



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# El sistema de fallas Transandino del Sur de Perú; un sistema transcurrente sinistral (interpretación preliminar): Implicancias en los yacimientos de hidrocarburos y metálicos

Darwin Romero Fernández<sup>1</sup> y Maria Eudocia Cruz Salinas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SAVIA PERU S.A., Av. Rivera Navarrete 501 - San Isidro-Lima, Perú (romerofdarwin@gmail.com)

<sup>2</sup> GEO MASKA'X E.I.R.L. Urb. Carapongo - Lurigancho - Chosica - Lima, Perú (marysalinas2004@gmail.com)

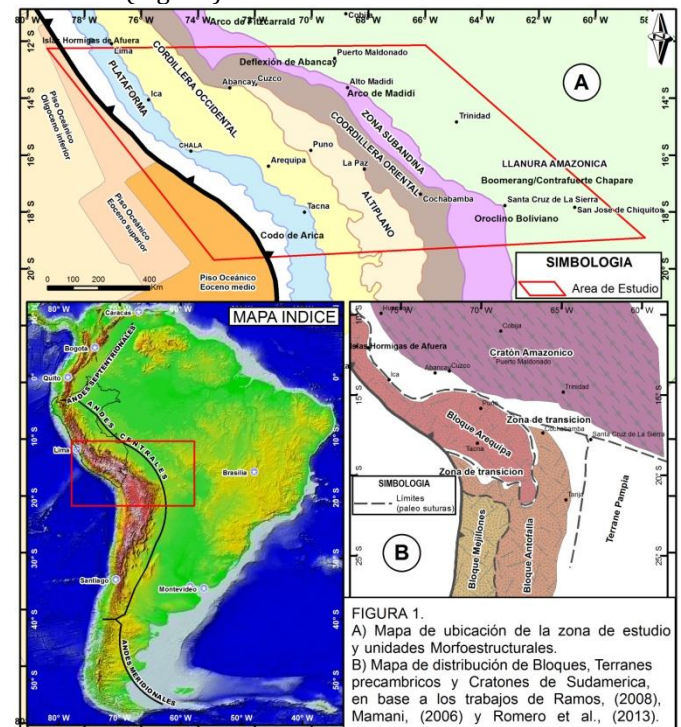
### 1. Introducción

La cadena de los Andes ha sido y es afectada por una deformación continua desde su origen en el Cretácico superior. Interpretaciones respecto a deformaciones de rocas, se centran principalmente en la zona subandina y llanura amazónica, donde interpretan la ocurrencia principalmente de fallas inversas y corrimientos (Baby et al., 1995; Gil, 2001; Hermoza, 2004; Rocha, 2013). Trabajos regionales que realizan un estudio detallado de la deformación Paleozoica en los Andes del Sur de Perú, son los de Marocco, (1978); Dalmayrac et al., (1988). Otros estudios, se enfocan en el análisis de cuencas sedimentarias y magmatismo (Lavenu, 1986; Carlotto, 1998; Perello et al., 2003; Mamani, 2006). Estudios de paleomagnetismo son los de Roperch et al., (2006).

Posterior a los estudios regionales de la década de los años 70-80', y a la nueva información geológica disponible, aún no se tienen nuevos estudios e interpretaciones principalmente estructurales a nivel regional de la deformación, que respondan algunas incógnitas, desde la deformación de rocas, geometría de rocas intrusivas, o batolitos "migración" de arcos volcánicos y geometría de cuencas sedimentarias, hasta factores que habrían influenciado en el origen de la deflexión de Abancay, el codo de Arica y el oroclino Boliviano. En el presente trabajo se presentan las primeras interpretaciones de sistemas de fallas transcurrentes ocurridos en el Sur peruano, basado principalmente en el análisis de la deformación de las rocas, de la geometría de cuencas sedimentarias, de la distribución y desarrollo de los arcos volcánicos y de los límites de bloques Precámbricos.

### 2. El sistema de fallas Transandino del Sur de Perú (SIFATASUPE)

El área de estudio corresponde a la parte media de los Andes Centrales (12° a 20° latitud Sur), donde se ubican la deflexión de Abancay, el codo de Arica y el oroclino Boliviano (Fig. 1A).



