

## Evidencias de tectónica transpresiva en la cordillera occidental del Centro del Perú (11° - 12°30' S)

### Evidence of Transpressional Tectonics in the Western Cordillera of Central Peru (11° - 12°30' S)

Yuly Mamani <sup>1</sup>  Javier Jacay <sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima. Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) Av. Venezuela cuadra <sup>34</sup> s/n, Ciudad Universitaria, Lima, Perú. (jjacayh@unmsm.edu.pe)

#### Resumen

Los Andes del Perú Central, ubicados entre los paralelos 11° y 12°30' de latitud sur, muestran un registro geológico que evidencia sucesivas etapas de deformación que afectaron al orógeno desde el Campaniano hasta el Maastrichtiano y el Eoceno. Durante el Mesozoico, la sedimentación estuvo controlada por la tectónica extensional, que posteriormente, en el Cenozoico, estas secuencias fueron deformadas debido a la inversión tectónica de fallas antiguas. Esto dio lugar a un importante sistema transcurrente que desempeñó un papel decisivo en la configuración estructural del orógeno Andino, compuesto por rocas volcánicas y volcanosedimentarias. Los eventos tectónicos se manifiestan en forma de escamas tectónicas, pliegues y estructuras de tipo flor positiva que han dado forma a esta parte de la Cordillera Occidental.

**Palabras clave:** *Cordillera Occidental, transpresivo, tectónica, sistemas transcurrentes.*

#### Abstract

The Andes of Central Peru, located between latitudes 11° and 12°30' south, exhibit a geological record that reveals successive stages of deformation that affected the orogeny from the Campanian to the Maastrichtian and Eocene. During the Mesozoic, sedimentation was controlled by extensional tectonics, but in the Cenozoic, these sequences were deformed due to the tectonic inversion of ancient faults. This resulted in a significant transcurrent system that played a decisive role in shaping the structural configuration of the Andean orogeny, composed of volcanic and volcanosedimentary rocks. The tectonic events are manifested in the form of tectonic scales, folds, and positive flower structures that have shaped this part of the Western Cordillera.

**Keywords:** *Western Cordillera, transpressional, tectonics, strike-slip systems.*

## INTRODUCCIÓN

La estructuración de las cadenas de montaña de los Andes, se caracteriza por presentar sistemas de fallas inversas paralelas a la orientación andina (sureste-noroeste), que han desempeñado un papel preponderante en la configuración del orógeno andino.

En el área ubicada entre la altiplanicie disectada y el piedemonte de la Cordillera Occidental, se encuentran una serie de fallas transcurrentes e inversas de orientación andina (sureste-noroeste).

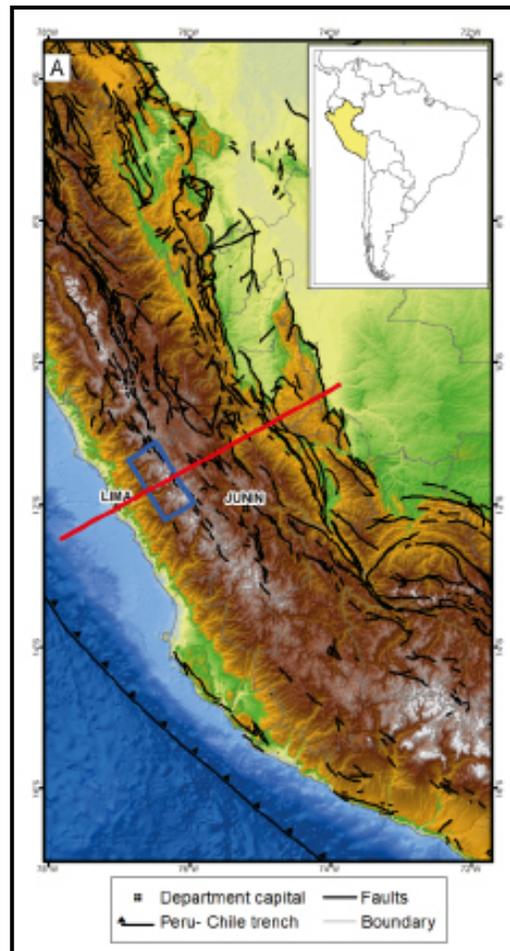
Estas fallas, ubicadas en el sector occidental, se extienden a lo largo de varias decenas de kilómetros (ver Figura 1A).

