



Estilo estructural y modelo alternativo de evolución tectónica del cenozoico, Cuenca Pisco este – mar afuera, Ica - Lima

Daniel Peña

Repsol Exploración

RESUMEN

La cuenca Pisco Este (Figura 1) pertenece al conjunto de cuencas del antearco peruano, la cual está limitada por el Oeste por el alto estructural conocido como Cordillera de la Costa (Outer Shelf High: OHS; ⁽¹⁾) y por el Este por el bloque Continental Olmos Marañón ⁽²⁾. Esta cuenca está caracterizada por tener una historia tectónica muy compleja y poco conocida, debido a los escasos afloramientos existentes a lo largo de la costa, aunque algunos autores ^{(3)&(4)} evidenciaron rasgos de extensión y compresión que afectaron la cuenca a lo largo del Cenozoico.

Este trabajo integra la información obtenida de la interpretación sísmica 2D y 3D en el sector costa-afuera de la cuenca Pisco Este con los trabajos recientes de geología de superficie realizadas por Savia ⁽⁵⁾ y la información existente ^{(3)&(4)}, con el objetivo principal de mostrar nuestra nueva interpretación de los estilos estructurales y la evolución tectónica del Cenozoico, mediante un análisis estructural de fallas y los rasgos de deformación asociados tales como: cuñas sedimentarias relacionadas a fallas de extensión, fallas de transferencia y pliegues por propagación de falla relacionados a inversión tectónica. Además este trabajo tiene como objetivo explicar como el entendimiento del estilo estructural y su evolución son un factor clave para caracterizar elementos del sistema petrolero: trampa, reservorio y sello.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La interpretación de 7 horizontes (reflectores sísmicos) en la sección costa afuera de la cuenca Pisco Este frente a las localidades de Mala

y la Península de Paracas (grábenes Sarapampa y Chincha; Figura 1) nos ha permitido obtener 7 mapas estructurales (tiempo y profundidad) de los cuales 6 están relacionados a la historia tectónica del Cenozoico y que consideramos por estudios estratigráficos regionales ⁽⁴⁾ representan a las siguientes Formaciones: Pre-Cenozoico (sustrato Cretáceo ó Jurasico ó Paleozoico según su posición en la Cuenca), Choros (Eoceno Medio-Superior), Yumaque I-II (Eoceno Superior – Oligoceno Inferior), Chilcatay (Oligoceno Superior), Pisco Inferior (Mioceno Superior) y Pisco superior (Mioceno Superior) ⁽⁴⁾.

A partir de los 6 mapas estructurales se definieron 2 rasgos estructurales principales:

- 1) Un total de 80 fallas (entre principales y secundarias) y sus características estructurales: dirección del buzamiento, buzamiento, longitud y rechazo. Así como también se obtuvo el sentido del desplazamiento de las fallas.
- 2) Dos pliegues por propagación de falla, de los cuales se obtuvieron los buzamientos de los flancos y su respectivo plunge y se definieron los ejes respectivos.

Esta información estructural fue analizada e integrada a las unidades estratigráficas conocidas regionalmente con el objetivo de definir el comportamiento cinemático de las fallas y estructuras relacionadas, establecer una cronología y orientación del esfuerzo y la deformación y finalmente establecer un nuevo modelo del estilo estructural y la evolución tectónica del Cenozoico de la cuenca Pisco Este.

ANÁLISIS & RESULTADOS

Luego de la definición de los 2 rasgos estructurales más importantes –Fallas y Pliegues– se analizaron las fallas por el tipo de morfología, relación geográfica y su influencia sobre el relleno sedimentario de la cuenca con lo cual se definieron 5 familias de fallas y 1 familia de pliegues (Figura 1):

- Familia 1 – fallas extensionales en-echelón ~NO-SE relacionadas al borde oriental de la Cordillera de la Costa.
- Familia 2 – Fallas normales ~SW-NE relacionadas a sistemas de grábenes y hemigrábenes.
- Familia 3 – Conjunto de fallas de transferencia ~NNW-SSE (sinistral o dextral) y fallas relacionadas a las estructuras de inversión tectónica.
- Familia 4 – Fallas de liberación ~SW-NE relacionadas a la formación de grábenes.
- Familia 5 – Fallas normales reactivadas ~SW-NE relacionadas al sistema de grábenes.