El SIFATASUPE, corresponde a un sistema de fallas transcurrentes del basamento Precámbrico, que afectan y desplazan toda la cadena de los Andes, a lo largo de una franja de dirección E-O, entre las localidades de Paracas-Chala, Abancay-Arequipa, Cusco-La Paz, Alto Madidi-

Cochabamba, Santa Cruz de la Sierra hasta San José de Chiquitos (Bolivia). Esta estructura fue reconocida inicialmente por Dalmayrac et al., (1988), que interpreto como originada durante el Paleozoico; del mismo modo Lavenu, (1986), reconoce esta estructura al Norte de Bolivia. A continuación describimos el sistema de fallas Transandino del Sur de Perú, considerando las unidades morfoestructurales de Perú y Bolivia (Fig. 1):

**2.1. Plataforma continental**

Al Oeste de la plataforma se localiza la fosa Perú-Chile, donde ocurre la subducción de la Placa Nazca debajo del continente sudamericano; de acuerdo a Müller et al., (1997), la edad más antigua (Eoceno medio), del piso oceánico de la placa Nazca, se ubica entre Chala y el codo de Arica.

Basado en los estudios e interpretaciones de la cuenca Pisco por SAVIA PERU S.A., la cartografía realizada por INGEMMET y GeoBolivia y a modelos de deformación de fallas transcurrentes (Dooley, et al., 2012), en la Plataforma, se ha interpretado 3 sistemas de fallas principales (Fig. 2): El 1er sistema corresponden a fallas de rumbo sinistral de dirección ONO-ESE con buzamiento principal al NNE, que afectan a las rocas de la Cordillera de la Costa dentro de la cuenca Pisco, así como en la Cordillera Occidental. El 2do sistema son fallas de rumbo dextral de dirección NNE-SSO a NE-SO, con buzamiento principal al SE. El 3er sistema son fallas normales e inversas de dirección NO-SE que afectan a rocas de la cuenca Pisco y a intrusivos del batolito de la Costa.

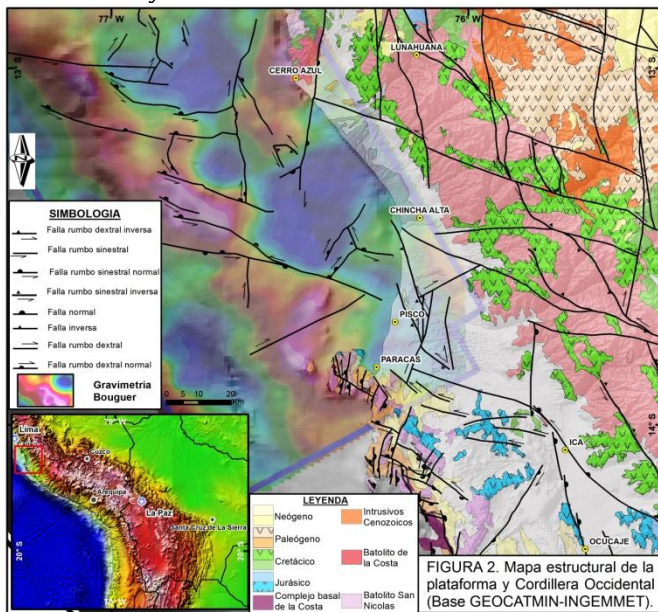


FIGURA 2. Mapa estructural de la plataforma y Cordillera Occidental (Base GEOCATMIN-INGEMMET)

Otra característica importante es la presencia de una zona con alto grado de cizallamiento, deformación y metamorfismo que afectan a secuencias del Permo-Carbonífero, en afloramientos próximos a Puerto Caballas (Fig. 3). En esta parte, la secuencia consiste de calizas recristalizadas y silicificadas intercaladas con esquistos de coloración gris verdosa a verde cortadas por abundantes filones de cuarzo lechosos y afectados por micropliegues (Fig. 3). El rumbo de las capas varían de NNE a NO y los buzamientos varían entre 30° y 65° hacia el Este y NE.

