

UN NUEVO MODELO ESTRUCTURAL PARA EL ANTICLINAL BARRANCAS CUENCA CUYANA, PROVINCIA DE MENDOZA

Karina Mykietiuik¹, René Manceda², Yolanda Ruiz¹

1: YPF S.A., Gerencia de Cuencas Productivas. Cuenca Cuyana. karina.mykietiuik@ypf.com, yolanda.ruiz@ypf.com

2: YPF S.A. Gerencia de Geología. rene.manceda@ypf.com

Palabras clave: **hemigraben, corrimiento, inversión tectónica**

ABSTRACT

Barrancas Anticline, Cuyo Basin, Mendoza: a new structural model

The Barrancas Anticline includes several of the most important fields in Cuyana Basin, Mendoza Province, Argentina. The total cumulative oil production is 40Mm³. This structure is generated by the interaction of an eastward vergence thrust and westward vergence inversion of a subthrust half graben. The structure was uplifted 500 m due to the inversion process, outlining the present day geometry. This analysis is based on 3D seismic data, exploratory and production wells and, seismic focal data as Barrancas Anticline is a seismic-active structure.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone una nueva interpretación estructural y evolución de la estructura de Barrancas, localizada en la cuenca Cuyana, provincia de Mendoza. El anticlinal Barrancas se encuentra a 35 km al sur de la ciudad de Mendoza, y comprende los siguientes Yacimientos: Barrancas CRI (productivo de la Fm Barrancas), Barrancas Brecha Verde (productivo de la Fm Las Cabras), Barrancas Norte (productivo de la Fm Potrerillos), Barrancas Villavicencio (productivo de la Fm Villavicencio) y Barrancas Sur (productivo de la Fm Barrancas) (Figura 1). La trampa es principalmente estructural.

Numerosos autores han estudiado y propuesto diferentes orígenes y características sobre el Anticlinal de Barrancas (Criado Roque *et al.*, 1959, Turic *et al.*, 1981, Dellapé y Hegedus, 1993, Manceda *et al.*, 1996; Rocha, 2006; Chiaramonte, *et al.*, 2000). En este trabajo, a partir de la interpretación de sísmica 3D, se plantea una nueva geometría y origen de esta estructura.

Para la interpretación se utilizó un volumen sísmico 3D *poststack* del año 2003 con un *datum* de 900 msnm, que se le aplicó un reprocesamiento PSTM (*PreStack Time Migration*). A su vez se le realizó el atributo TecVA, que es una técnica de volumen de amplitudes que permite resaltar los altos contrastes de impedancia que se manifiestan en la sísmica, destacando así las imágenes estructurales y las fallas.

