cerro Posto Ruiz, pasando por la carretera Panamericana, quebrada el Toro, río Camana y cerro Redondo.

Estas fallas son de tipo inversa con rumbo N140 y buzamiento promedio 70°SO. Esto en base a que las rocas del basamento Paleoproterozoico (Loewy et al., 2004) cabalgan sobre rocas graníticas de edad ordovicica (Chew et al., 2007).

Geoméricamente estas fallas se presentan formando ligeros arcos con apertura hacia el oeste. Geológicamente esta falla controla el emplazamiento de los granitos ordovicicos y su posterior exhumación. Durante el Carbonífero controla la sedimentación del Grupo Ambo (Pino et al., 2003) entre Ocoña y Camana. Mientras que los afloramientos del Grupo Ambo entre Ocoña y Chala se ubican hacia al N y NE de esta falla. Durante el Cenozoico controla la sedimentación de dos cuencas: hacia el NE la depositación de sedimentos continentales de la cuenca Moquegua y hacia el SO la depositación de sedimentos marinos de la cuenca Camana.

No se ha registrado mineralización relacionada a este sistema de fallas, sin embargo para este trabajo muestreamos algunas vetas al NO de Calaveritas y las concentraciones de Cu llegan a 0.1% y la intensidad magnética al centro de este segmento es alta (Fig. 5 y Fig. 6).

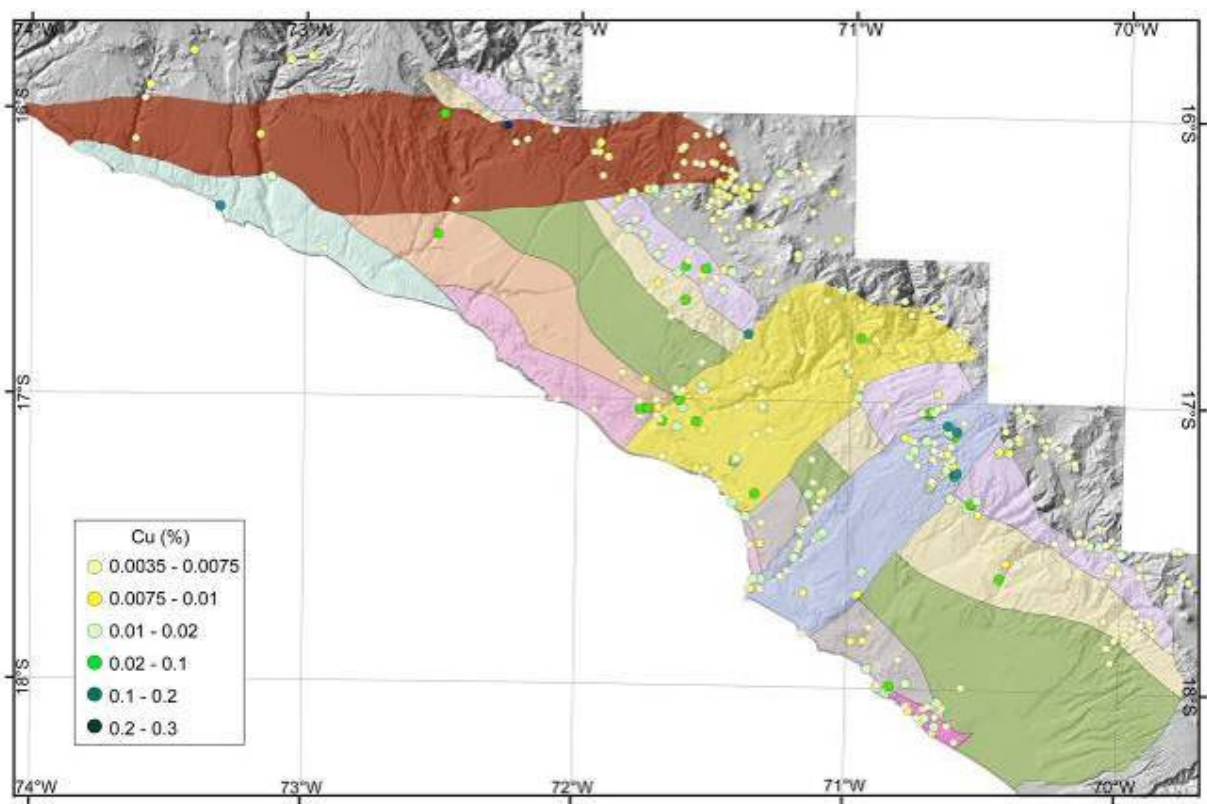


Figura 7. Mapa con los poligonos de los Dominios Geotectonicos de la Figura 2, mostrando la distribución espacial de las concentraciones de Cu (%) en roca total. Las muestras incluyen rocas ígneas y metamórficas.

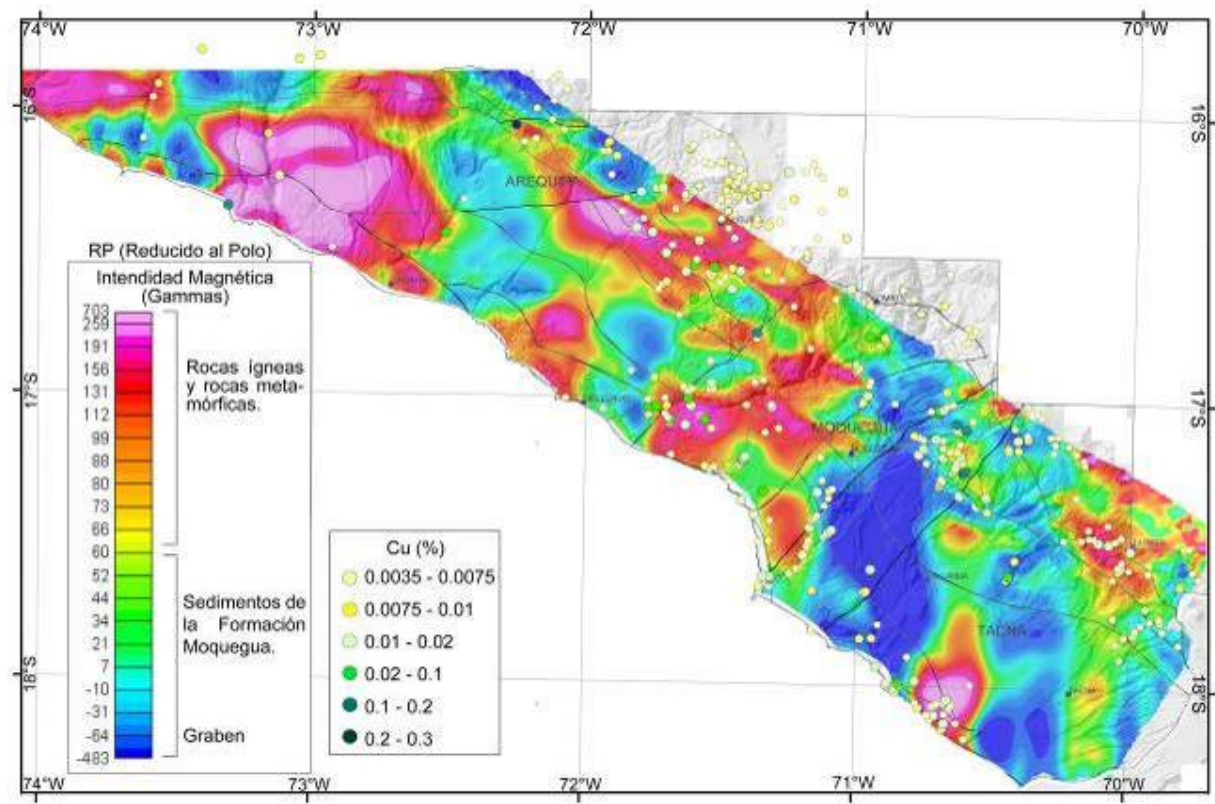


Figura 8. Mapa aeromagnético de la Figura 6 y valores de las concentraciones de Cu (%) en roca total, los valores altos de Cu-Fe y Cu-Mo se correlacionan con los valores de altos de intensidad magnética (Figs. 7, 9, 10). Las áreas donde se tiene mayor volumen de depósitos del Grupo Moquegua se correlacionan con las menores intensidades magnéticas.