Esta característica indicaría la presencia de una falla maestra. Entre Chala-Camana, se puede apreciar la falla de rumbo sinistral Iquipi (Mamani & Rivera, 2010);

adicionalmente se ha interpretado otras fallas de rumbo sinistral de dirección ONO-ESE a O-E; en esta zona se observa claramente el desplazamiento hacia el Este de la cuenca de antearco Moquegua-Camaná (Fig 3). Dentro de la cuenca Moquegua-Camaná (Eoceno-Mioceno), Roperch, et al., (2006), realizó estudios de paleomagnetismo, recolecto muestras de la formación Sotillo del Eoceno-Oligoceno inferior y de la Formación Moquegua del Oligoceno superior Mioceno, los resultados indican una rotación antihoraria de 30° a 45°.

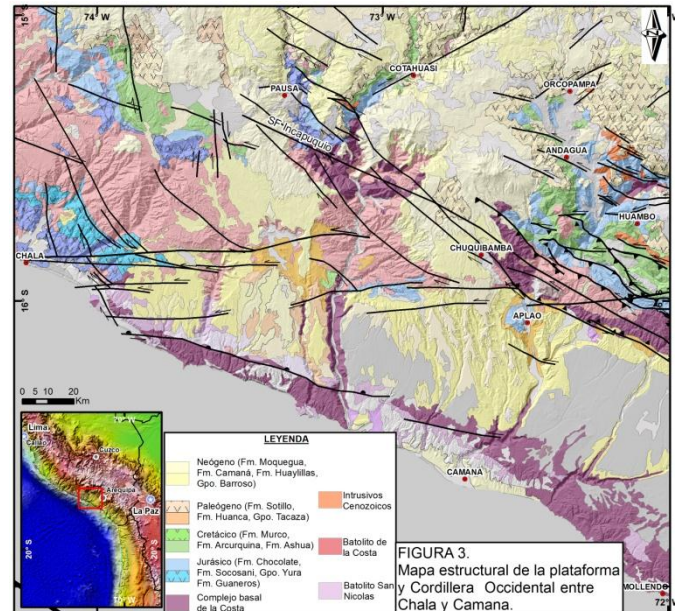


FIGURA 3. Mapa estructural de la plataforma y Cordillera Occidental entre Chala y Camana.

**2.2. Cordillera Occidental**

Una característica particular de esta unidad, es la faja ancha de los arcos volcánicos cenozoicos y la disposición espacial de estos. La evolución temporal y espacial de los arcos volcánicos a partir del Aptiano hasta el Mioceno en el Perú central y Norte, muestra una migración progresiva del arco volcánico desde el Oeste hacia el Este (Pitccher et al., 1985; Soler y Bonhomme, 1990, Romero, 2007). Sin embargo, en la Cordillera Occidental del Sur de Perú, la disposición de los arcos volcánicos a partir del Eoceno hasta la actualidad es invertida. En efecto, al Norte del SIFATASUPE entre Abancay y Arequipa, el arco volcánico Eoceno se ubica en el borde oriental de la Cordillera Occidental, continua al Oeste el arco Eoceno-Oligoceno y más al Oeste se tienen los arcos Mioceno y actual, mostrando una migración del arco de Este a Oeste (Fig. 4), (Mamani, 2006). Por otro lado, el batolito Andahuaylas-Yauri (32-43 Ma), que alberga importantes yacimientos de minerales metálicos (Perello et al., 2003), muestra una geometría a manera de un paralelogramo, posiblemente como resultado de una deformación relacionada a movimientos de rumbo sinistral durante el Mioceno superior (Fig. 4); es posible que esta deformación podría generar estructuras en flor positivas dentro del batolito. El análisis de la deformación de las rocas, permite interpretar 2 sistemas de fallas regionales que afectan a rocas del Meso-Cenozoico: El 1er sistema corresponde a fallas de rumbo sinistral de dirección ONO-ESE; el 2do sistema son fallas de rumbo dextral, de dirección NNO-SSE a NE-SO. Próximo a Acari-Yauca, se tiene el límite de los depósitos del Grupo Casma, que se hallan intruidas por rocas intrusivas del Batolito de la Costa y próximo a estos

se tiene un sistema de fallas de rumbo sinistral. Otra estructura importante, es la prolongación del sistema de fallas Incapuquio de dirección NO-SE (Fig.3), que mas al Sur controla los yacimientos de Toquepala y Cerro Verde. Próximo al área de influencia del SIFATASUPE entre Aplao y Huambo, ocurre un sistema de fallas transcurrente sinistral que forma una estructura en flor positiva (Romero, et al., 2002). Esta característica indicaría probablemente que el levantamiento de la Cordillera Occidental en esta zona es relativamente más rápido respecto al levantamiento de las cuencas de antearco en la plataforma; lo que habría provocado una rápida erosión de los ríos Colca y Cotahuasi, generando de esta manera el encañonamiento de los valles (Fig 3).