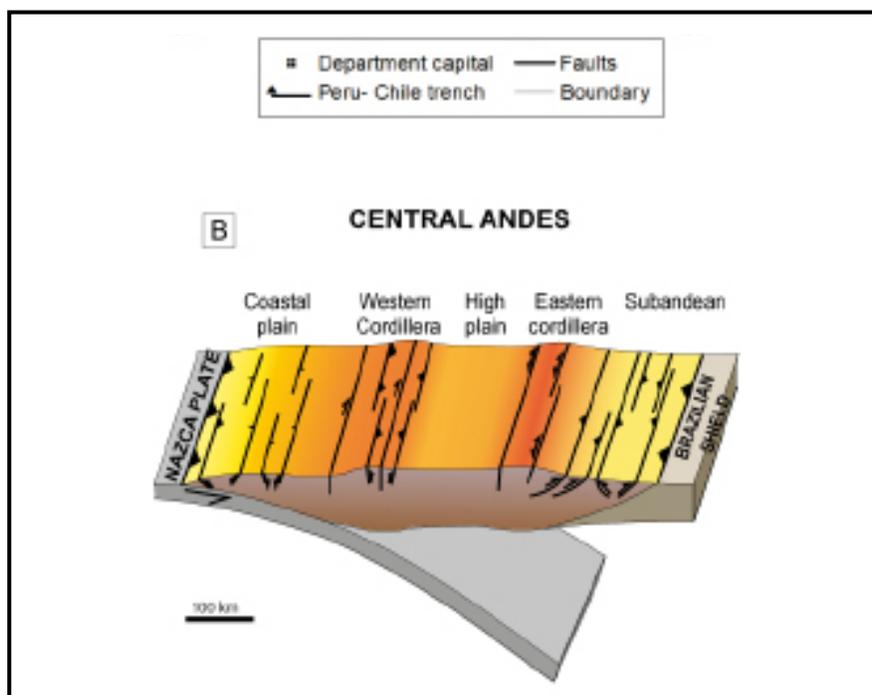
### Figura 1.

Mapa de ubicación de la zona de estudio, se muestran las principales fallas que afectan el territorio (modificado de INGEMMET, 2016). B) Corte transversal de los Andes del Perú central donde se muestran los estilos tectónicos característicos.

Una sección geológica esquemática elaborada en sentido transversal al eje de los Andes muestra la configuración tectónica de la cordillera y sus principales unidades morfoestructurales (Figura 1B).

Este trabajo resume la evolución estructural de la cordillera occidental comprendida entre los 11° y 12°30' de latitud, analizando trabajos previos y utilizando secciones estructurales locales.





### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En los Andes centrales, las unidades litoestratigráficas que lo conforman han sido reconocidas y descritas por los trabajos pioneros de McLaughlin (1924), Steinmann (1930), McKinstry (1932), Terrones (1949), seguido por los estudios de Megard (1978), Salazar (1983), Zimmerninck (1985).