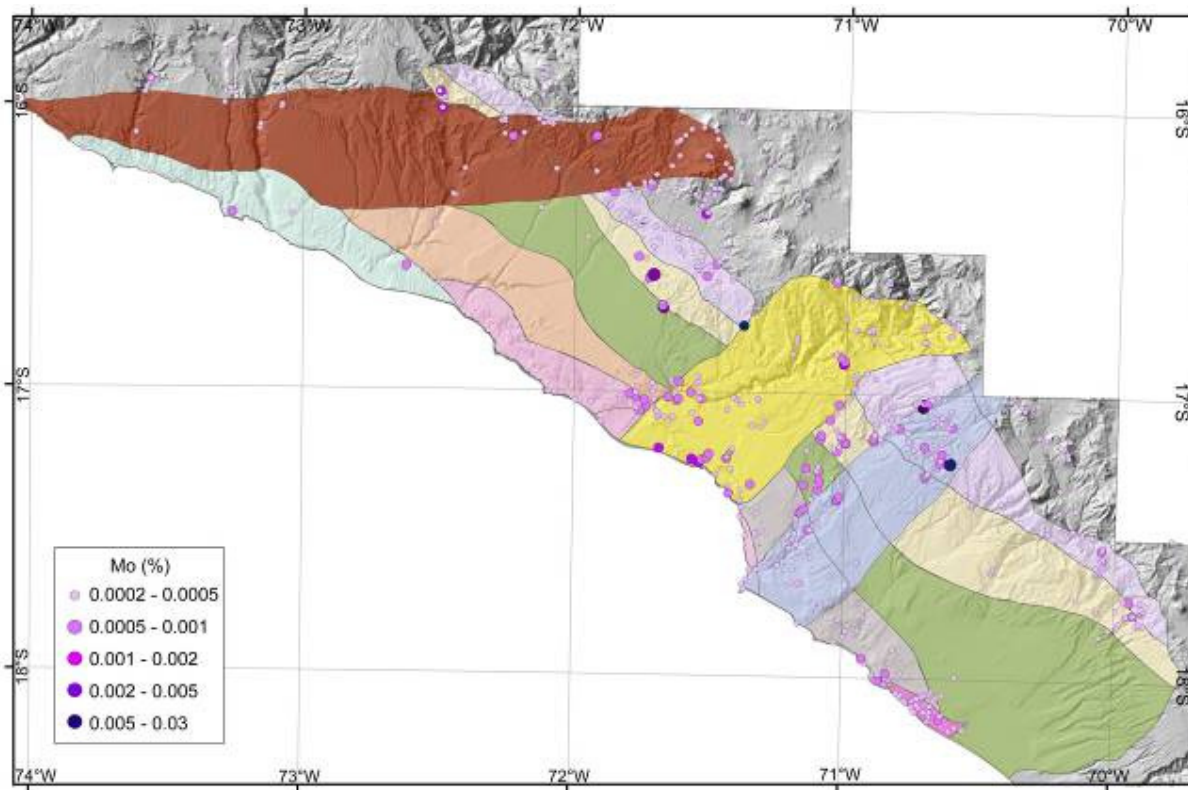


Figura 9. Mapa con los polígonos de los Dominios Geotectónicos de la Figura 2 mostrando la distribución espacial de las concentraciones de Mo (%) en roca total. Las muestras incluyen rocas ígneas y metamórficas.

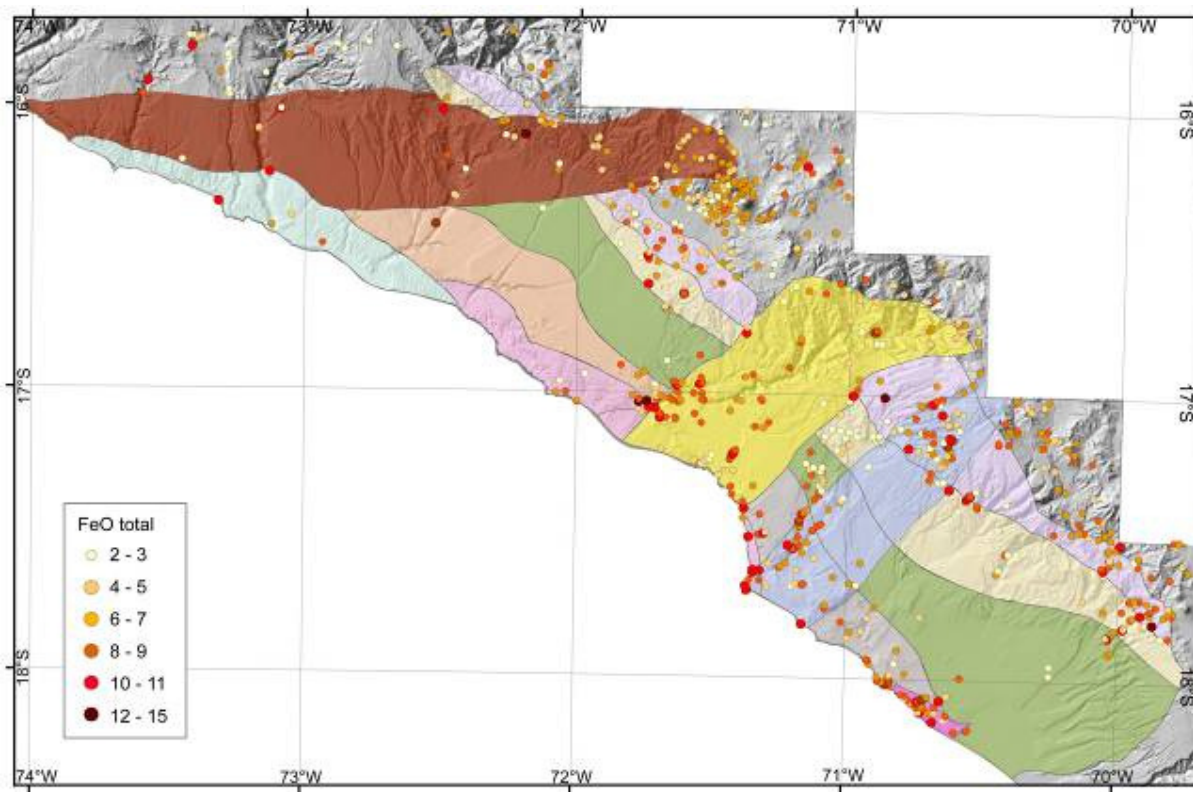


Figura 10. Mapa con los polígonos de los Dominios Geotectónicos de la Figura 2 mostrando la distribución espacial del contenido de FeO total en análisis de roca total. Las muestras incluyen rocas ígneas y metamórficas.

Segmentos de fallas Islay-Ilo-Miraflores

Ubicado en la margen costera por la ciudad de Ilo, se extiende desde la playa El Palo y el poblado de

Pacocha. Las fallas Islay-Ilo son de tipo inversa con rumbo NO-SE y buzamiento promedio 26° O. La falla produce un cabalgamiento de las rocas Proterozoicas (Martignole et al., 2005) sobre sedimentos de la base del Grupo Ambo.

Geologicamente afectan rocas volcano-sedimentarias de la Formación Chocolate inferior del Jurásico Inferior. Estas fallas afectan también a los intrusivos de la Super Unidad Punta Coles (Jurásico medio) y Super Unidad Ilo (Cretácico inferior).

Hacia el sur por el sector de Cocachacra la falla Islay también afecta a rocas volcánicas del Jurásico inferior y controla el emplazamiento de los intrusivos de la Super Unidad Punta Coles.

La falla Miraflores se extiende desde el Morro Sama hasta el extremo SE de la Cordillera de la Costa (Fig. 1), es una importante falla inversa con rumbo NO-SE y buzamiento de 45° hacia el NE, y hace repetir secuencias volcánicas y sedimentarias de la Formación Chocolate inferior y superior. Por la zona de la quebrada del río Sama y cerro Miraflores esta falla adquiere buzamientos entre 20° y 30° hacia el NE, apreciándose a las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Chocolate

inferior cabalgando sobre secuencias sedimentarias de la Formación Socosani y Grupo Yura.

Las vetas de Cu de dirección NO-SE en la zona de Vila Vila posiblemente están relacionados a este sistema de Fallas.

Las épocas de mayor actividad de este sistema de fallas se dieron: 1) en el Triásico superior-Jurásico inferior (205-190 Ma) en base a la edad de los volcánicos Chocolate. 2) en el Jurásico medio-Cretácico inferior (170 – 130 Ma) dando lugar al emplazamiento de los granitoides de la Super Unidad Punta Coles. 3) en el Cretácico inferior (105 - 90 Ma), esto en base a las edades de los granitos de la Super Unidad Ilo que corresponde al evento tectónico Mochica (Benavides et al., 1999).

Los depósitos IOCG de Rosa María y Tía María (Clark et al., 1990) y vetas de Cu con dirección N 150° en la margen izquierda del río Tambo (Fig. 11) están relacionados al sistema de fallas Islay y al sistema de fallas Tambo. La intensidad magnética para estos depósitos es alta (Fig. 6).

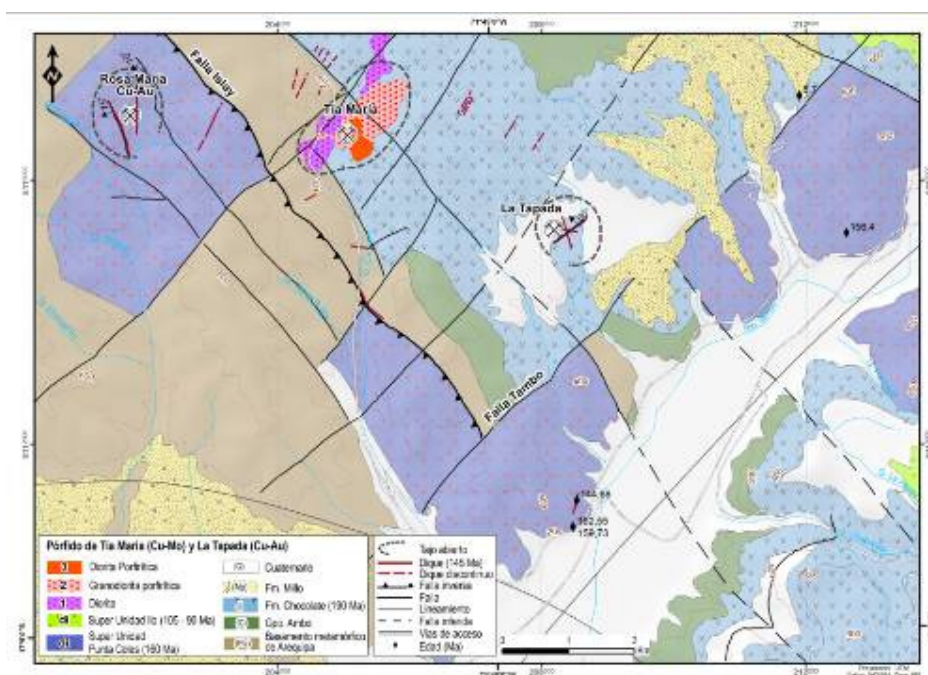


Figura 11. Mapa geológico del prospecto Tia Maria (Cu-Mo), Rosa Maria (Cu-Au) y la Tapada (Cu-Au). Modificado de Mioduchowski (2001).