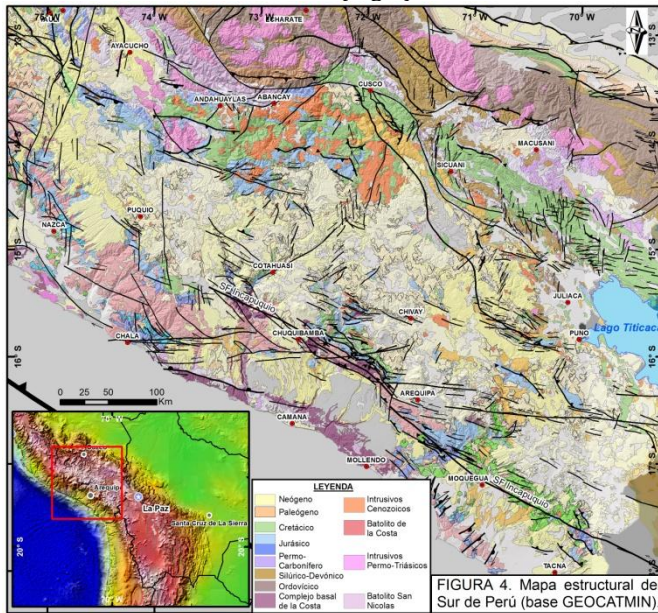


FIGURA 4. Mapa estructural del Sur de Perú (base GEOCATMIN).

### 2.3. Altiplano

En el altiplano del Sur de Perú y Norte de Bolivia existen importantes cuencas sedimentarias de tipo *pull apart* (Lavenu, 1986; Jaimes, et al., 1996; Carlotto, 1998), entre la que destaca la cuenca Kayra-Puno-Soncco en el Altiplano del Sur de Perú (Carlotto, 1998), que en Bolivia corresponde a la cuenca Noraltiplanica (Lavenu, 1986; Sempere et al., 1991). Dichas cuencas se hallan separadas por el SIFATASUPE, donde la cuenca Kayra-Puno-Soncco muestra un desplazamiento hacia el Oeste.

En el límite Altiplano-Cordillera Oriental, al Oeste de Cusco en el valle de Apurimac, se distinguen fallas de rumbo sinistral inversa que cortan a rocas sedimentarias del Ordovícico (Formación San José) y Mesozoico (Grupo Yura del Jurásico y Grupo Yuncaypata del Cretácico) (Fig. 4). Otra característica, es la presencia de pequeños cuerpos de rocas subvolcánicas y volcánicas de composición básica a ultrabásica no contaminadas provenientes del manto (Mamani, 2006). Al SE del Lago Titicaca en Bolivia, se observa que la secuencia de rocas volcano-sedimentarias del Cenozoico, son afectadas por fallas de rumbo sinistral inversa.

### 2.4. Cordillera Oriental

El análisis de la deformación de las rocas sedimentarias del Ordovícico (formaciones San José y Sandia), del Silurico-Devónico (Grupo Cabanillas), del Carbonífero-Permico (grupos Ambo, Tarma y Copacabana), y del

Cretácico; sumado al estudio y la interpretación de lineamientos y fallas realizadas por INGEMMET y GeoBolivia; muestra la presencia de 3 sistemas de fallas regionales (Fig 5): El 1er sistema son fallas de rumbo sinistral de dirección E-O a ENE-OSO; el 2do sistema son fallas de rumbo dextral con dirección principal NE-SO y el 3er sistema corresponde a fallas inversas y corrimientos de dirección N-S a NO-SE. Por otro lado los afloramientos del Ordovícico en los alrededores de la localidad de Cochabamba-Bolivia presentan gran extensión a lo largo de una franja ONO-ESE (Fig. 5)

### 2.5. Zona Subandina

El Subandino de Bolivia se divide en: Subandino Norte de dirección NO-SE que se prolonga hasta el subandino del Sur de Perú. La zona del Boomerang (Baby et al., 1995) o contrafuerte Chapare (Herail et al., 1994), ubicado entre Cochabamba y Santa Cruz de la Sierra; esta parte es conocido también como el Oroclino Boliviano. El subandino Sur tiene una dirección principal N-S.