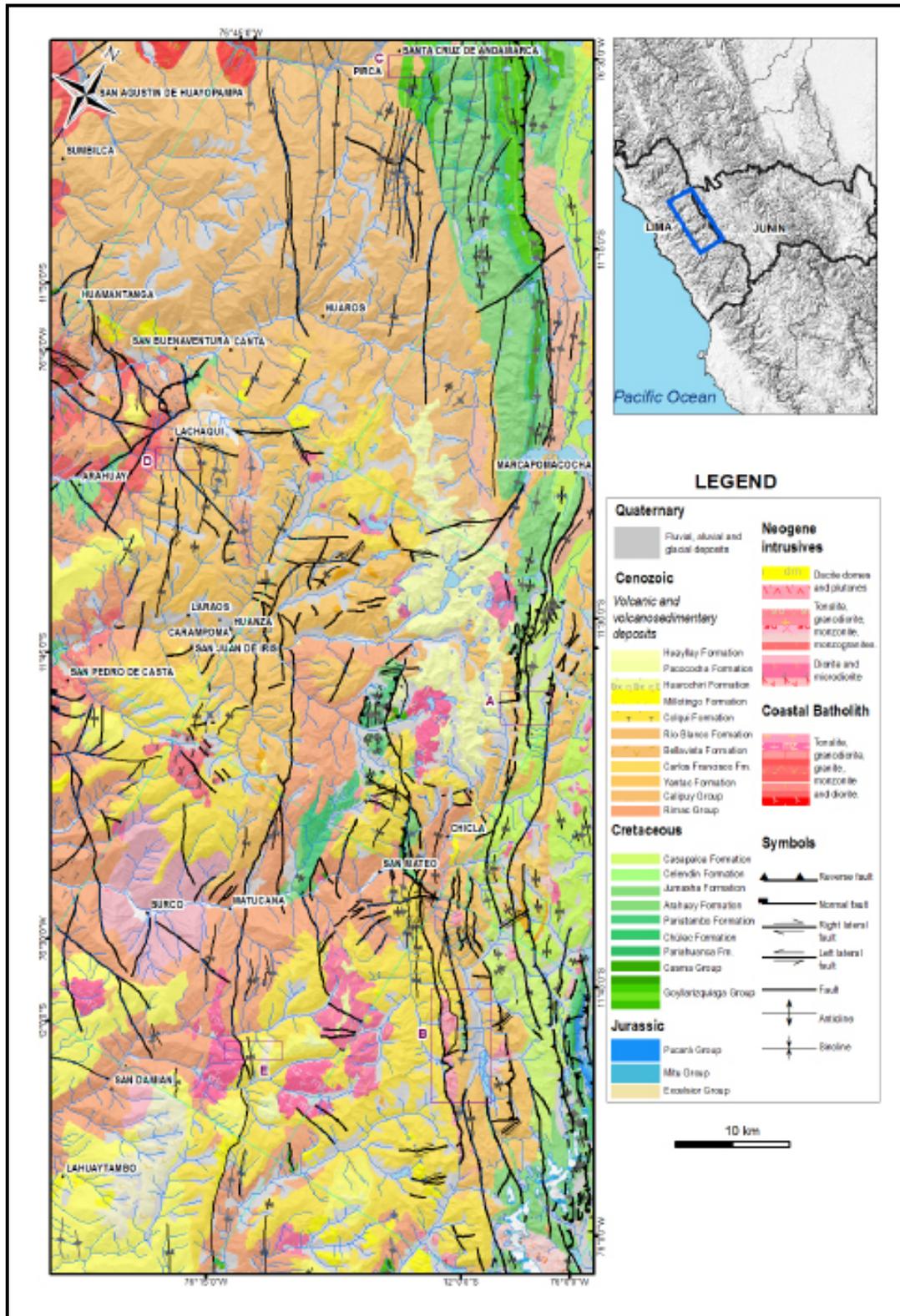
Estas unidades litoestratigráficas abarcan el intervalo cronoestratigráfico entre el Jurásico y el Cuaternario, siendo las principales unidades la Formación Oyón (Titoniano), Grupo Goyllarisquizga con las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat (Valanginiano-Barremiano), formaciones Pariahuanca (Aptiano – Albiano inferior), Chúlec (Albiano inferior – Albiano medio), Pariatambo (Albiano medio), Jumasha (Albiano superior – Turoniano) y Celendín (Coniaciano – Santoniano).

Posterior al Santoniano, sobre las unidades litoestratigráficas anteriormente descritas y según su ubicación, se depositan las capas rojas de la Formación Casapalca (Campaniano – Paleoceno), que yace sobre una superficie de erosión en los sectores occidentales, o concordantemente de manera transicional sobre la Formación Celendín en los sectores inmediatamente por delante de las estructuras de inversión.

En el Paleógeno – Neógeno, sobre una importante superficie de erosión y sellando a las unidades sedimentarias, se encuentran los afloramientos de las unidades volcánicas y volcanosedimentarias descritas como los grupos Calipuy y Rímac, además de las formaciones Colqui, Millotingo, Carlos Francisco, Huarochiri, Catrovirreyna, entre otros (Figura 2).

**Figura 2.**

Mapa geológico regional donde se muestran la distribución de las estructuras estudiadas (modificado de Cobbing, 1973 y Salazar 1983)



## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los sistemas de cabalgamientos presentes en la Cordillera Occidental del Perú central han sido tratados por diferentes autores especialmente por Szekely (1967 y 1969), quien presenta una serie de cortes estructurales suroeste-noreste, localizados entre el lago Huallacocha y el anticlinal de Chumpe, resaltando las estructuras imbricadas para la zona más occidental.