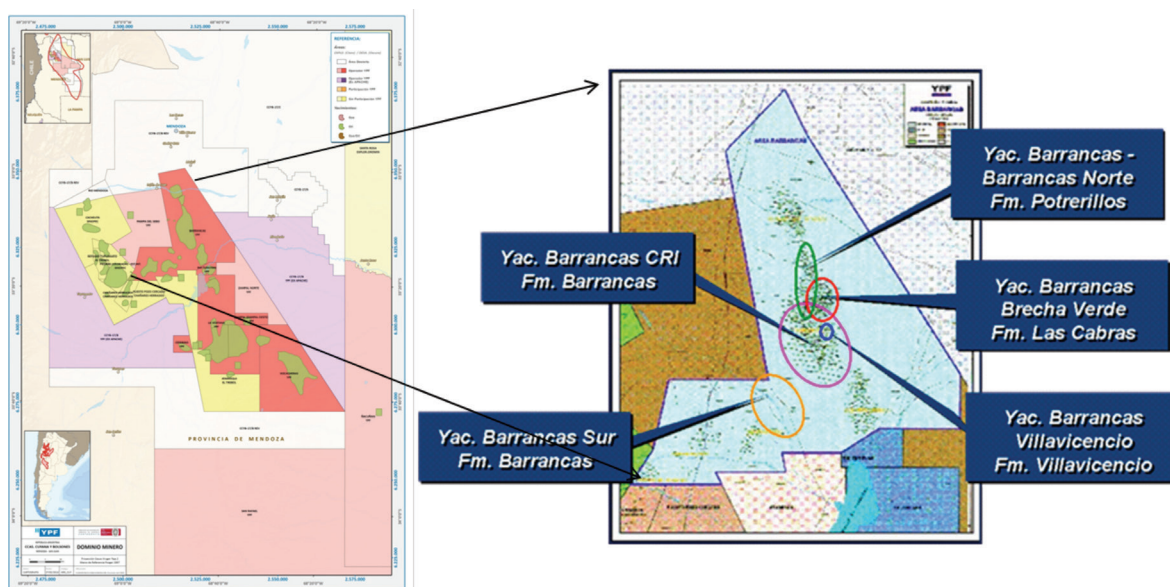


Figura 1. Formaciones Productivas en el yacimiento Barrancas (Pertier *et al.*, 2010)

MARCO ESTRUCTURAL

La Cuenca Cuyana se encuentra ubicada en el extremo norte de la Provincia de Mendoza al pie de la Cordillera de los Andes.

La mayor parte de las reservas de hidrocarburos en la Cuenca Cuyana se encuentran controladas por trampas de tipo estructural (Dellapé y Hedegus, 1995). Gran parte de los autores (Uliana y Biddle, 1988; Legarreta *et al.*, 1992; Uliana *et al.*, 1995) sugieren que la mayoría de los cierres estructurales se relacionan con fallas extensionales, que se desarrollaron durante el colapso Triásico de un cinturón Paleozoico tardío.

Los procesos de compresión neocenoica, ligados a la orogénesis de los Andes, provocaron la inversión de los hemigrábenes mesozoicos, dando lugar a cierres estructurales, y a vías de migración que generaron acumulaciones importantes de hidrocarburos. Boggetti *et al.* 1999 resumen la estructuración de la cuenca en: un primer evento extensional posiblemente con desplazamiento lateral, responsable de la generación de la misma; luego extensión relacionada a un proceso de estiramiento cortical a escala continental; y por último flexura, soterramiento y ascenso por avance del frente orogénico.

La estructuración cenozoica está representada por pliegues anticlinales asimétricos, limitados en sus flancos por fallas inversas, con vergencia de sus planos axiales tanto al este como al oeste (Dellapé y Hedegus, 1995). Estos anticlinales están alineados en tres ejes principales de rumbo NNE (Figura 2). En el eje central, en el sector norte, se encuentra la estructura de Barrancas.

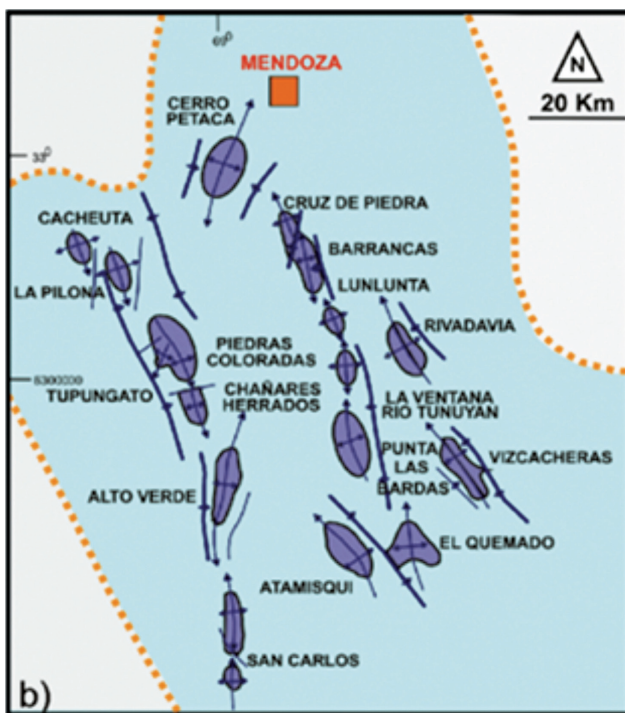


Figura 2. Marco estructural de la Cuenca Cuyana, donde se muestran las principales estructuras y fallas regionales (basado en Dellapé y Hedegus, 1995).

INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

La estructura de Barrancas en superficie está conformada, al norte por el anticlinal Estructura Cruz de Piedra y al sur por el anticlinal Barrancas. En profundidad estos anticlinales pierden identidad conformando una gran estructura (Figura 3).