Las características resaltantes de esta parte, es que las cuencas subandinas que se ubican al Norte del SIFATASUPE son más estrechas (45 a 105 km), y desplazadas cada vez más hacia el Oeste; respecto a las cuencas subandinas del sur de Bolivia, que son mucho más anchas (140 a 190 km) y desplazada hacia el Este (Fig. 1A). Así mismo, las tasas de acortamiento de las cuencas subandinas del Sur de Bolivia (cuenca Chaco), varía entre 30 y 35% (Hermeza, 2004; Rocha, 2013); en tanto que el acortamiento de las cuencas subandinas del Sur de Perú y Norte de Bolivia (cuencas Madre de Dios y Beni), varía entre 50 y 55% (Baby et al., 1995; Gil, 2001).

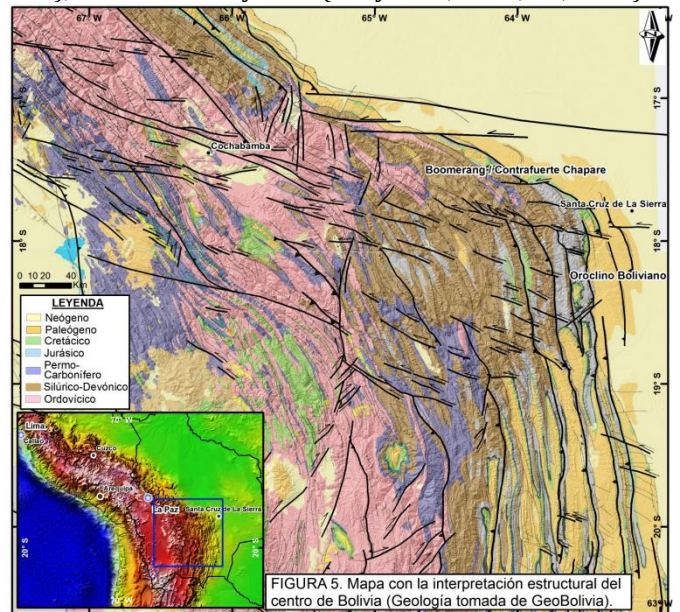


FIGURA 5. Mapa con la interpretación estructural del centro de Bolivia (Geología tomada de GeoBolivia).

### 2.6. Llanura Amazónica

De acuerdo al mapa geológico de Sudamérica (Geocatmin-INGEMMET), en el sector de San José de Chiquitos ubicado en el extremo oriental de la llanura amazónica de Bolivia, se distinguen dos sistemas de fallas importantes con movimientos de rumbo sinistral, que afectan a rocas del cratón Amazónico (Fig. 5).

## 3. Interpretación

Según la distribución de los sistemas de fallas en superficie, es muy probable que el SIFATASUPE corresponda en profundidad a los límites (paleo suturas), de los bloques precámbricos de Paracas, Arequipa-Antofalla, del terrane de Pampia y del cratón Amazónico (Mamani, 2006; Ramos, 2008; Romero, et al.; 2013), (Fig. 1B). En la margen continental la edad más antigua (Eoceno medio), del piso oceánico de la placa Nazca, muestra que el límite Norte de este piso, coincide exactamente con el SIFATASUPE y prácticamente se encuentra subduciendo al Bloque Sur de la estructura, que indica que el bloque al Sur del SIFATASUPE es relativamente más estable; mientras que el bloque al Norte del SIFATASUPE tiene relativamente mayor desplazamiento hacia el Oeste debido a la subducción de corteza oceánica relativamente más joven (Eoceno superior-Oligoceno inferior), del mismo modo generando la geometría irregular de la fosa y con ella originando el codo de Arica probablemente durante el Mioceno superior. Hacia la Plataforma, la cuenca de antearco Moquegua-Camana se halla desplazada hacia el Este aproximadamente 230 km, en referencia a la cuenca Pisco, por medio del SIFATASUPE.