Así mismo, menciona que los niveles de despegue de las imbricaciones, son las lutitas negras de la Formación Pariatambo.

Wilson (1963) y Harrison (1960) describieron un patrón estructural similar a lo descrito para la Formación Oyón expuesto en la parte alta del valle del río Huaura.

Megard (1978) evidenció la complejidad estructural presente en la quebrada Huachuga – sector de Huampar y en la parte media a superior del valle del río Rímac, describiendo las estructuras bajo la terminología de una “*zone imbriqué*” relacionado a una zona de cizallamiento con rumbo andino, que fueron producto de las fallas inversas reactivadas de antiguas fallas normales de edad mesozoica.

Lepry (1981) realizó importantes observaciones sobre el estilo microtectónico de las rocas paleozoicas y mesozoicas y su relación con las estructuras mayores, presentando cortes estructurales típicos de una faja plegada calculando un porcentaje de acortamiento de 20% para la región de Yauli, demostrando que la Formación Pariatambo es el nivel de despegue en la estructuración de las secuencias de cabalgamientos, Romani (1982) realizó un estudio detallado de la estratigrafía y un esbozo de la sedimentología de las rocas cretácicas de Uchucchacua, que expone cabalgamientos en zonas estructurales y compartimientos cada uno

con diferente estilo estructural que correspondería a hemigrabens invertidos, calculando igualmente un acortamiento entre 40% y 50%, haciendo énfasis de que los niveles de despegue se sitúan en las formaciones Oyón y Pariatambo.

Ángeles (1987) documentó la relación entre las mesoestructuras y las microestructuras que fueron descritas como “napas” inferior y superior expuestas entre los ríos Alis y Sinhua en la parte alta del valle del río Cañete, obteniendo un acortamiento entre 50% a 60% y, donde los niveles de despegue también se ubican en las formaciones Oyón y Pariatambo.

Los autores antes citados interpretaron un sistema imbricado o de escamas para la Cordillera Occidental, desarrollando un sistema de cabalgamientos con vergencia al este, en el que destacan una serie de fallas inversas que estructuran una faja plegada.

## RESULTADOS

Las observaciones de campo realizadas en el presente estudio, han permitido reconocer dos unidades tectónicas competentes, Unidad Tectónica inferior conformado por el Grupo Goyllarisquizga (formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat) y las formaciones Pariahuanca, Chúlec, y la Unidad Tectónica superior, conformado por la Formación Jumasha; como unidades incompetentes son descritas las formaciones Oyón, Pariatambo y Celendín, siendo estas últimas unidades las que juegan un rol importante como niveles de despegue para la estructuración del sistema de cabalgamientos de la Cordillera Occidental.

Del mismo modo, las observaciones de campo, la interpretación de las imágenes satelitales y la elaboración de las cartas geológicas, documentado por la orientación predominante de los sistemas de pliegues relacionado a su vergencia con la

dirección de inclinación de la charnela y grado de inclinación de su plano axial.

Su relación con los sistemas de fallas inversas, indican un sistema de propagación típico de una faja plegada con vergencia al este.

Las fallas presentan trazos de baja sinuosidad (vista en planta), han configurado pliegues con plano axial vertical o ligeramente inclinado, esta geometría estaría relacionada a una rampa tectónica de alto ángulo, evidenciando en superficie pliegues apretados en la Formación Jumasha que están relacionados a fallas inversas con probable despegue en la Formación Pariatambo.

En el frente de los cabalgamientos, se observa una fuerte esquistosidad tectónica con rumbos entre N 40°O y N 20° O, paralela a las fallas inversas con vergencia al este.

Estas afectan a los niveles superiores de las formaciones Jumasha y Casapalca (ver Figura 3a), visibles en el sector de Ticlio, abra de cerro Yuncan (entre Santader y Chungar), abra de Antaccasa, laguna Jurpay, abra Calera (Puagianca), entre otros.

Se interpretan como producto de la inversión tectónica.”