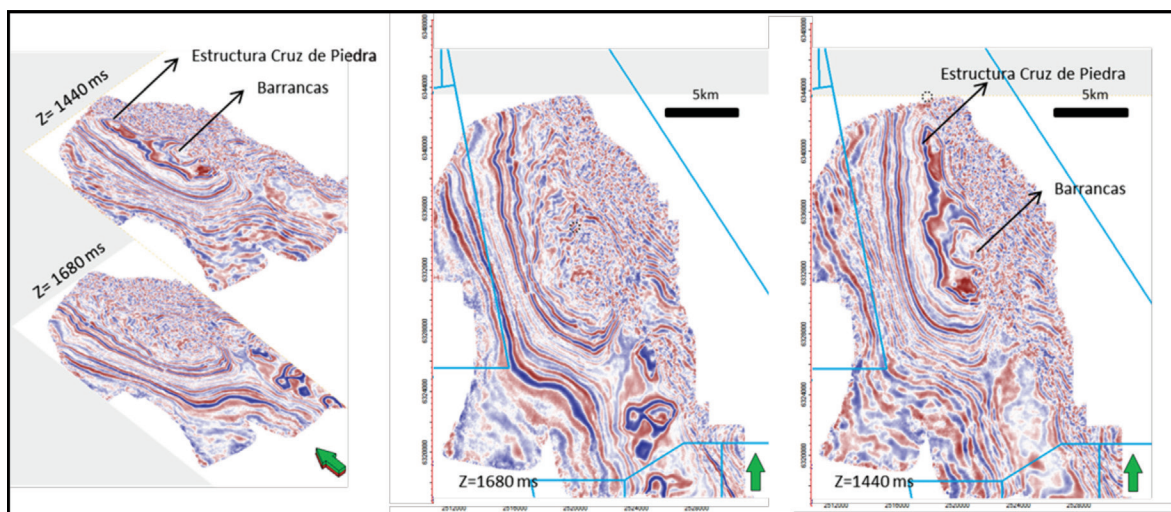


Figura 3. Time slices a diferentes tiempos del cubo sísmico 3D donde se muestran las relaciones entre Estructura Cruz de Piedra y Barrancas.

Las mediciones de campo de Brooks y Parke (1997) definen las orientaciones de los ejes de estas dos estructuras en $\sim N350^\circ$ para Estructura Cruz de Piedra, y de $\sim N337^\circ$ para Barrancas. El flanco occidental presenta una menor inclinación que el flanco oriental, definiendo un anticlinal asimétrico con vergencia hacia el este.

El anticlinal de Barrancas es producto de un corrimiento que actualmente se encuentra activo, como lo demuestra el sismo de 1985, donde dicho corrimiento fue activado con mecanismo focal inverso (Triep, 1987; Chiaramonte *et al.*, 2000). Presenta un plano con inclinación hacia el oeste de 56° de acuerdo con el análisis de planos focales realizado por Triep (1987).

Los trabajos de geología de superficie de Books y Parke (1997) incluyeron una serie de calicatas en el frente del pliegue de Barrancas, donde los estratos aflorantes con alto ángulo no muestran ninguna evidencia de falla asociada a la escarpa, a diferencia de lo que plantea Chiaramonte *et al.* (1996) que propone una falla inversa de bajo ángulo aflorante en el frente del pliegue.

Según Manceda y Brooks (1996), la interpretación de pozos cercanos permite establecer un depocentro en el yacente del corrimiento de Barrancas con su falla principal inclinando hacia el Este (Figura 4) con la misma polaridad del hemigraben de Cacheuta ubicado más al norte en la cuenca. Este modelo estructural, geoméricamente, es aproximado al modelo sísmico dado por Triep (1987) donde se producen sismos en fallas con vergencia occidental y oriental, réplicas en un plano horizontal cercano a los 7 km y una zona triangular asísmica por debajo del corrimiento que genera el Anticlinal de Barrancas (Figura 5).