4.1.2. Dominio Geotectónico de Santa Rita

Este dominio limita hacia el N con el dominio geotectónico de Iquipi, hacia el SO con el dominio geotectónico de El Toro, hacia el NE con el dominio geotectónico de las Pampas Costaneras y hacia el SE con el dominio del Alto de la Clemesi.

En el sector de quebrada del río Majes, este dominio está afectado por fallas de tipo inversa con dirección NO-SE, mientras que en algunos sectores como por ejemplo en las Pampas de Majes se observan fallas de dirección NE-SO. Hacia el NE de este dominio se observa sedimentos del Grupo

Moquegua sobreyaciendo directamente a rocas del basamento metamórfico de Arequipa.

El basamento de Arequipa a lo largo del río Camana (Fig. 1) alberga diques porfíricos con ocurrencias de Cu (0.2 %), asociados a estructuras de dirección NO-SE y E-O.

Cerca al morro Sihuas se han observado diques porfíricos de dirección NO-SE, cerca al límite con el dominio del Alto de la Clemesi se ubica los porfidos de Tía María y La Tapada. Por lo tanto, este dominio podría albergar intrusivos favorables para la formación de pórfidos como los de Tía María (Fig. 11).

La intensidad magnética al NO, parte central y SE del dominio de Santa Rita muestra valores altos (Fig. 6), indicando quizás la extensión de los afloramientos de rocas ígneas y metamórficas ya que muchas de estas rocas en este dominio están cubiertas por los sedimentos del Grupo Moquegua. (Fig. 3).

4.1.3. Dominio Geotectónico de Ite

Ubicado entre los dominios del Alto de la Clemesi, Ilo-Miraflores y Pampas Costaneras. Una característica importante es que este dominio presenta mucho material de cobertura reciente lo que dificulta la identificación de posibles depósitos de minerales. Sin embargo los afloramientos de rocas intrusivas de la Super Unidad Punta Coles e Ite que se pueden reconocer que tienen dirección NE-SO y son paralelas al sistema de lineamientos de Moquegua. Además la intensidad magnética con valores altos en el área de los afloramientos de estas Super Unidades muestra la misma dirección (Fig. 6).

Cerca al límite con el dominio geotectónico de Miraflores se han identificado depósitos de Cu-Fe relacionados a los intrusivos de Punta Coles, esto en base a los valores altos en el contenido de FeO total (8 a 9) y a las concentraciones altas de Cu (0.02 a 0.1%) en roca total, quizás esta parte del dominio sea favorable para depósitos del tipo IOCG (Fig. 7 y Fig. 10).

4.1.4. Dominio Geotectónico de Pampas Costaneras

Este dominio se encuentra limitado hacia el SO por el dominio geotectónico de la Cordillera de la Costa, hacia el NE por el Dominio Geotectónico del borde Oeste de la Cordillera Occidental y hacia el N-NO por el sistema de Fallas Iquipi.

Dentro de este dominio no se observan fallas importantes debido a la acumulación de grandes volúmenes de sedimentos de la Cuenca Moquegua (Decou et al., 2011), pero hacia los límites de los afloramientos correspondientes a rocas Jurásicas y Cretácicas de la cuenca Arequipa se estima la existencia de fallas importantes que limitaron esta cuenca. Además en el sector de Cocachaca situado al NE de la mina Tía María registramos fallas de dirección NO-SE del tipo inversa y buzamiento al NE, el cual parece haber controlado el emplazamiento de las Super Unidades intrusivas de Punta Coles e Incahuasi. La composición magmática de estas Super Unidades va desde toleítica a calco-alcalina (Fig. 5).

Entre la zona de Punta Colorada (Río Majes) y la base militar área de La Joya se observan afloramientos de las rocas del Basamento Metamórfico de Arequipa expuestas a la superficie abarcando grandes áreas y se observa escasos sedimentos del Grupo Moquegua, quizás se deba a que exista una importante falla inversa con buzamiento al SO. Shildgen et al. (2009) menciona también indicios de esta falla por debajo de los sedimentos del Grupo Moquegua en la zona de Pampa de Majes.

No se ha registrado mineralización relacionada a este sistema de fallas. Las intensidades magnéticas

para este dominio son bajas y quizás expresan la extensión espacial de la cuenca Moquegua (Fig. 4).

4.1.5. Dominio Geotectónico del Borde Oeste de la Cordillera Occidental

Se ubica desde el límite fronterizo con Chile hasta la intersección con el sistema de fallas Iquipi. Esta compuesta por lineamientos importantes con longitud de 350 km y un ancho aproximado de 80 km, estas estructuras son casi paralelas y tienen una dirección NO-SE y en conjunto se denominan sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio. Cada lineamiento se caracteriza por sus variaciones temporales y espaciales, regionalmente las fallas más antiguas se ubican hacia el oeste y las fallas más jóvenes hacia el este.

Sistema de Fallas Cincha Lluta Incapuquio

Este importante sistema de fallas es una estructura en flor (Fig. 12), hacia el segmento SO está conformado por la falla Calientes, Linga e Incapuquio. El eje de este sistema se ubica entre las fallas Incapuquio y Micalaco. El segmento NE está compuesto por las fallas Micalaco, Cincha Lluta y Quellaveco. Los magmas que afloran al SE de este dominio principalmente tienen composición calco-alcalina y los magmas que afloran al NO de este dominio tienen composición toleítica y calco-alcalina (Fig. 5).

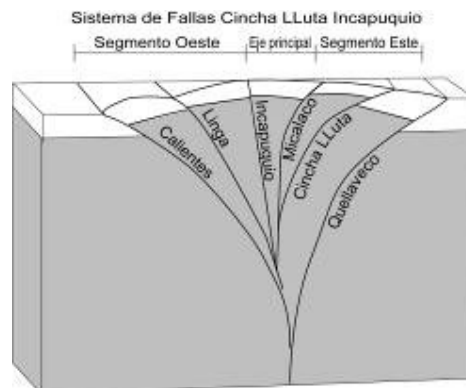


Figura 12. Modelo esquemático de las fallas que forman el Sistema de Fallas Cincha Lluta Incapuquio.

4.1.5.a. Segmento Oeste

Falla Calientes

Ubicada al borde NO del sistema de fallas Incapuquio y tiene una longitud de 80 km. Es de tipo inverso con componente sinistral y buzamiento entre 65° a 68° E.

Actualmente esta falla se considera activa por estar relacionada a movimientos sísmicos además de estar afectando sedimentos aluviales del Holoceno. Observaciones de campo muestran los sedimentos del Grupo Yura están en estratos plegados y fallados cerca de esta falla, además a lo largo de la falla se tiene una alineación de intrusivos de la Super Unidad Yarabamba y pequeños stocks correspondientes al arco magmático de Toquepala. Por lo tanto, sugerimos que esta falla estuvo activa

entre (~82-75 Ma) y correspondería a la fase tectónica Peruana (Benavides, 1999). Existe una relación entre la falla Calientes y los depósitos de minerales mesotermales a epitermales generados por un stock granodiorítico datado en 78.18 ± 4.82 Ma (Clark et al., 1990).

Falla Linga

Se extiende desde el Río Tambo hasta el megadeslizamiento de Chuquibamba y tiene una longitud aproximada de 200 km. La característica de esta falla es que no se observa toda su extensión. Una extensión corta de 20 km se ha determinado en el cuadrángulo de La Joya por el cerro Linga, aquí esta falla se caracteriza por ser inversa y buzamiento hacia el NE donde hace cabalgar rocas

de la Super Unidad Incahuasi (90-80 Ma) sobre sedimentos de la Formación Chocolate inferior (205-190 Ma) y Grupo Yura (190-145 Ma). Otro segmento de 25 km se observa en la parte NO del cuadrángulo de Aplao, donde la falla Linga hace cabalgar granodioritas de la Super Unidad Torcontá (136 Ma) sobre sedimentos de la Formación Chocolate y Grupo Yura.

En el sector NO de Aplao Durante el Jurásico medio esta falla fue de tipo normal y permitió el emplazamiento de los granitoides del arco magmático de Río Grande (170-136).

Posteriormente en el Cretácico superior al sur de la mina Cerro Verde permite el emplazamiento de las dioritas de la Super Unidad Incahuasi (90-80 Ma). (Fig. 13).