Mediante el análisis del registro sedimentario, tales como geometrías tipo cuñas sedimentarias relacionadas a fallas extensionales (p.e. grábenes en la Península de Paracas – en afloramiento ó Graben Sarapampa- en sísmica), u otras como terminaciones de reflectores (p.e. onlap, etc) ó geometrías relacionadas a estratos de crecimiento y pliegues por propagación de falla causados por compresión (p.e. complejo San Salvador – en sísmica ó pliegue por propagación de falla sellado por estratos horizontales del Mioceno Superior observado en superficie en Pampa Chilcatay), hemos logrado determinar la interacción entre el relleno sedimentario y el funcionamiento de las familias de fallas. Así hemos asociado a las familias de fallas cronológicamente, obteniéndose lo siguiente:

- Asociación de Familias 1, 2 & 3 (Figura 2) – Estas tres familias están relacionadas a las fallas extensionales del borde oriental de la Cordillera de la Costa, las fallas extensionales de los grábenes Sarapampa y Chincha y acopladas a las fallas de transferencia con componente dextral. Esta asociación de fallas nos dan como resultado una dirección de extensión principal ~N340. Cronológicamente se le ha asignado una edad Pre- Eoceno Med. (>~40-

37Ma)–Oligoceno Inf. (~ 37- 30Ma).

- Asociación de Familias 3 y Pliegues por propagación de fallas (Figura 2) – Esta asociación relaciona las fallas de transferencia reactivadas e invertidas con componente sinistral y pliegues anticlinales (dato estructural: flancos, plunges y ejes). Esta asociación da como resultado una orientación principal de esfuerzo ~N50. Cronológicamente se le ha designado una edad Oligoceno Superior (~28Ma) – Mioceno Inferior – Medio (~10-5Ma).
- Asociación de Familia 5 (Figura 4). Esta asociación corresponde a la reactivación de las fallas normales relacionada a los grábenes (reactivación de Familia 2). Esta asociación nos da como resultado una orientación principal de esfuerzo ~N330. Cronológicamente se le ha designado una edad Mioceno Superior Terminal (~10Ma?) – Reciente.

ESTILO ESTRUCTURAL Y NUEVO MODELO DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA

Estas tres asociaciones descritas líneas arriba nos han permitido definir los diferentes estilos estructurales presentes en la cuenca:

- Desarrollo de grábenes y hemigrábenes con familias de fallas ~SW-NE y fallas de transferencia dextral ~SW-NE, asociados a una orientación principal de extensión ~N340 y de edad ~>40-30Ma (Figura 2).
- Desarrollo de pliegues por propagación de falla relacionados a una inversión tectónica de bloques de basamento producto de la rotación de la componente de esfuerzo compresional principal ~N50 (Figura 3).
- Reactivación de los grábenes asociados a fallas ~SW-NE que a su vez convive con la componente de esfuerzo compresional ~N50 (Figura 4).

La definición de los estilos estructurales existentes nos permite mostrar un nuevo modelo de evolución tectónica. La cuenca Pisco Este se desarrolla entre la Cordillera de la Costa por el Oeste y el bloque continental Olmos-Marañón por el Este (Figura 1), los cuales funcionan a manera de bloques rígidos y que a su vez están acoplados a una

convergencia oblicua que varía su orientación de esfuerzos a lo largo de su historia (Figuras 2). Con esta breve introducción procedemos a describir nuestro modelo de evolución tectónica.

Nuestro modelo de evolución tectónica inicia con un periodo de extensión de edad Pre- Eoceno Medio (~40-37Ma) – Oligoceno Inferior (~37- 30Ma) con un eje del componente principal de extensión ~N340 (Asociación de familias de fallas 1), y que está estrechamente relacionada al movimiento dextral de los dos bloques rígidos mencionados (asociados a fallas transcurrentes en sus bordes) y que producen un efecto “acortamiento” vertical y extensión horizontal intra-cuenca (Figura 2) la cual denominamos una cuenca transpresional (tipo Modelo E de ⁽⁶⁾) que genera depositación en contexto extensivo. Este movimiento de bloques rígidos a su vez estaría acoplado con la orientación de convergencia oblicua de la placa Nazca ~N59 ^{(7), (8), (9)}.