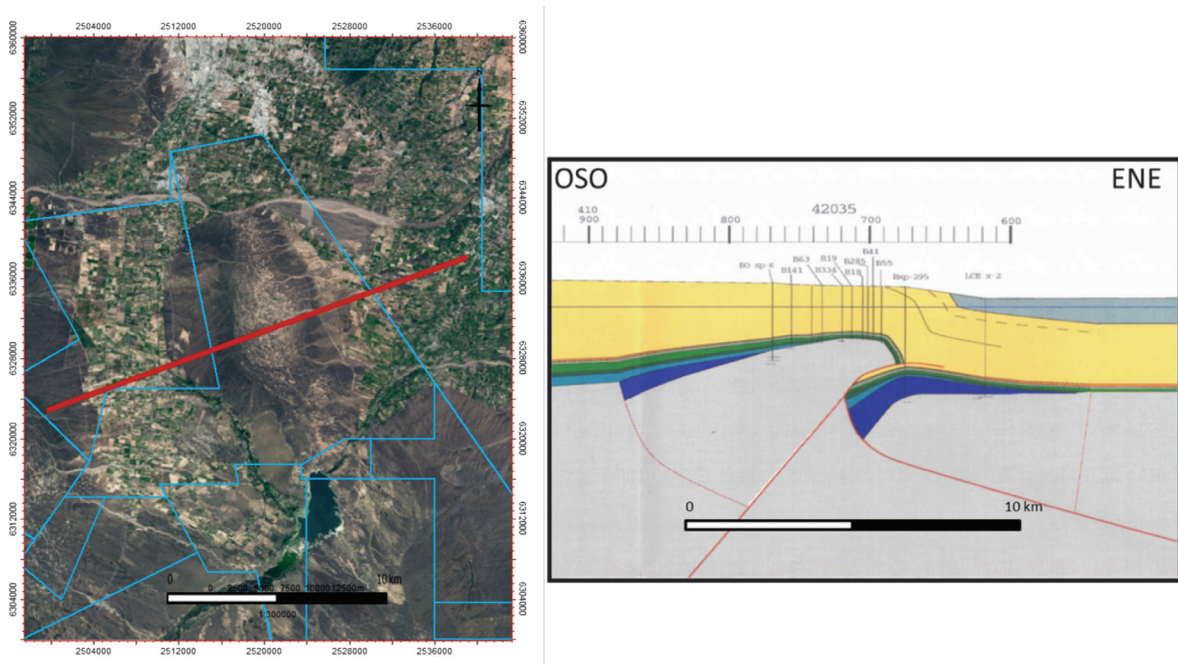


Figura 4. Corte EstructuralOSO-ENE (Manceda y Brooks, 1996) y ubicación en planta de la línea de perfil.

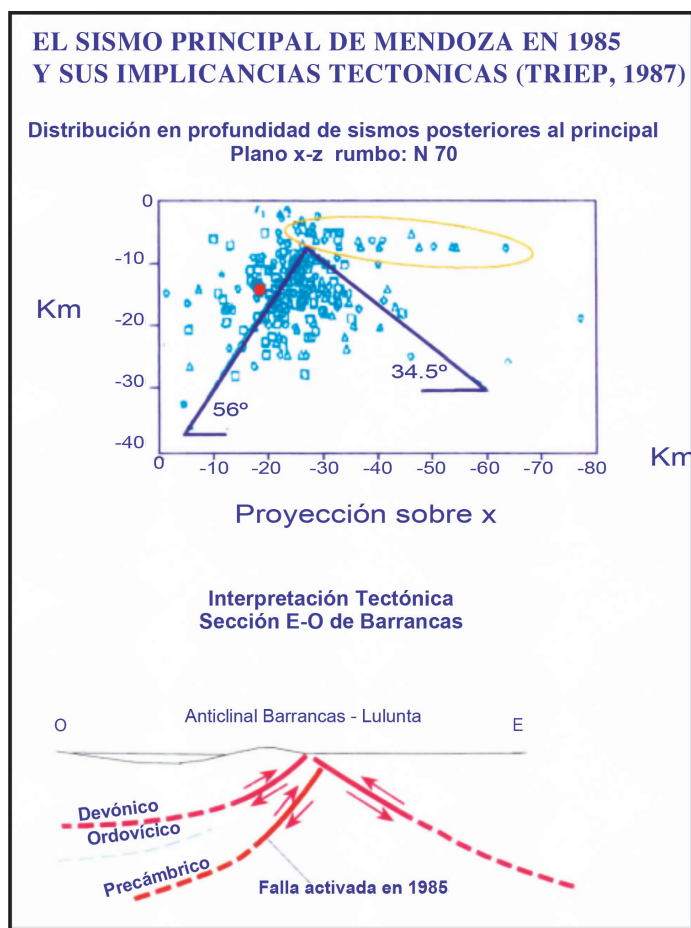


Figura 5. Análisis de planos focales e interpretación tectónica según Triep (1987, en Manceda y Brooks, 1996).

INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

Interpretación Sísmica

La interpretación del cubo sísmico 3D se realizó siguiendo la línea de razonamiento de Manceda y Brooks (1996). En la Figura 6 se observan una *Crossline* y una *InLine* mostrando cortes aproximadamente transversal y paralelo al eje del anticlinal de Barrancas. Con estos datos se definieron el corrimiento de Barrancas, los hemigrábenes en el bloque bajo y se interpretaron tres horizontes en el bloque alto y tres horizontes en el bloque bajo.

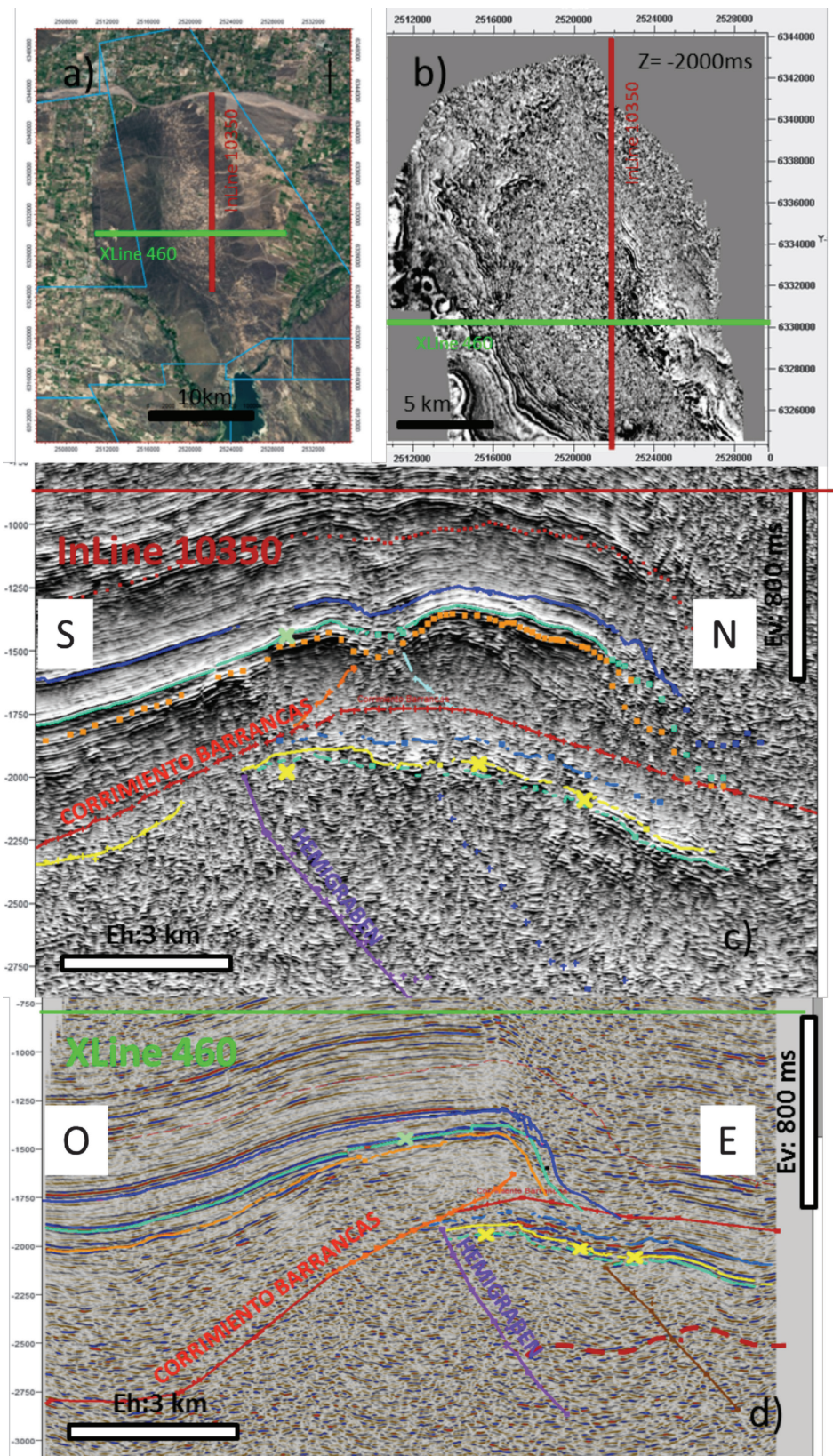


Figura 6. a) Ubicación en imagen satelital de las líneas sísmicas, b) *Time Slice* a -2000ms, c) *InLine* 10350 con el atributo TecVA, d) *CrossLine* 460 en el cubo de migración, con la interpretación de los horizontes.

Horizontes interpretados

Bloque Alto de base a techo:

- Potrerillos: Se interpretó un reflector positivo continuo en todo el bloque alto próximo al techo de la Fm Potrerillos (Figura 7a).
- Cacheuta: Se interpretó un reflector positivo continuo en todo el bloque alto próximo al techo de la Fm Cacheuta (Figura 7b).
- Barrancas: La interpretación de un reflector al tope de la Formación Barrancas se realizó siguiendo el criterio de Pablo Borgui (Reporte Interno, Grupo Modelado-Desarrollo, 2012) donde dicho reflector pasa por fase cero dependiendo de la presencia del basalto de Punta de las Bardas (Figura 7c).
- Terciario: Se identificaron en *time slices* y secciones, estratos de crecimiento (Figura 8).