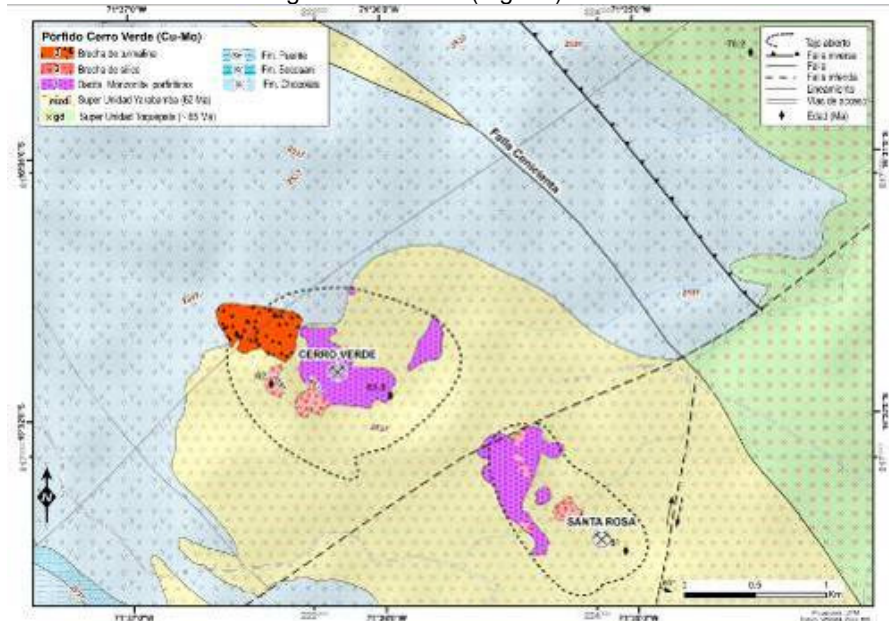


Figura 13. Mapa Geológico del pórfido de Cerro Verde (Cu-Mo) y Santa Rosa (Cu-Mo), después de Quang et al. (2003).

Los depósitos del prospecto Zafranal sur (aprox. 80 Ma) estarían relacionados a la intersección entre la

falla Linga y el sistema de fallas del sistema Iquipi (Fig. 14).

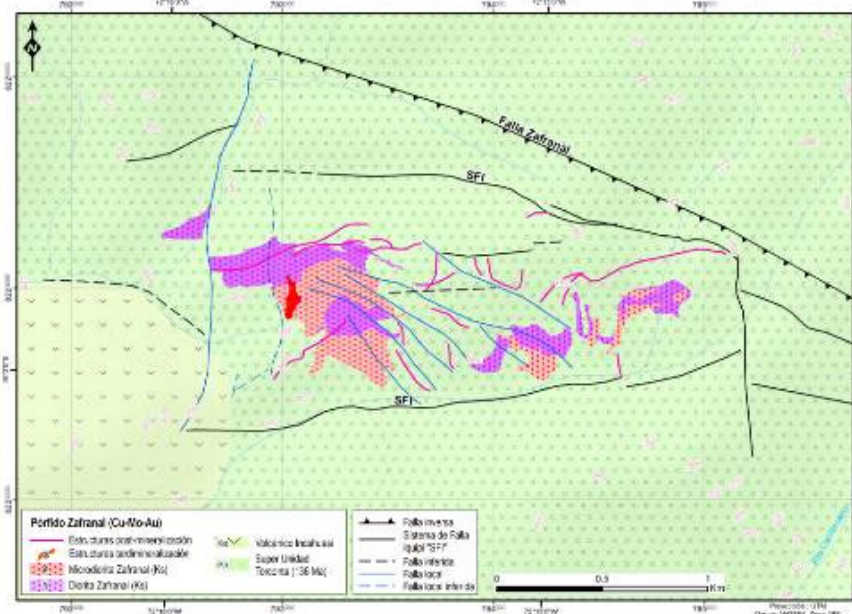


Figura 14. Mapa Geológico del pórfido de Zafranal (Cu-Mo-Au) y alrededores. Modificado de Mamani & Rivera (2011).

Falla Incapuquio (eje del dominio)

Tiene una extensión de 220 km se la puede seguir desde el sector de Palca limite con Chile hasta el NO de la mina Chapi. La característica principal es su ubicación intermedia dentro del sistema de fallas Cincha Lluta Incapuquio. A lo largo de su recorrido se puede determinar que esta falla es del tipo inversa con componente de rumbo sinistral y buzamiento promedio de 70° hacia NE. Por el segmento de Pachia Palca esta falla hace aflorar rocas antiguas del basamento de Arequipa poniendolas sobre las rocas volcánicas del Grupo Toquepala. Entre la mina Toquepala y la ciudad de Moquegua esta falla expone a rocas intrusivas de la superunidad Toquepala (66-63 Ma), los cuales se encuentran alineados a esta estructura principal. Entre la ciudad de Moquegua y la mina Chapi la traza de esta falla es notoria y sigue su dirección NO-SE donde también se observan afloramientos de rocas intrusivas asociadas a estas fallas. Por el sector de la mina Chapi la falla Incapuquio se divide en dos segmentos y posiblemente estas fallas se extienden hacia el NO paralela a la falla Linga (Fig. 15)

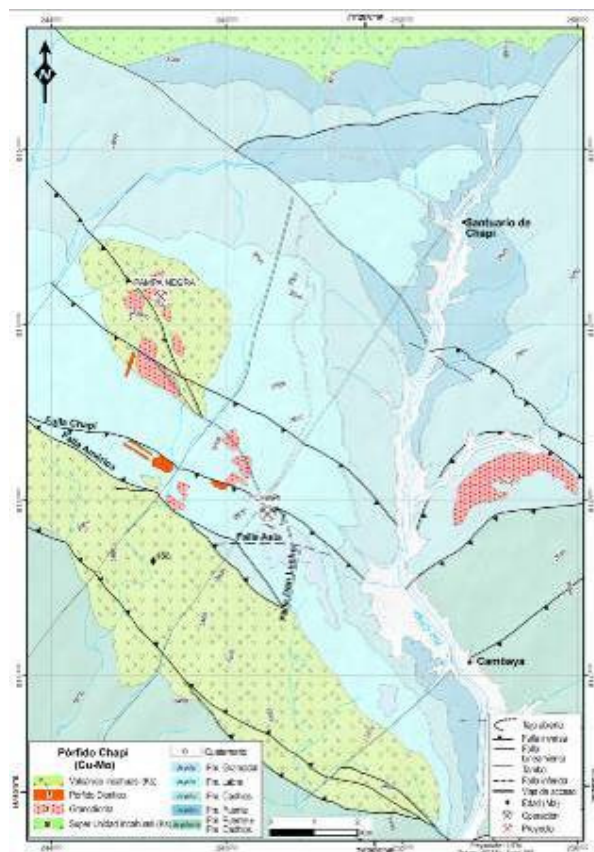


Figura 15 Mapa geológico del Yacimiento Chapi (Cu-Mo). Modificado de Randall (1960) y Medina (2005)

En base al control de las edades de emplazamiento de los intrusivos estimamos que esta falla estuvo activa durante el Cretácico superior (90-75 Ma),

entre el Cretácico superior y Paleoceno favoreció el emplazamiento de rocas de arco magmático de Toquepala (75-55 Ma) y finalmente en el Eoceno sirve como conducto para el emplazamiento de los magmas de la superunidad de Challaviento (55-42 Ma).

En el extremo sur límite con Chile esta falla está relacionada a los depósitos de minerales de Pucamarca (Au), Ataspaca (Cu-Pb-Zn) y otros depósitos polimetálicos. Otros depósitos de minerales relacionados a esta falla son: prospecto el Chorro (Cu-Mo), mina Chapi (Cu-Au) (Fig.15).

Por la posición espacial y edad geológica del pórfido de Zafranal (Fig. 14) esta falla podría extenderse hasta la intersección con el sistema de fallas Iquipi. Entre la zona de La Joya y Huacan esta falla está cubierta por sedimentos Cenozoicos del Grupo Moquegua (Fig. 3)

4.1.5.b. Segmento Este

Falla Micalaco

Se extiende desde el poblado de Curibaya hasta el prospecto Los Calatos aproximadamente tiene una longitud de 120 km. La falla Micalaco prolongándola hacia la frontera con Chile no es notoria pero afloran centros volcánicos del Oligoceno, Mioceno y Pleistoceno que posiblemente estarían alineados sobre esta falla. En el sector de Torata esta falla es inversa y/o actúa como un sobre-escurrimiento que involucra al Grupo Toquepala sobre los sedimentos del Grupo Moquegua. Al NO del cerro Baul esta falla se divide en dos: Una de ellas se une al trazo principal de la falla Incapuquio. La segunda atraviesa el prospecto los Calatos y se divide también en dos brazos, la primera corresponde a la falla Chapi y atraviesa al NE de la mina Chapi (Fig. 15) y al SO de la mina Cerro Verde (Fig. 13). La falla Chapi al N de la mina Chapi se divide y da lugar a la formación de la falla Cenicienta (Fig.1). La intersección de la falla Cenicienta con un lineamiento del sistema de fallas La Joya favoreció el emplazamiento de los pórfidos de Cerro Verde (Cu-Mo) y Santa Rosa (Cu-Mo). (Fig. 13).

En el sector de la mina Toquepala la intersección de la falla Micalaco con la falla Sargento controla el emplazamiento del pórfido de Toquepala (Fig. 16).

En el prospecto Los Calatos la intersección de la falla Micalaco con una de las fallas del sistema de Tambo (Fig. 1) dieron lugar a la formación de pórfido (Fig. 17).

Las fallas Micalaco controla el emplazamiento de las rocas intrusivas de la Super Unidad Toquepala (66-63 Ma) y Yarabamba (62 Ma) y los pórfidos de Cu-Mo-Au datados entre 62 y 55 Ma, por lo tanto, esto indicaría que la mayor actividad de esta falla se dio en el Paleoceno y correspondería a la fase tectónica Inca I.