El sistema tectónico de la Cordillera Occidental (paralelos 11° - 12°30' S) tiene como nivel de despegue a la Formación Oyón (Titoniano), que permite sobreyacer a la Formación Chimú (Valanginiano) sobre las unidades litoestratigráficas más jóvenes, como ocurre Picoyanque (sector occidental del cuadrángulo de Ondores) donde la Formación Chimú sobreyace a la Formación Yantac (Eoceno) que pertenece a base del Grupo Calipuy; mientras que en la laguna Chuspicocha y Yuracmayo (SE del cuadrángulo de Matucana),

la Formación Jumasha cabalga mediante una falla inversa a la Formación Carlos Francisco (Figura 3B), así mismo en el sector occidental de la laguna Punrun (SE del cuadrángulo de Oyón) la Formación Jumasha se sobreyace a la Formación Casapalca siendo el nivel de despegue la Formación Pariatambo.

Los anticlinales y sinclinales que afectan a la Formación Casapalca se han estructurado mediante fallas ciegas (*blind thrust fault*) Estas estructuras tienen su nivel de despegue en las margas lutáceas de la Formación Celendín.

Las observaciones de campo documentan los cambios de los niveles de despegue, mientras que, la Formación Oyón es la unidad despegue para los sectores más occidentales, la Formación Pariatambo lo es para el sector central y la Formación Celendín es la unidad de despegue en los sectores más orientales de la Cordillera Occidental, además los niveles de despegue migran desde niveles inferiores hacia los niveles más superiores.

En los niveles superiores, las principales estructuras desarrolladas han conformado valles lineales, como en río Blanco, donde afloran pliegues (anticlinales y sinclinales) en flor positiva, asociados a la progresión de fallas inversas en los cerros Tatajyco, Paccha, Amargura y Jupay Grande, en San Mateo.

Entre los paralelos 11° - 12°30' S, se observan estructuras compresivas con vergencia al oeste, como los pliegues anticlinales y sinclinales del cerro San Cristóbal - Carhua (Canta).

Estos pliegues presentan un plano axial vertical a ligeramente inclinado, relacionado con la propagación de una falla inversa de alto ángulo con vergencia al oeste.

El nivel de despegue estaría a la base de la Formación Arahuay (Albiano medio - Turoniano), que se sobrepone a los niveles volcánicos paleógenos.

En el cerro Araro, parte alta del valle del río Huaral (Santa Cruz de Andamarca), el sistema de pliegues con plano axial vertical afecta al Grupo Calipuy (Eoceno – Mioceno inferior), en contacto con la Formación Carhuaz mediante una falla inversa de alto ángulo, componente de un sistema transpresivo, conformando una estructura de inversión con vergencia al oeste (Figura 3C).

En la parte alta del valle de Lincha, en las lomas del cerro Huayllapucro – Tintac (Yauyos), se observa que la secuencia volcánica del Grupo Sacsacero (Oligoceno) y las formaciones Castrovirreyna (Oligoceno – Mioceno inferior) y Caudalosa (Mioceno superior), se encuentran plegadas y falladas, con pliegues asimétricos y con estructuras de empuje con vergencia occidental.

En el sector noreste del cuadrángulo de Chosica (al este del poblado de Lachaqui) las secuencias volcanosedimentarias de la Formación Colqui se muestran deformadas, exhibiendo pliegues asociados a fallas ciegas (falla cuyo plano de la falla termina antes de llegar a la superficie) con vergencia al este y con rumbo andino (Figura 3C) asociadas a fallas dextrales de rumbo E-O.

Entre Santiago de Anchucaya, Matucana y Huanza se extiende un sistema de fallas de NO-SE que afectan a secuencias cenozoicas moderadamente plegadas con vergencia al este (Figuras 3D); además se observan estratos de crecimiento en la Formación Huarochirí (Mioceno medio – superior) en el poblado de Jicamarca ( $11^{\circ}44'21''$  S –  $76^{\circ}42'16''$  O) que se han desarrollado en los niveles de tobas y volcanoclásticos basculados como respuesta a fallas extensionales que afectan a las rocas volcánicas del Grupo Rímac.

En las zonas de ‘valles encañonados’, como el cañón del Infiernillo (río Rímac) y Pampamayu (río Baños), es posible observar estructuras tectónicas asociadas al nivel medio inferior de sistemas transpresivos.

En el cañón del Infiernillo (río Rímac), se pueden observar desde cizallamientos anastomosados hasta lineales con buzamiento de alto ángulo, que afectan a unidades como la Formación Chimú.

Esta unidad se presenta intensamente cizallada, con fracturas paralelas a la estratificación, asociadas a la zona de la falla río Blanco.