En la Cordillera Occidental los arcos volcánicos ubicados al Norte y en el área de influencia del SIFATASUPE; muestran una distribución temporal y espacial contraria a la evolución normal de Oeste a Este que se tiene en el Perú central y Norte; sumado a la característica de los arcos volcánicos en este tramo, que son extensos, con dirección ONO-ESE. Todas estas características indicarían un control del SIFATASUPE con movimiento transcurrente sinistral. En el Altiplano una característica principal es el desplazamiento de aproximadamente 110 km hacia el Oeste y rotación antihoraria entre 40° a 60° (Roperch, et al., 2006), de la cuenca Kayra-Puno-Soncco con dirección NO-SE con respecto a la cuenca Noraltiplánica de Bolivia de dirección NNO-SSE; este hecho también es consecuencia del movimiento transcurrente sinistral del SIFATASUPE. Hacia la Cordillera Oriental en territorio Boliviano se observa claramente numerosas fallas de rumbo sinistral de dirección ONO-ESE y el cambio de las estructuras mayores de dirección NNO-SSE en el Sur a NO-SE en el Norte (Fig. 5). Así mismo, existen afloramientos extensos de secuencias Ordovícicas. Estas características probablemente se deben a un movimiento transcurrente sinistral, con características de estructura en flor positiva provocando mayor levantamiento y erosión de las secuencias superiores al Ordovícico.

Finalmente en el sector subandino del Sur de Perú y Bolivia se observa claramente la influencia que provoca el SIFATASUPE en la estructuración actual de las cuencas subandinas. El frente orogénico y las cuencas subandinas de la parte Norte del SIFATASUPE están desplazados aproximadamente 220 km al Oeste, respecto de la parte Sur de esta misma estructura. Así mismo, hacia la parte Sur del SIFATASUPE (subandino Sur de Bolivia), las cuencas subandinas de dirección N-S son más anchas (140 a 190 km) y con menores tasas de acortamiento entre 30 y 35%. En tanto que hacia la parte Norte del SIFATASUPE (subandino del Sur de Perú y Norte de Bolivia), las cuencas subandinas tienen dirección NO-SE, son más estrechas (45 a 105 km) y presentan mayor tasa de

acortamiento entre 50 y 55%. Estas características como el cambio en la dirección de las estructuras de N-S en la parte Sur a NO-SE en la parte Norte, podemos interpretar como consecuencia del movimiento transcurrente sinistral del SIFATASUPE, que habría originado el conocido Oroclino Boliviano probablemente durante el Mioceno superior. Así mismo, interpretamos que el movimiento transcurrente sinistral del SIFATASUPE, habría generado mayor movilidad y acortamiento de la parte Norte; mientras que la parte Sur del SIFATASUPE presenta menor movilidad y acortamiento demostrando una relativa estabilidad.

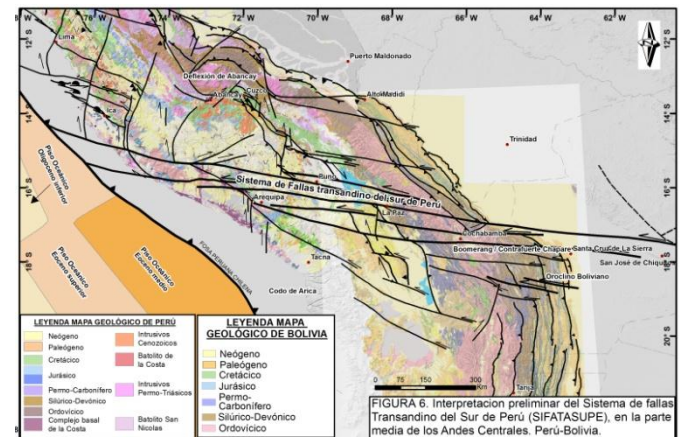


FIGURA 6. Interpretación preliminar del Sistema de fallas Transandino del Sur de Perú (SIFATASUPE), en la parte media de los Andes Centrales, Perú-Bolivia.