Falla Cincha Lluta

Se ubica en el extremo NO del sistema de fallas y en este trabajo es el límite de Proyecto, se extiende desde el poblado de Yarabamba y atraviesa la ciudad de Arequipa, el poblado de Cincha Lluta, y finalmente al N de Andamayo cerca de a la

intersección con el río Colca. Esta falla tiene una longitud de 180 km, es del tipo inversa con rumbo aproximado NO-SE y buzamiento 70° hacia el SO. Geologicamente esta falla hace cabalgar rocas

intrusivas de la Super Unidad Torconta (~136 Ma) sobre los sedimentos del Grupo Yura.

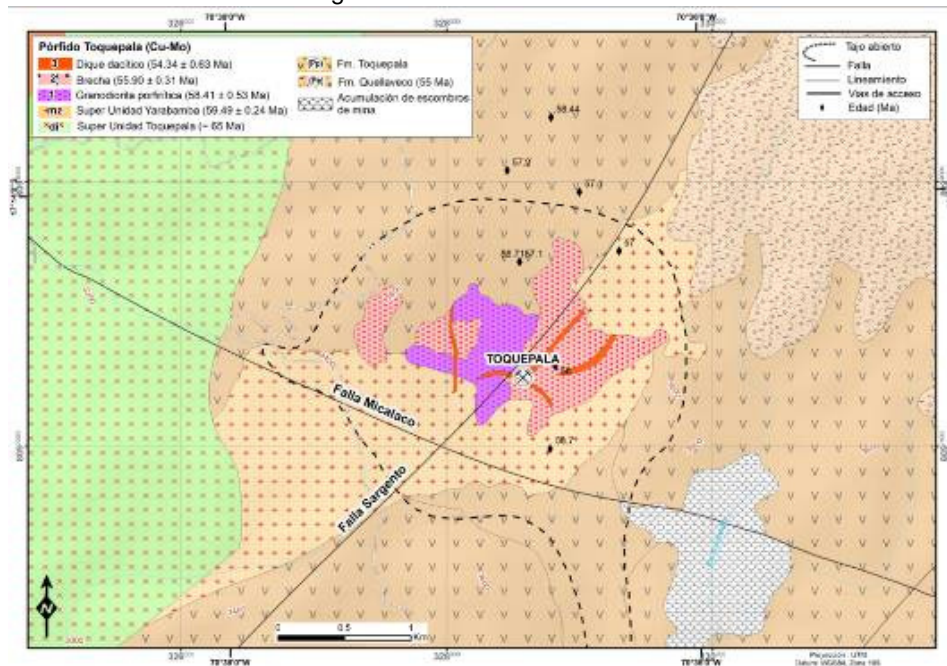


Figura 16 Mapa geológico del yacimiento de Toquepala (Cu-Mo). Modificado de Mattos & Valle (1999) y Zweng & Clark (1995).

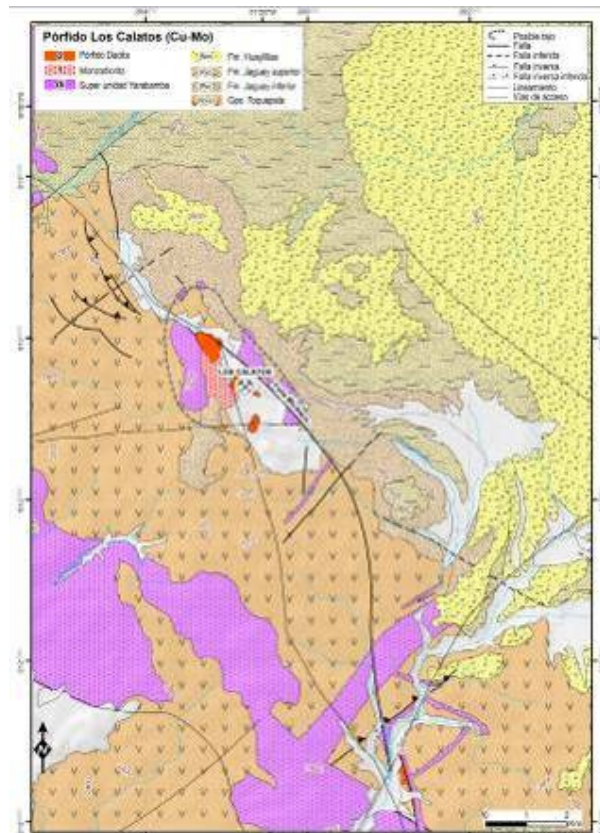


Figura 17 Mapa Geológico del pórfido de Los Calatos (Cu-Mo).

Durante el Jurásico medio al Cretácico inferior esta falla fue del tipo normal y controló el emplazamiento de las rocas intrusivas de arco magmático de Río

Grande (170-130 Ma). En el Cretácico superior (aprox. 82 Ma) esta falla se invierte y pasa a ser del tipo inverso sinistral, este periodo de inversión estuvo relacionado con el emplazamiento de pórfidos como por ejemplo Zafranal (Au-Cu), Alto Quemado (Au-Cu) y otros más en exploración en este momento (Fig. 2). A lo largo de estos intrusivos controlados por el sistema de fallas Cincha Lluta se tiene diques de composición andesítica relacionados a vetas de Au y que cortan a los pórfidos de aprox. 82 Ma, por lo tanto, estimamos que estas vetas tengan una edad de 80 Ma, Cabe mencionar que la dirección de emplazamiento de estas vetas está paralela a la falla Cincha Lluta.

En el Paleoceno la falla Cincha Lluta al norte de la mina Cerro Verde controla el emplazamiento del intrusivo Yarabamba (62 Ma).

Falla Quellaveco

Se ubica al este del poblado de Torata (Fig. 1), tiene una longitud notoria de 30 km. Se trata de una importante falla inversa con movimiento sinistral y buzamiento 85° hacia el NE. Afecta tanto a rocas volcánicas del Grupo Toquepala como a rocas intrusivas de la Super Unidad Yarabamba. En el sector de la mina Quellaveco esta falla afecta a rocas pertenecientes a la superficie Huaylillas además de constituirse como el límite SO de los depósitos volcánicos del arco Barroso. Una característica muy importante es la presencia del cuerpo porfírico de Quellaveco y el pórfido Cuacone relacionadas a esta falla, además su extensión hacia el NO se da mediante una ramificación en tres fallas: La primera que atraviesa al sur de la mina Quellaveco es del tipo inversa sinistral con

buzamiento al NE. La segunda es la falla Quellaveco propiamente dicha. La Tercera denominada localmente en la mina Cuajone como

falla Viña Blanca (Fig. 18) y es del tipo inversa sinistral con buzamiento hacia el SO.

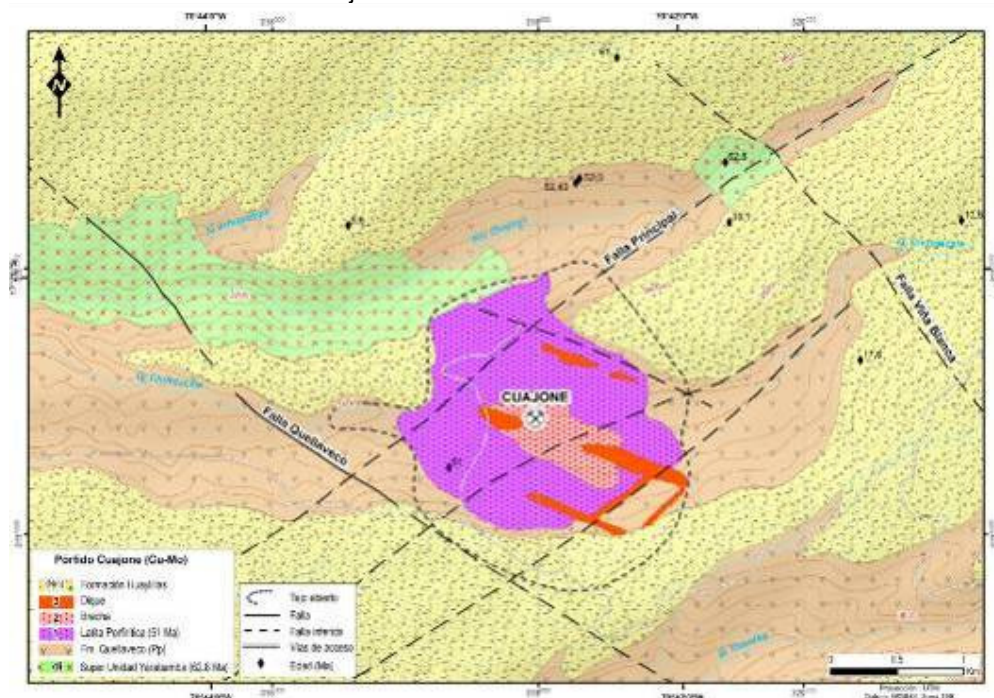


Figura 18 Mapa Geológico del pórfido de Cuajone (Cu-Mo-Au, Paleoceno) y alrededores, después de Concha & Valle (1999).

Durante el Paleoceno controló el emplazamiento de los intrusivos de la Super Unidad Yarabamba. La intersección de la falla Quellaveco con la falla Carbonera favorecen el emplazamiento del pórfido

Quellaveco (Fig.19), la intersección con la falla Principal favoreció el emplazamiento del pórfido de Cuajone (Fig. 18).