Por otro lado, en la zona del cañón de Pampamayu (río Baños), se pueden observar estructuras de inversión tectónica con fuerte cizallamiento y con plano axial subvertical con vergencia al oeste.

## DISCUSIONES

En este trabajo, argumentamos que la estructuración de la Cordillera Occidental (paralelos  $11^{\circ}$  -  $12^{\circ}30'$  S) está constituida por un sistema de plegamiento con orientación andina.

Se evidencia que los niveles de despegue tectónicos en el sector occidental se ubican en la Formación Oyón y migran a los niveles superiores donde se localizan las formaciones Pariatambo y Celendín.

Las fallas inversas son responsables de invertir las sucesiones sedimentarias del sustrato precenozoico, como la Formación Chimú.

El trazo de la falla sobre la carta geológica presenta una baja sinuosidad y está asociado a un fuerte cizallamiento tectónico.

Esto se debe principalmente a la estructuración en rampas tectónicas de alto ángulo con vergencia al este. También se observan en ciertas áreas el desarrollo

de estructuras compresivas con vergencia al oeste.

Estos sistemas de fallas de vergencia pacífica han sido previamente señalados en la Cordillera Occidental en algunos cortes estructurales realizados por Romani (1982) en la región de Uchucchacua y por Angeles (1987) en el área de Huacuypacha (alto Cañete).

El cizallamiento tectónico asociado a las estructuras de pliegues y fallas menores (sistemas Riedel) presentes en los niveles superiores, así como el asociado a los sistemas de fallas inversas, han ocurrido después de la inversión tectónica.

Están vinculados localmente a un sistema transcurrente (Figura 3A).

Además, los estratos de crecimiento presentes en rocas del Mioceno se interpretan como respuesta a un sistema extensional o transtensivo, de manera paralela en el sector externo.

Las estructuras post y sin tectónicas han ocurrido en varios períodos de la historia geológica de la región andina.

Las estructuras compresivas con vergencia al

oeste están cubiertas por las rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno.

Se interpreta que este periodo de tiempo es relevante para la estructuración de esas fallas fuera de secuencia. Los depósitos del Paleoceno superior a Oligoceno están deformados y afectados por fallas inversas que han exhumado las rocas del Cretácico inferior, lo que ha resultado en las deformaciones sintectónicas presentes en los depósitos del Mioceno (Formación Huarochiri).

Por lo tanto, se puede sostener que la edad de deformación de estas estructuras es del Mioceno, como había sido reconocido por Megard (1984).

Igualmente, Muñoz y Sepúlveda (1992), Muñoz y Charrier (1996), Drozdowski y Mon (1999), Victor (2004), Farías et al. (2005), Carrera et al. (2006), Lebinson et al. (2020), DeCelles et al. (2015), entre otros, describen estructuras similares para los Andes chilenos y argentinos.

Estos investigadores concluyen la importancia de la inversión tectónica en un sistema transpresivo para la estructuración de la Cordillera Occidental en estas regiones.