#### 4. Implicancias en los yacimientos de Hidrocarburos y Metálicos

##### 4.1. Yacimientos de Hidrocarburos.

En las cuencas de antearco próximos al SIFATASUPE, el movimiento relativamente más rápido hacia el Oeste, pudo haber provocado posiblemente mayores estructuras tipo bloques fallados y pliegues por propagación de fallas inversas. Así mismo, es posible que secuencias con buenas características tanto de roca madre como de reservorios podrían haber sido desplazados hacia estas cuencas potenciales. Del mismo modo en la zona subandina, principalmente en la parte Norte del SIFATASUPE que muestra mayor desplazamiento y deformación presenta mayores repeticiones tal como se tiene en el frente orogénico de la cuenca Madre de Dios.

##### 4.2. Yacimientos de Minerales Metálicos.

Las fallas y fracturas generadas durante la deformación transcurrente sinistral que afecta no solo a los cuerpos intrusivos si no demás rocas, probablemente habrían contribuido al emplazamiento de yacimientos metálicos en los inicios del proceso; posteriormente estas mismas estructuras podrían favorecer a la exhumación de estos yacimientos por medio de movimientos transpresivos que formaron estructuras en flor positivas, como es el caso del Sistema Incapuquio que favoreció al emplazamiento y exhumación de los yacimientos Toquepala y Cerro Verde. Esta misma característica es posible que ocurra con los yacimientos ligados al Batolito Andahuaylas-Yauri. Por otro lado, se debe tener en cuenta que algunos arcos volcánicos como Casma, Toquepala, Tacaza y sus correspondientes intrusivos, considerados como metalotectos, podrían estar deformados, cortados y desplazados lateralmente, siguiendo el rumbo del SIFATASUPE.

## 5. Conclusiones

El SIFATASUPE tiene una dirección ONO-ESE y corresponde principalmente a un sistema de fallas de rumbo sinistral, que afectan y desplazan a toda la cadena de los Andes del sur de Perú y Norte de Bolivia (Fig. 6). La deformación que ocurrió en los Andes provocando este sistema de fallas, probablemente es uno de los principales factores que origina la deflexión de Abancay, el codo de Arica y el oroclino Boliviano. Los primeros movimientos en transcurrencia de este sistema de fallas preexistentes posiblemente se habrían originado por lo menos en el Cretácico inferior controlando el borde Sur de la cuenca marginal Casma, ligado a un contexto tectónico de arco en extensión. Posteriormente en el Cretácico superior y el Cenozoico este sistema habría continuado con la deformación en transcurrencia sinistral, ligado a un contexto tectónico de arco en compresión; generando el desplazamiento de cuencas y arcos volcánicos tanto hacia el Este como al Oeste.

## Agradecimientos

Agradecemos a la empresa Savia Perú S. A. y particularmente a los ingenieros Jae Hwii Gwag (Gerente de Exploración) y Kiko Valencia (Jefe de Geología), por incentivar la investigación geológica en esta empresa. Así mismo agradecemos al Dr. Victor Carlotto, al MSc. José Cardenas y a la ingeniera Vilma Cano, por el apoyo y las enseñanzas durante las investigaciones en la región del Cusco. Nuestro agradecimiento al MSc. Agapito Sánchez, por las sugerencias durante el levantamiento de la Carta Geológica Nacional en el Sur del Perú. También agradecemos a la Dra. Mirian Mamani por las sugerencias. Finalmente nuestro agradecimiento a los colegas y amigos Carlos Llerena, Antony Quilca, David Orellana y Cesar L. Alava por su apoyo en la realización de este trabajo.

## Referencias

Baby P., Moretti I., Guiller B., Limachi R., Méndez E., Oller J. & Specht M 1995. Petroleum System of the northern and Central bolivian Sub-Andean zone. AAPG M. 62, 445-458.

Carlotto, V., 1998. Évolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°S), Pérou: enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogéographiques, évolution cinématique. Thèse Doc. Univ. Grenoble.

Dalmayrac B., Laubacher G. y Marocco R. 1988 : Caracteres generales de la evolución geológica de los Andes peruanos. Bol. N° 12, Serie D. Est. Esp., INGEMMET.