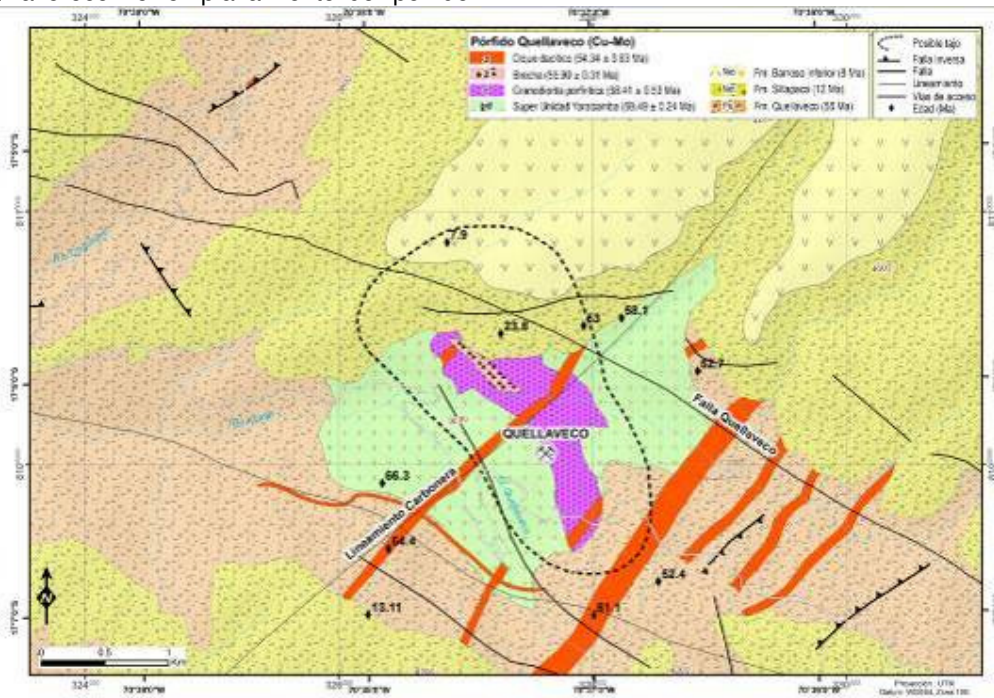


Figura 19 Mapa Geológico del pórfido de Quellaveco (Cu-Mo, Paleoceno) y alrededores, después de Estrada (1975), Zimmermann & Kihien (1983), Candiotti de los Ríos, (1995) y Sillitoe & Mortensen (2010).

Otras fallas del Sistema Incapuquio
Falla Carumas

Se ubica por los alrededores del poblado de Carumas y su traza principal es claramente visible

en la margen izquierda del río Tambo, tiene dirección NO-SE es del tipo inversa y con buzamiento hacia el SO y una longitud notoria de 15 km. Esta falla hace cabalgar a rocas jurásicas y

cretácicas del Grupo Yura sobre los sedimentos Cretácicos de la Formación Murco.

Algunos stocks de intrusivos de la Super Unidad Yarabamba (62 Ma) están relacionados a esta falla. Las vetas de óxidos y zonas de alteración hidrotermal cerca al poblado de Carumas estarían relacionadas a esta falla.

4.1.6. Dominio Geotectónico del Alto de la Clemesi

Este dominio geotectónico se encuentra ubicado entre Cocachacra y Carumas (límite entre los departamentos de Arequipa y Moquegua), tiene un ancho promedio de 50 km y extensión mayor a 150 km (Fig. 1). Este dominio se encuentra limitado hacia el NO por las fallas transversales del Tambo y hacia el SE por las fallas normales de la Clemesi. Las rocas ígneas que afloran dentro de este dominio tienen composición toleítica y calco-alcalina (Fig. 5). La intensidad magnética para este dominio muestra altos valores (80 a 700 Gammas), (Fig. 6).

Este dominio estructural hacia la Cordillera de la Costa atraviesa el sistema de fallas El Toro, en el borde oeste de la Cordillera Occidental involucra al sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio, y en la Cordillera Occidental las fallas normales de Omate pertenecen a este dominio.

Geológicamente hacia la costa no hay afloramientos de roca metamórficas del basamento de Arequipa, predominan los afloramientos de rocas intrusivas de edades Jurásicas y Cretácicas.

En las planicies costaneras afloran extensamente las rocas volcánicas del Grupo Toquepala, mientras que los sedimentos pertenecientes al Grupo Moquegua son escasos. Tectónicamente este dominio correspondería a un alto estructural que separa la depositación de los sedimentos del Grupo Moquegua (Eoceno-Mioceno), teniendo hacia el sur sedimentos de la subcuenca Moquegua y hacia el norte los sedimentos de la sub-cuenca Aplao. Estas dos cuencas se expresan claramente en los valores más bajos de intensidad magnética (-1 a -483 Gammas), ver (Fig. 6).

En el borde Oeste de la Cordillera Occidental los afloramientos correspondientes al Grupo Yura se encuentran muchas veces repetidas tanto por fallas normales y fallas inversas. Litológicamente se hace presente los sedimentos de la Formación Puente y Cachios. Los afloramientos del Grupo Toquepala no exceden los 500 m (a la base conglomerados y grauwacas, hacia el medio flujos de lavas y hacia el tope estratos potentes de ignimbritas). Las rocas del Grupo Yura y Grupo Toquepala son intruidos por rocas de la Super Unidad de Toquepala (66-63 Ma) y Yarabamba (62 Ma).

Finalmente al límite NE-SO se tienen los porfidos de Tia María y Chapi (Fig. 2). Algo de resaltar aquí es la presencia de la cuenca sedimentaria Jaguay (Eoceno) aislada de la cuenca sedimentaria de Moquegua (Eoceno-Mioceno), (Fig. 17).

En la Cordillera Occidental los afloramientos más resaltantes lo conforman las rocas metamórficas del basamento de Arequipa limitado hacia el sur por la falla normal Omate con los sedimentos del Grupo Yura.

Este dominio quizás se extiende hasta el Altiplano, teniendo depósitos de minerales importantes como por ejemplo Chucapaca (Mioceno Medio, Au-Ag).

4.1.7. Fallas Transversales al Sistema de Fallas Cincha Lluta-Incapuquio

En el sur del Perú se ha estudiado muy poco los lineamientos estructurales con dirección NE-SO, solo los geólogos de las principales minas de Cu-Mo (e.g., Cerro Verde, Cuajone, Toquepala, Chapi, Quellaveco) conocen y saben la importancia de estas estructuras, es por este motivo que el INGEMMET viene realizando estudios para definir y organizar estas estructuras por su orden de importancia desde el punto de vista geológico y en el presente trabajo describimos dos de esos sistemas (e.g., sistema de fallas Tambo y La Joya) y varios lineamientos que se intersectan con la estructura principal Cincha Lluta-Incapuquio (Fig. 1).

4.1.7.a. Lineamiento del sistema de fallas Tambo

Tiene como eje principal la valle del río Tambo que se extiende desde la línea costanera hasta el Altiplano, en la zona de estudio tiene una longitud aproximada de 150 km. A 30 km de la línea de costa el eje principal N40° cambia de dirección al SE donde las fallas forman la estructura de Cola de Caballo. Luego estas estructuras de "Cola de Caballo" retoman su dirección original promedio N40° y son estas las que intersectan la estructura principal del sistema Cincha Lluta-Incapuquio. Estas fallas son del tipo inversas dextrales y buzan hacia el NO (Fig. 1).

Geológicamente estas estructuras sirven como zona de debilidad para el emplazamiento de los cuerpos intrusivos durante la actividad magmática del arco Incahuasi (90-75 Ma), así mismo estas estructuras también favorecen el emplazamiento de las unidades intrusivas de la Super Unidad Yarabamba (62 Ma).

El sistema de fallas Tambo estructuralmente se halla dentro del Dominio del Alto de la Clemesi (Fig. 2) y es estructuralmente muy importante desde el Cretácico superior, prueba de ello son los sedimentos del Grupo Moquegua (Eoceno-Mioceno) se presentan en estratos delgados o casi no se observan. Además en respuesta al levantamiento de este bloque se tienen muchas fallas normales como por ejemplo en la zona de Cochachacra, en el cerro Alto del Meadero y en el sector de Omate (Fig. 1).

En la intersección de estos lineamientos del sistema de fallas Tambo con el sistema de fallas Incapuquio se emplazan los pórfidos de Los Calatos (Cu-Mo), Chapi (Cu-Au) además por el sector de Cocachacra esta falla configura el emplazamiento de los pórfidos de Tia María (Cu-Mo) y La Tapada (Cu-Au).

4.1.7.b. Lineamiento del Sistema de fallas La Joya

Su eje principal es el valle del río Vitor que se extiende desde la línea de Costa hasta el Altiplano, en la zona de estudio tiene una longitud de 120 km. Las fallas de este sistema también forman una estructura del tipo "Cola de Caballo" (Fig. 1). A la distancia de 20 km de la línea de costa el eje

principal N50° cambia de dirección a E-O donde las fallas empiezan a formar la estructura de “Cola de Caballo”, luego retoman su dirección original promedio N40° y hacia el NE intersectan el sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio y hacia el N-NE intersectan el sistema de fallas IQUIPI.

Generalmente estas fallas son inversas dextrales y buzamiento hacia el NO.

Geologicamente estas fallas favorecen el emplazamiento de las Super Unidades Toquepala (66-63 Ma) y Yarabamba (62 Ma). Una característica principal es que entre la intersección del sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio y el eje de este sistema La Joya se tiene varios centros volcánicos menores de composición monogenética

con edades del Holoceno (Fig. 20. A), sucede lo mismo entre la intersección del el sistema de fallas IQUIPI y la falla Sihualo (Fig. 21).