### **Figura 3.**

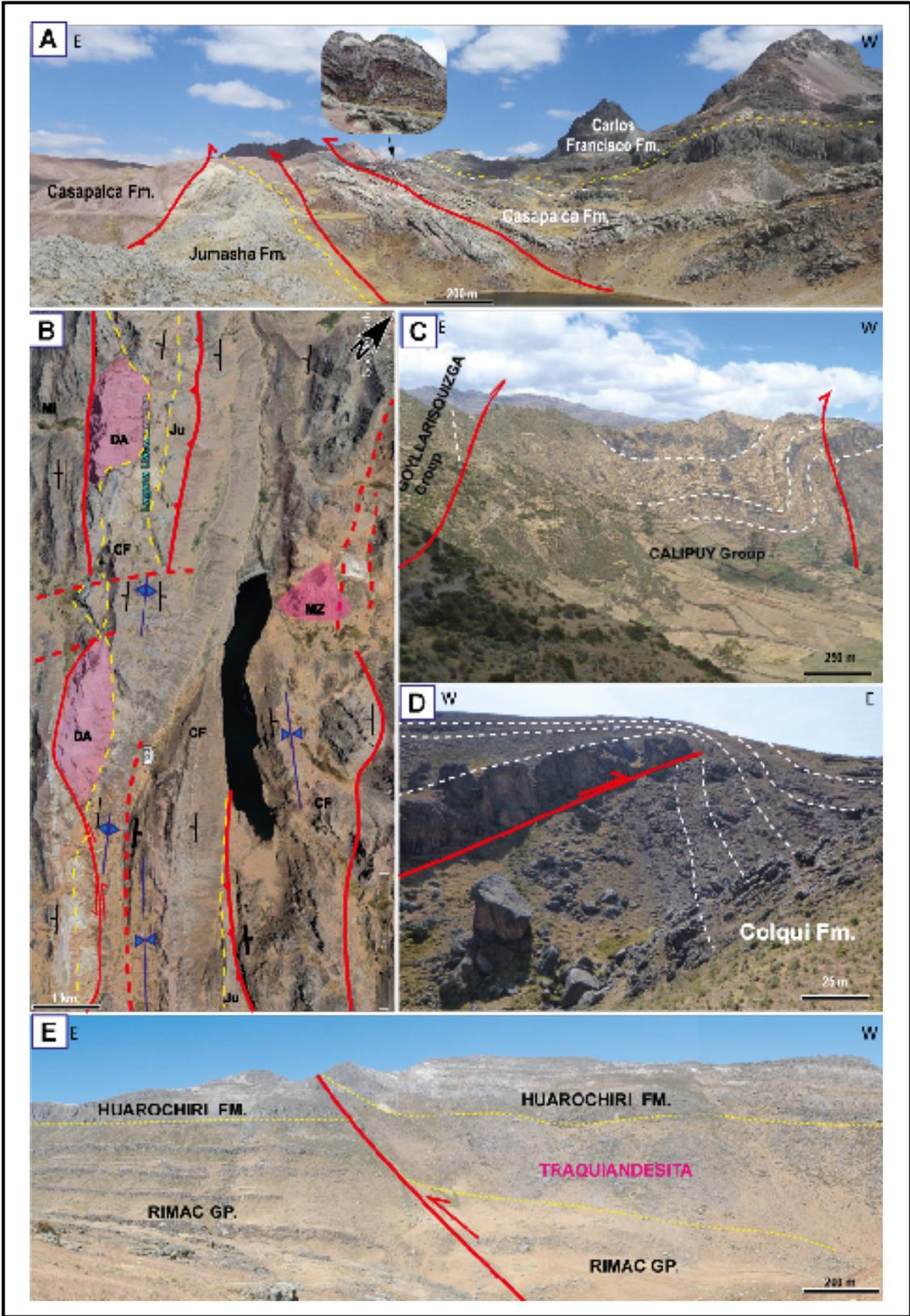
*A) Vista panorámica al sur de cerro Panapashatran (cuadrángulo de Matucana) donde una serie de fallas inversas afectan a las Formaciones Jumasha y Casapalca conformando escamas tectónicas que generan pliegues de arrastre e intensa esquistosidad tectónica.*

*B) Mapa satelital del valle de río Blanco, donde la Formación Jumasha (Ju) sobreyace mediante una falla inversa a la Formación Carlos Francisco (CF), un sistema de fallas transcurrentes a lo largo de la cual se intruyen diversos cuerpos dacíticos (DA).*

*C) Afloramientos del Grupo Calipuy afectado por una falla fuera de secuencia (back thrust), cerro Araro en la parte alta del valle de Huaral, vista al sur.*

*D) Falla inversa ciega que afecta a secuencias volcanoclásticas de la Formación Colqui y genera un pliegue por propagación de falla, al este de Lachaqui.*

*E) Vista de la margen derecha de quebrada. Huallapampa al sur de Matucana, donde la falla inversa que afecta a secuencias de lavas del Grupo Rímac, pliega ligeramente a las tobas de la Formación Huarochiri además esta es aprovechada por un dique feeder de un cuerpo traquiandesítico.*



## Conclusiones

A partir de los trabajos de cartografiado y observaciones estructurales en esta región del Perú central, se evidencia que los niveles de despegue son las unidades incompetentes (Oyón, Pariatambo y Celendín), las cuales invierten las sucesiones estratigráficas desde la base del Cretácico, estructurándolo en un sistema de plegamiento de vergencia al este.

Los anticlinales y sinclinales que se presentan con un plano axial vertical y la presencia de una foliación y esquistosidad tectónica asociada a las fallas son manifestaciones relacionadas con los frentes de inversión tectónica.