Luego se observa que estas fallas extensionales dejan de actuar para dar paso al funcionamiento de las fallas que tienen una componente de esfuerzos principal ~N50 y dan como resultado la inversión tectónica de la Asociación de Fallas 2 y generan pliegues por propagación de falla. Esto también estaría asociado al movimiento de los bloques rígidos, además postulamos que este movimiento tendría una componente sinistral y que respondería a una importante rotación de la orientación de estrés principal de la convergencia (~N87; ^{(7), (8)}). La cuenca seguiría siendo una cuenca transpresional, pero del tipo Modelo B ⁽⁶⁾ y se produce un efecto acortamiento horizontal y “extensión” vertical (Figura 3).

Por último, desde los ~10 Ma hasta la actualidad la cuenca es afectada por la llegada de la Dorsal de Nazca y la migración hacia el sur de la misma. Esto causa un impacto importante ya que produce levantamiento (y erosión tectónica) durante su subducción y migración hacia el Sur ⁽¹⁰⁾. Asimismo este efecto también causa extensión en los bordes de la influencia sobre el antearco de la dorsal además de subsidencia y reacomodo posterior a la migración de la dorsal. Este efecto de levantamiento y extensión, lo que llamamos convivencia, lo hemos evidenciado en la asociación de familia 5 (Figura 4).

Esto da como resultado un continuum tectónico reconocido en otras cuencas del antearco peruano ⁽¹¹⁾. Asimismo es importante resaltar que este

modelo de evolución tectónica ha tenido un impacto en varios aspectos desde el punto de vista de exploración petrolera de los cuales mencionaremos algunos factores claves: 1) Durante la extensión (~40-30Ma) permite la depositación de la roca reservorio y sello reconocidas en superficie, y el soterramiento de las potenciales rocas madre (Cretáceas y Paleozoicas); 2) durante la inversión tectónica se generan trampas estructurales y estratigráficas-estructurales; 3) durante la reactivación de la extensión (<~10Ma) se produciría la subsidencia de los depocentros (grábenes) y un evento tardío de generación de hidrocarburos.

REFERENCIAS

⁽¹⁾ Thornburg y Kulm, 1981, Sedimentary basins of the Peru continental margin: Structure, stratigraphy, and Cenozoic tectonics from 6° to 16° S latitude. G.S A.

⁽²⁾ Savia, 2009. Procesamiento digital de imágenes y cartografía digital del litoral entre Chiclayo y Paracas:: Darwin Romero, et al.

⁽³⁾ Vicente et al., 2000 Características de la Extensión Paleógeno en el Sector de Palpa (Ica): Enseñanzas del Corte del Curso del Rio Grande. Boletín 90, SGP

⁽⁴⁾ Leon et al., 2008. Estratigrafía, sedimentología y Evolución Tectónica de la Cuenca Pisco Oriental. Bol.27 Serie D. Estudios Regionales, Ingemmet.

⁽⁵⁾ Savia, 2011 & 2012. Proyecto Geología del Cenozoico: Geólogos Daniel Peña, Diego Timoteo, Kiko Valencia, Carlos Llerena

⁽⁶⁾ Fossen & Tikoff, 1998. Extended models of transpression and transtension, and application to tectonic settings. Geol. Soc. of London Special Publication, 135.

⁽⁷⁾ Pardo Casas & Molnar, 1987. Relative Motion of Nazca (Farallón) and South American Plates since Late Cretaceous Time. Tectonics, Vol. 6, No.3

⁽⁸⁾ Somoza, 1998. Updated Nazca (Farallón)-South American relative motions during the last 40My: Implications for mountain building in the central Andean Region. Journal South American Earth Sciences, Vol. 11, No 3.

⁽⁹⁾ Etherridge et al., 1991. The role of intraplate stress in Tertiary (and Mesozoic) deformation of

the Australian Continent and its Margins: a Key factor in petroleum Trap Formation. Exploration Geophysics.

(10) Cliff & Petcher, 2003. Tectonic erosion of the Peruvian forearc, Lima Basin, by subduction and Nazca ridge collision. Tectonics Vol. 22

(11) Semperé et al., 2004. Geología, geocronología, paleogeografía y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú". XII CPG.