Estos lineamientos son las que atraviesan los porfidos de Cerro Verde (Cu-Mo), Santa Rosa (Cu-Mo), Cerro Negro (Cu-Mo), ver figura 1.



(Fig. 20. A) Lavas monogenéticas que corresponden a un magmatismo fisural reciente. Estas lavas afloran entre la intersección de sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio (SFCLLI) y el eje de este sistema La Joya. B) Presentan estructuras de columnas “joints” al tope y a la base del flujo de lava: UTM (199660- 8184092, zona 19).



Fig. 21. Escorias de lavas monogenéticas sobre los sedimentos del Grupo Moquegua en el valle del río Sihuas ($16^{\circ}13' 04.7''$ - $72^{\circ}04'29.6''$). Afloran entre la intersección del el sistema de fallas Iquipi y falla Linga. Similares lavas fueron datadas en el valle Lluta y arrojan una edad de 0.21 ± 0.04 (Ar/Ar obsidiana: Schildgen et al., 2009).

4.1.7.c. Lineamientos de Caplina, Curibaya, Sama y Locumba

Se ubican entre la ciudad de Tacna y el poblado de Locumba tienen dirección NE-SO en promedio $N40^{\circ}$ todas intersectan el sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio, tienen una longitud promedio de 130 km y se extienden hacia el Altiplano.

El lineamiento Caplina limita los afloramientos de la Cordillera de la Costa en el sector de La Yarada, donde se aprecia este lineamiento como una falla inversa con buzamiento hacia el NO.

El lineamiento Curibaya y el lineamiento Sama con la intersección de la falla Calientes del sistema de fallas Cincha Lluta Incapuquio dan lugar a la formación de un sistema de fallas normales rotacionales conocido como Sama Grande.

El lineamiento Locumba favorece el emplazamiento de cuerpos intrusivos del arco magmático de

Toquepala (75-55 Ma), y al intersectarse con la falla Villa Collo del sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio se ramifica en varios brazos, los que atraviesan los poblados de Curibaya, Candarave, Cairani e Ilavaya.

4.1.7.d. Dominio de los lineamientos paralelos Moquegua

Lineamiento Sargento

Se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Ilo,

tiene una dirección promedio $N60^{\circ}$ hacia la costa y $N50^{\circ}$ hacia la Cordillera Occidental. En la intersección con el sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio se halla el pórfido Toquepala (Cu-Mo), en donde este lineamiento adquiere la categoría de falla inversa con buzamiento hacia el NO (Fig. 16).

Lineamientos Carbonera y Principal

Parten desde los alrededores de la ciudad de Ilo con una dirección promedio $N40^{\circ}$ y buzamiento hacia el NO con dirección al Altiplano. En la intersección con el sistema de fallas Cincha Lluta Incapuquio (Fig. 1) se forman los depósitos de minerales del prospecto el Chorro, el pórfido de Quellaveco (Cu-Mo) y el pórfido de Cuajone (Cu-Mo).

4.1.8. Dominio del Sistema de Fallas Iquipi

Definido por Mendivil et al. (1960) como el lineamiento Choclon de dirección E-O en el cuadrángulo de Ocoña. Roperch et al. (2006) describe que la falla es del tipo normal y con componente dextral porque desplaza lateralmente unidades geológicas del Cretácico. Estudios de sismicidad aplicada a la falla Iquipi en el valle de Colca observan varios sismos intracontinentales bastante profundos entre 30 y 40 km de profundidad (Fig. 22), que podrían sugerir que el sistema de fallas Iquipi es sísmicamente activo (David, 2007).

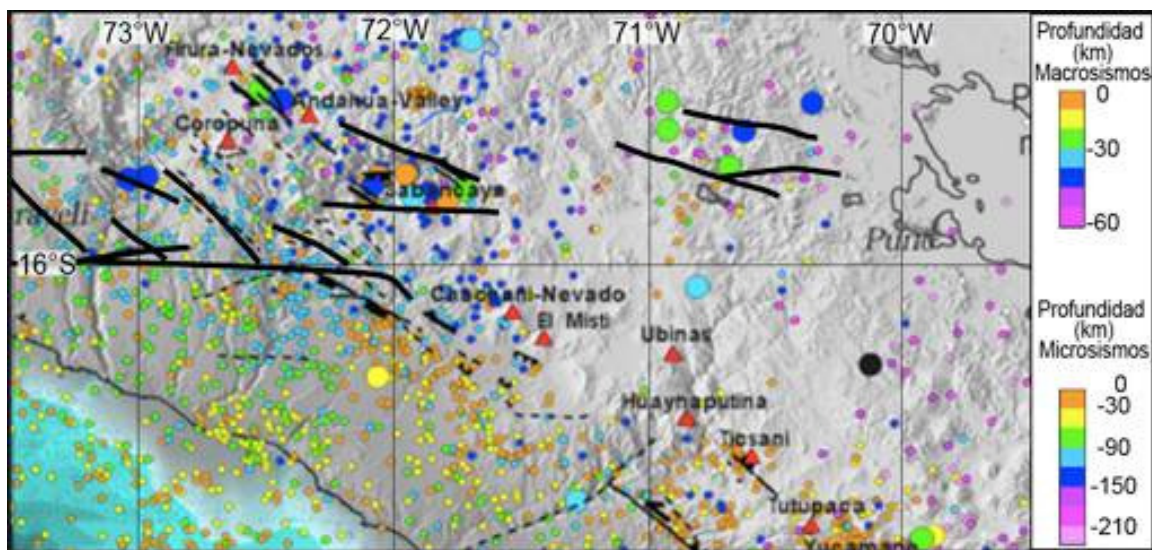


Figura 22. Datos de la profundidad (km) de los macrosismos y microsismos a lo largo del Sistema de Fallas Iquipi (David, 2007).

Recientes estudios estructurales y geomorfológicos demuestran la actividad reciente de estas fallas de dirección E-O mediante el desplazamiento de terrenos Pleistocénicos (Schildgen et al., 2009). En base a estudios geoquímicos de isotopos de Pb,

Nd, Sr el sistema de fallas Iquipi sería del tipo cortical de dirección E-O, además limitaría el borde norte del basamento Proterozoico de Arequipa (Mamani et al. 2008, Fig. 23).

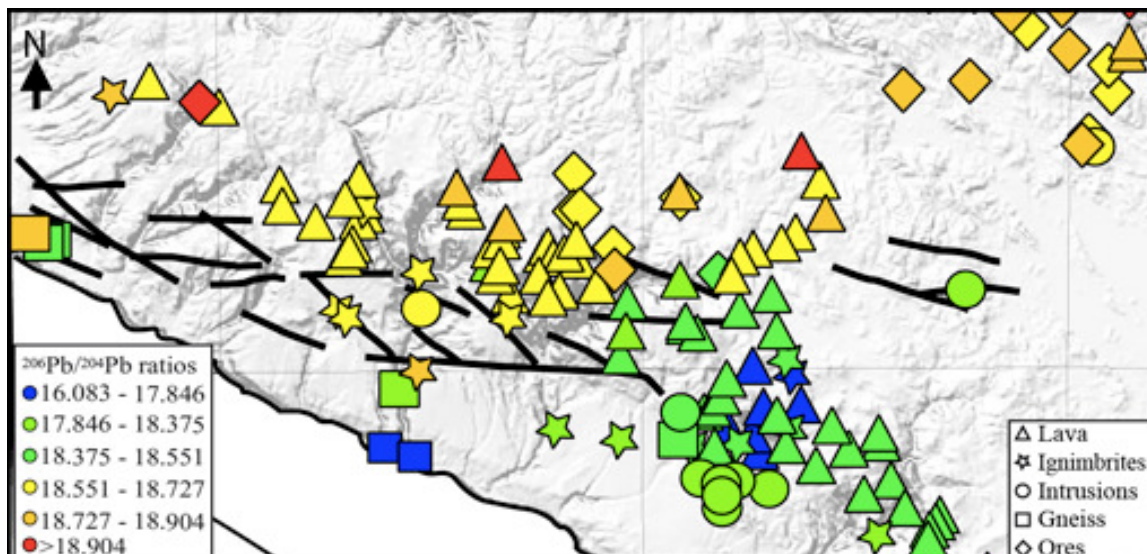


Figura 23. Mapa con los resultados de los análisis de isótopos de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para las rocas ígneas, metamórficas y menas a lo largo del sistema de fallas Iquipi. Aquí se muestra que los valores bajos en $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (16-083 a 18.551) se hallan al sur del eje principal sistema de fallas Iquipi y que los valores altos en $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (18.551 a 18.904) se hallan al norte del eje. Estas variaciones en los isótopos de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ fueron interpretados por Mamani et al. (2008) como el límite de bloques corticales.

Para este trabajo marcamos los alineamientos E-O y en conjunto tienen un ancho promedio de 90 km, por sus características estructurales estos lineamientos formarían un sistema de fallas, definido aquí como el sistema de fallas Iquipi compuesto por las fallas Calaveritas, Iquipi, Ishihuinca.

Falla Calaveritas (Segmento S)

Se extiende desde el Santuario Calaveritas atravesando el río Ocoña, río Majes, río Sihuas, río Yura y pasa entre los volcanes Chachani y Misti. En la zona de estudio tiene una longitud de 210 km. Esta falla solo se puede identificar en la Cordillera de la Costa, en la Planicie Costanera esta cubierta por los sedimentos del Grupo Moquegua, luego cerca al poblado de Yura afloran centros volcánicos pequeños (monogenéticos) relacionado a esta falla, en las imágenes satelitales cerca al Volcan Misti se observa el lineamiento de esta falla. Esta falla es de rumbo sinistral con componente inversa y buza hacia el N.