Dooley T., & Schreurs G., (2012). Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results. Tectonophysics 574-575 (2012). Geocatmin. <http://geocatminapp.ingemmet.gob.pe>

Gil W., 2001. Evolution latérale de la déformation d'un front orogénique: Exemple des bassins subandins entre 0° et 16°S. PhD Thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Herzoza, W., 2004; Dinámica tectono-sedimentaria y restauración secuencial de la cuenca de antepaís de los Andes centrales (Versión español). Tesis de Doctorado. Universidad Paul Sabatier Toulouse III.

Jaimes, F., Romero, D., 1996. Las cuencas sin-orogénicas de la región del Cusco: La cuenca Paruro (Mioceno superior). Tesis de grado, Univ. Nacional San Antonio Abad, Cusco.

Herail, G., Baby, P., Lopez, M., Oller, J., Lopez, O., Salinas, R., Sempere, T., Beccar, G., y Toledo, H., (1990). Structure and kinematic evolution of subandean thrust system of Bolivia. <https://www.researchgate.net/publication/32980030>.

Lavenu, A., 1986. Etude tectonique et neotectonique de L'altiplano et de la Cordillere Orientale des Andes Boliviennes. These de Docteur. Universite de Paris-Sud.

Mamani, M., 2006. Variations in magma composition in time and space along the Central Andes (13°S-28°S). Tesis Doctoral, Universidad de Göttingen P 108. GeoBolivia. <http://geo.gob.bo/>.

Mamani, M.; Rivera, F. (2010): Sistema de fallas Iquipi-Clavelinas: zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales. Sociedad Geológica del Perú. Boletín, n. 105, pp. 37-50, 2011

Marocco, R., 1978. Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba. Inst. Geol. y Min., Bol., Ser. D: Est. Esp. 4.

Müller, R.D.; Roest, W.R.; Royer, J-Y; Gahagen, L.M.; Sclater, J.G. (1997). Digital isochrons of the world's ocean floor. <http://www.agu.org/pubs/crossref/1997/96JB01781.shtm>

Perelló, J., Carlotto, V., Zárate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., Muhr, R., 2003. Porphyry-style alteration and mineralization of the middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas-Yauri belt, Cuzco region, Peru. Economic Geology 98, 1575-1605.

Pitcher, W., Atherton, M., Cobbing, E. y Beckinsale, R. (1985): Magmatism at a plate edge, the Peruvian Andes. 328 p. John Wiley and Sons New York.

Roperch, P., Sempere, T., Macedo Sánchez, O., Arriagada, C., Fornari, M., Tapia, C., García, M., Laj, C. (2006). Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene forearc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in Central Andes. Tectonics, v. 25, n. 3.

Ramos, V.A., 2008, The basement of the Central Andes: The Arequipa and related terranes: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 36, p. 289-324, doi: 10.1146/annurev.earth.36.031207.124304.

Rocha, E., 2013. Estilos estructurales del Subandino Sur de Bolivia. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.

Romero, D., Sanchez, A., Cruz, M.E., Ticona, P., Rodriguez R. 2002. Transpressional motions along the cordillera occidental-coastal belt boundary since the late cretaceous (southern Perú, 16° s) 5th international symposium on andean geodynamics, France.

Romero D., Valencia K, Alarcón P., Peña D., Ramos V., (2013). The offshore basement of Perú: Evidence for different igneous and metamorphic domains in the forearc. Journal of South American Earth Sciences 42.

Romero, D., 2007. La cuenca Cretácico superior-Paleoceno del Perú central: Un metalotéctico para la exploración de SMV, ejemplo Mina Maria Teresa. Tesis de Maestría. Red DESIR, ALFA. Universidad Politécnica de Madrid.

Sempere, T., Herail, G., Baby, P., Marocco, R., Oller, J., y Barrios, L., 1991. El altiplano boliviano-una provincia de cuencas intramontanas de antepaís relacionadas con el acortamiento cortical en la region del oroclino boliviano. Revista técnica de YPF, 12 (2): 225 - 221.

Soler, P. y Bonhomme, M. (1990): Relation of magmatic activity to plate dynamics in central Peru from Late Cretaceous to present. Geological Society of America Special Paper 241. pp 173-191.