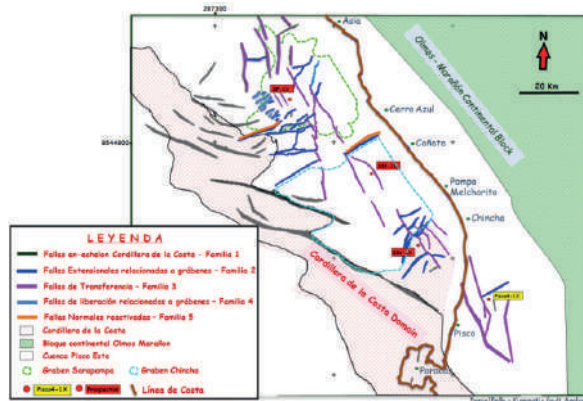


Figure 1. Mapa de ubicación de la parte sur y central de la cuenca Pisco Este, principales elementos morfoestructurales y las principales fallas.

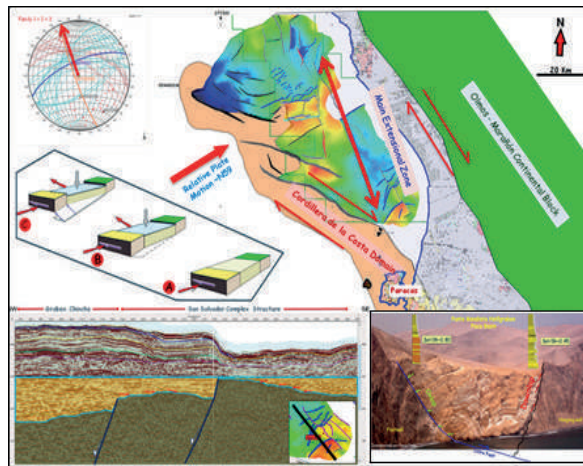


Figure 2. Mapa estructural del Horizonte - Fm. Choros integrado al contexto regional de la cuenca Pisco Este, Análisis cinemático de la Asociación de fallas 1,2 & 3. Línea sísmica "flatenizada" al horizonte - Fm Choros mostrando la morfología de los grabenes con eje N-S, Graben de Punta Mendieta reinterpretado y finalmente un modelo simplificado del desarrollo de la zona principal de extensión de la Cuenca

(modelo adaptado de Fossen & Tikoff 1998)

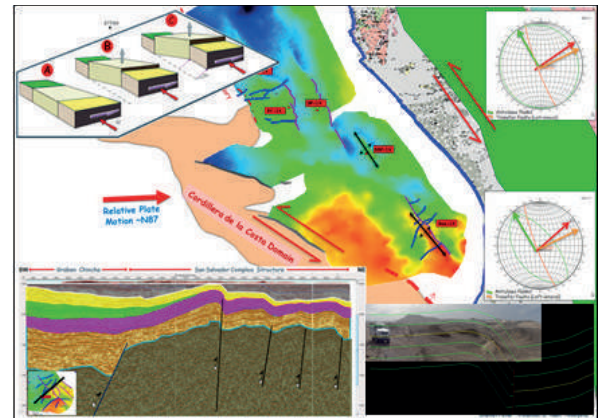


Figure 3. Mapa estructural del Horizonte - Fm. Chilcatay integrado al contexto regional de la cuenca Pisco Este, Análisis cinemático de la Asociación de fallas 3 y pliegues. Línea sísmica con el horizonte - Fm. Pisco Inferior casi subhorizontal y pliegue en afloramiento - observar los pliegues por propagación de falla. Finalmente un modelo simplificado del desarrollo de la zona principal de compresión de la Cuenca (modelo adaptado de Fossen & Tikoff, 1998)

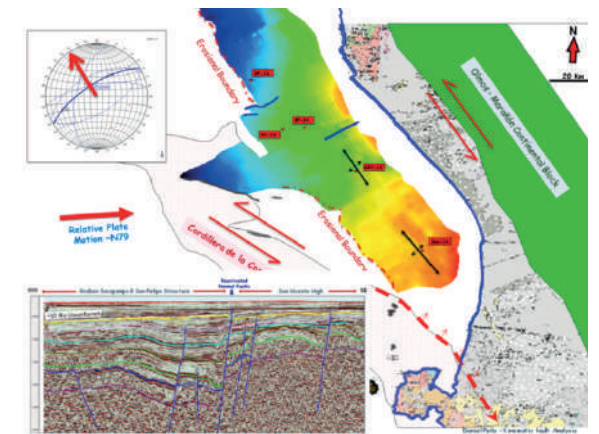


Figure 4. Mapa estructural del Horizonte - Fm. Pisco Inferior integrado al contexto regional de la cuenca Pisco Este, Análisis cinemático de la Asociación de fallas 5. Línea sísmica para observar la reactivación de falla normal del graben Sarapampa