El conjunto de estructuras tectónicas, como el rumbo casi recto del trazo de las fallas inversas en superficie, los planos axiales de los pliegues verticales y la presencia de estructuras compresivas con vergencia al este y al oeste, nos sugieren la existencia de un sistema transpresivo para la Cordillera Occidental.

El desarrollo de estratos de crecimiento en unidades superiores no es simplemente una manifestación de una tectónica distensiva o transtensiva, sino que requerirá futuros estudios para su resolución.

## Referencias

Ángeles, C. (1987). *Les chevauchements de la Cordillère Occidentale par 12°15' (Andes du Pérou Central)*. These 3° cycle Univ.S.T.L., Montpellier, 184 p.

Carrera N., Muñoz J.A., Sabat F., R. Mon R. & Roca E. (2006). The role of inversion tectonics in the structure of the Cordillera Oriental (NW Argentinean Andes). *Journal of Structural Geology* 28 1921-1932.

Cobbing, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. *Boletín INGEMMET. Serie A-26: Carta Geológica Nacional*, 172p.

DeCelles P.G., Zandt G., Beck S.L., Currie C.A., Ducea M.N., Kapp P., Gehrels G.E., Carrapa B., Quade J. & Schoenbohm L.M. (2015). Cyclical orogenic processes in the Cenozoic central Andes. *The Geological Society of America Memoir* 212, p: 459-490.

Drozdowski G. & Mon R. (1999). Oppositely-verging thrusting structures in the North Argentine Andes compared with the German Variscides. *Acta Geologica Hispanica*, v. 34, n° 2-3, p. 185-196.

Farías M., Charrier R., Comte D., Martinod J., & Gérard Hérail G. (2005). Late Cenozoic deformation and uplift of the western flank of the Altiplano: Evidence from the depositional, tectonic, and geomorphologic evolution and shallow seismic activity (northern Chile at 19°30' S). *Tectonics*, Vol. 24, TC4001, DOI: 10.1029/2004TC001667.

Harrison, J. (1960). Structural doubts about the Andes of Peru. *Internat. Geol. Congr., 21st Sess., Proc.*, pt. 18, p. 7-13.

Lebinson F., Turienzo M., Sánchez N., Cristallini E., Araujo V. & Dimieri L. (2020). Kinematics of a backthrust system in the Agrio fold and thrust belt, Argentina: Insights from structural analysis and analogue models. *Journal of South American Earth Sciences*. 100, 7-4, p: 1-18.

- Megard, F. (1984). The andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society*, London, 141: 893-900.
- Muñoz, N., & R. Charrier (1996). Uplift of the western border of the Altiplano on a west-vergent thrust system, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 9, 171 – 181.
- Muñoz, N., & Sepúlveda P. (1992). Estructuras compresivas con vergencia al oeste en el borde oriental de la Depresión Central, norte de Chile (19°15'S). *Revista Geológica de Chile*, 19, 241-247.
- Romani, M. (1982). *Géologie de la région minière Uchucchacua Hacienda Otuto, Pérou*. Thèse 3eme cycle, Grenoble, 176 pp.
- Salazar, H. (1983). Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí. *Boletín INGEMMET, N° 36, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 71p.
- Szekely, T. (1967). Geology near Huallacocha lakes, central high Andes, Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 51 (7), p: 1346-1353.
- Szekely, T. (1969). Structural geology, Cochabamba to Yauricocha, central High Andes, Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 53(3): 553-567.
- Terrones, A. (1949). La estratigrafía del distrito minero de Morococha. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 2 (8), pp. 1-15.
- Victor, P.; Oncken, O. & Glodny, J. (2004). Uplift of the western Altiplano plateau: Evidence from the Precordillera between 20° and 21°S (northern Chile). *Tectonics*, 23: TC400. DOI: 10.1029/2003TC001519.
- Wilson, J. (1963). Cretaceous stratigraphy of central Andes of Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 47, p. 1-34.
- Zimmernink, W. (1985). *Geology and mineralogy of Felicidad and Santander: two Peruvian skarn-type deposits in Cretaceous (sedimentary) host rock (with a case study of various garnet types)*. Doktorwurd der Naturwissenschaftlich - Mathematisch, Ruprecht-Karls Universität, Heidelberg:1985,170 p.