La vetas de Cu identificadas en el Santuario de Calaveritas, en el valle de río Ocoña, en el valle del río Majes, y las vetas de Au emplazadas en el Cerro Torconta estarían ligadas a la falla Calaveritas.

También estarían asociados a esta falla pequeñas fallas paralelas de dirección E-O, estas se pueden observar claramente cerca de la línea costanera y están relacionadas al emplazamiento de intrusivos de la Super Unidad de Río Grande (136 Ma). En base a las intensidades magnéticas al O en el dominio Iquipi por debajo de los sedimentos del Grupo Moquegua afloran las rocas del basamento y posiblemente intrusivos (Fig. 6).

Falla Iquipi (eje del Sistema de fallas)

Es notoria desde Puerto Viejo cerca de la línea costera, atraviesa el río Atico, río Ocoña, río Majes, cerro Zafranal, cerro Alto Quemado y río Sihuas. En la zona de estudio tiene una longitud de 200 km. Esta falla se la puede identificar en los fondos de quebradas y en la intersección con el sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio, es una falla de rumbo sinistral y buzamiento subvertical. En las zona de intersección se observan variedad de rocas metamórficas que van desde gneiss a milonitas (Fig 24).



Figura 24. Vista de la zona de alteración del pórfido de Zafranal, aquí se observa claramente la intrusión de porfido a lo largo del sistema de fallas Iquipi. Las muestras de las rocas metamórficas (esquistos, milonitas, gneiss) corresponden a las zonas de cizalla en la intersección de las fallas Iquipi y Zafranal (tomado de Mamani & Rivera, 2011).

La esquistocidad de estas rocas tienen dirección principal E-O. También en respuesta a la intersección de los dos grandes sistemas de fallas se tienen lineamientos de dirección N-S, estos lineamientos son los más recientes y prueba de ellos es que la zona mineralizada de Zafranal está desplazada por estos lineamientos (Fig. 14), esto también se observa en el prospecto de Alto Quemado.

Las rocas metamórficas dentro de este sistema de fallas Iquipi se formaron debido a esfuerzo entre los bloques corticales. A lo largo del río Ocoña entre la falla Calaveritas y la falla Iquipi afloran muchos volcanes fisurales recientes y forman terrazas en el fondo del valle del río Ocoña. Otros volcanes de origen fisural relacionados a esta falla afloran en Cerro Zafranal, quebrada Huacan y al este del prospecto Alto Quemado.

Los depósitos de minerales en vetas (Au-Cu) en Atico, vetas (Cu-Au) alrededor del poblado de Iquipi en el río Ocoña, los diques de Fe-Cu al norte de Aplao, los depósitos de mineral de Zafranal, Alto Quemado y otros están relacionados a esta falla (Fig. 2).

4.2. Relación entre los Sistemas de Fallas, Sistema de Lineamientos y Depósitos de Minerales

Los sistemas de fallas e intersección de fallas y lineamientos están relacionados, en determinar los sitios de formación y la geometría de los depósitos de minerales y sus partes constituyentes. Los sistemas de fallas de arcos magmáticos, activos antes así como también durante el magmatismo y la generación de los depósitos de minerales, son importantes localizadores, es así que las fallas del

Sistema el Toro Islay Ilo Miraflores, Sistema Cincha LLuta Incapuquio y el sistema Iquipi han controlado la formación de depósitos de minerales durante la actividad de los arcos magmáticos desde el Jurásico al Mioceno en el sur de Perú. Otro ejemplo de la relación entre los sistemas de fallas y los depósitos de minerales es la franja de depósitos del Eoceno-Oligoceno en el norte de Chile, aquí los depósitos de minerales están relacionados al sistema de fallas Domeyko (Sillitoe & Perello, 2005).

Recientemente Sillitoe (2010) enfatiza en la importancia de la intersección entre sistemas de fallas corticales y lineamientos transversales para la formación de depósitos de minerales, por ejemplo en el norte de Chile el lineamiento Calama-El Toro está relacionado a los pórfidos de Cu de Chuquicamata y El Abra (Fig. 25).

En base a los estudios aquí presentados los principales pórfidos del sur de Perú también están relacionados a alineamientos transversales, es así que el depósito de Ataspaca está relacionado al lineamiento Caplina, los pórfidos de Toquepala, Quellaveco y Cuajone están relacionados sistema de lineamientos Moquegua, los depósitos de Tia Maria y Chapi estarían relacionados al lineamiento Tambo, el pórfido de Cerro Verde al lineamiento La Joya, y finalmente el pórfido de Zafranal y otros alrededor estarían relacionados al lineamiento Iquipi.

Estas estructuras transversales reflejan estructuras del basamento infrayacente que quizás facilitaron el ascenso de volúmenes pequeños de magma y son estos magmas los que están relacionados a depósitos de minerales (Clark, 1990; Mamani & Rivera 2011).



Figura 25. Relación espacial entre los sistemas de fallas, lineamientos y depósitos de pórfidos en los Andes Centrales. Los datos para Chile fueron tomados de Sillitoe (2010) y los datos para Perú corresponden al presente estudio del Proyecto GR1.

5. Conclusiones

La combinación de los estudios geológicos básicos con las herramientas geofísicas, geoquímicas, y geocronológicas son importantes al momento de definir dominios geotectónicos que permitan ubicar nuevos polígonos para la exploración por yacimientos minerales.

Al igual que en el norte de Chile los principales pórfidos del sur de Perú están controlados por las intersecciones de estructuras corticales con lineamientos.

El control estructural E-O del Sistema de fallas Iquipi contiene 90 km de amplitud y consiste de varias fallas paralelas.

El dominio Estructural de la Clemesi con dirección NE-SO ha controlado la formación de depósitos de minerales importantes y además ha controlado la evolución geológica de las cuencas sedimentarias en el sur del Perú.

Parece que los dominios de Iquipi y Clemesi se extienden hasta el Altiplano, esto favorecería la exploración siguiendo la dirección de estas estructuras

6. Referencias

- Benavides, V. (1999). Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. In *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Skinner, B.J.; editor. Society of Economic Geologists, Special Publication, No. 7, pp 61-107.
- Chew, D., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M., Gutjahr, M., Spikings, R. & Miskovic, A. (2007). U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. *Geological Society of America* 119, 697-711.
- Clark, A., Farrar, E., Kontak, D., Langridge, R., Arenas, M., France, L., McBride, S., Woodman, P., Wasteneys, H., Sandeman, H. & Archibald, D. (1990). "Geologic and geochronologic constraints on the metallogenetic evolution of the Andes of South-eastern Peru". *Economic Geology*, Vol. 85; p. 1520-1583.
- David, C. (2007). "Comportement Actuel de l'Avant-Arc et del 'Arc du Coude d'Arica dans l'Orogenèse des Andes Centrales" [Ph.D. thesis]: Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 290.
- Decou, A., Eynatten, H., Mamani, M., Sempere, T. & Wörner, G. (2011). "Timing of early Andean uplift inferred from a detailed provenance analysis of Cenozoic sediments in southern Peru". *Journal of Sedimentary Geology*, Vol 237, p 55-72.
- Loewy, S., Connelly, J. & Dalziel, I. (2004). An orphaned basement block: The Arequipa-Antofalla basement of the Central Andean margin of South America. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 116, p. 171-187.
- Mamani, M., Tassara, A. & Wörner, G. (2008). Composition and structural control of crustal domains in the central Andes. *Geophys. Geosyst.*, 9, Q03006, doi:10.1029/2007GC001925.
- Mamani, M. & Rivera, F. (2011). "Sistema de fallas Iquipi-Clavelinas: Zona de Trancisión Cortical e Implicancias para el emplazamiento de Depósitos minerales" VII Congreso Internacional de Exploradores.
- Martignole, J., Stevenson, R. & Martelat, J. (2005). A Grenvillian Anorthosite Mangerite Charnockite Granite Suite in the Basement of the Andes: The Ilo AMCG Suite (Southern Peru). *ISAG*, Barcelona, pp. 481-484.
- Mendivil, S. (1960). "Geología del cuadrángulo de Ocoña". *INGEMMET Carta Geol. Nac. Bol. N° 3*.
- Pino, A. (2003). Estratigrafía y paleogeografía del intervalo Paleozoico superior-Cretáceo inferior en el extremo Sur del Perú (Área Mal Paso-Tacna). Tesis de Bachiller, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, 144 p.
- Roperch, P., Sempere, T., Macedo, O., Arriagada, C., Fornari, F., Tapia, C., García, M. & Laj, C. (2006). Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene fore-arc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the Central Andes. *Tectonics*, Vol. 24, p. 511-514.
- Schildgen, T., Hodges, K., Whipple, K., Pringle, M., Van-Soest, M. & Cornell, K. (2009). Late Cenozoic structural and tectonic development of the western margin of the central Andean Plateau in southwest Peru. *Tectonics* 28 (4) 22 pp. doi:10.1029/2008TC002403.
- Sillitoe, R. & Perello, J. (2005). "Andean copper province: Tectonomagmatic, deposit types, metallogeny, exploration and discovery". *Economic geology 100 th anniversary volume*, p 845-890.
- Sillitoe, R. (2010). "Porphyry Copper Systems", *SEG Inc. Economic Geology*, 105: 3-41.