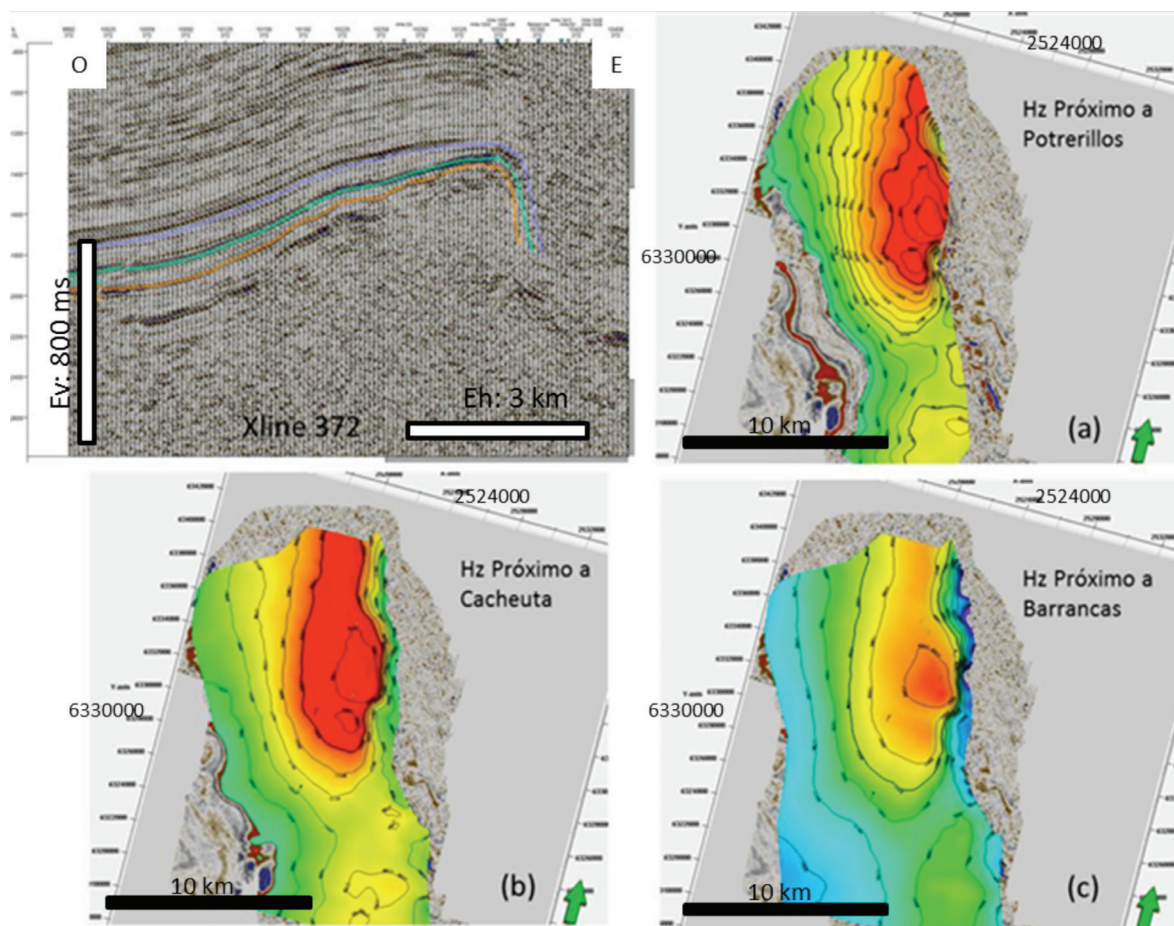


Figura 7. Interpretación de Horizontes en el Bloque Alto de la estructura de Barrancas. Se muestra la XLine 372 con los horizontes interpretados en el bloque alto. a) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Potrerillos, b) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Cacheuta, y c) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Barrancas.

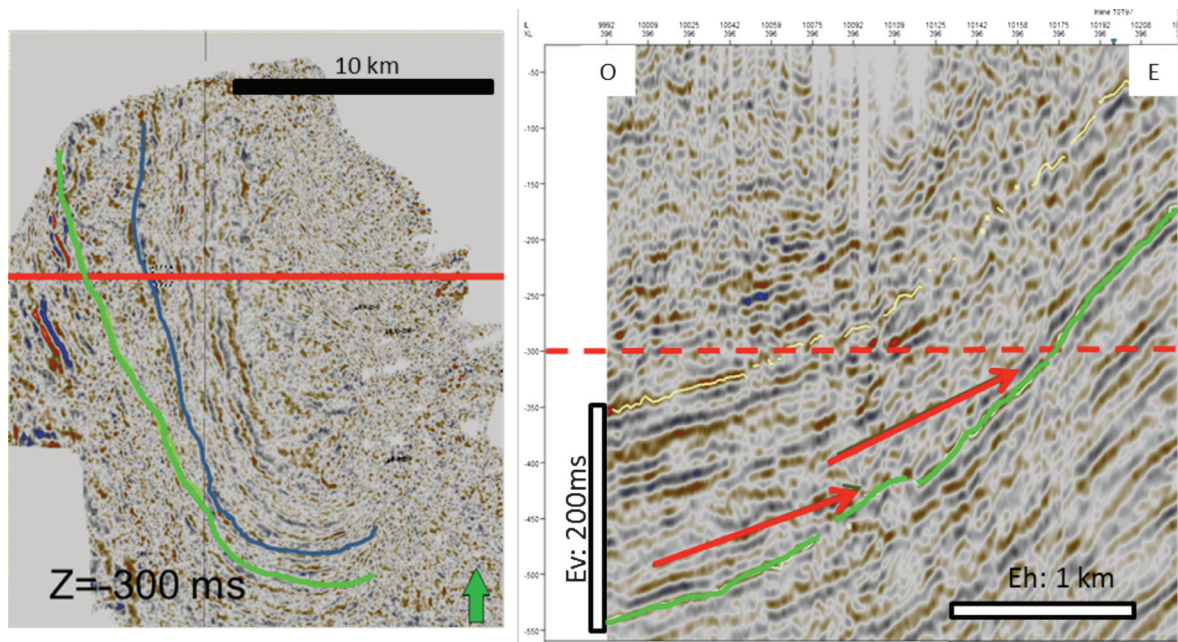


Figura 8. Interpretación de Estratos de Crecimiento. En la imagen de la izquierda se observa un *time slice* con la interpretación de un estrato de crecimiento. A la derecha una XLine donde muestra los *onlaps* en la base del estrato de crecimiento.

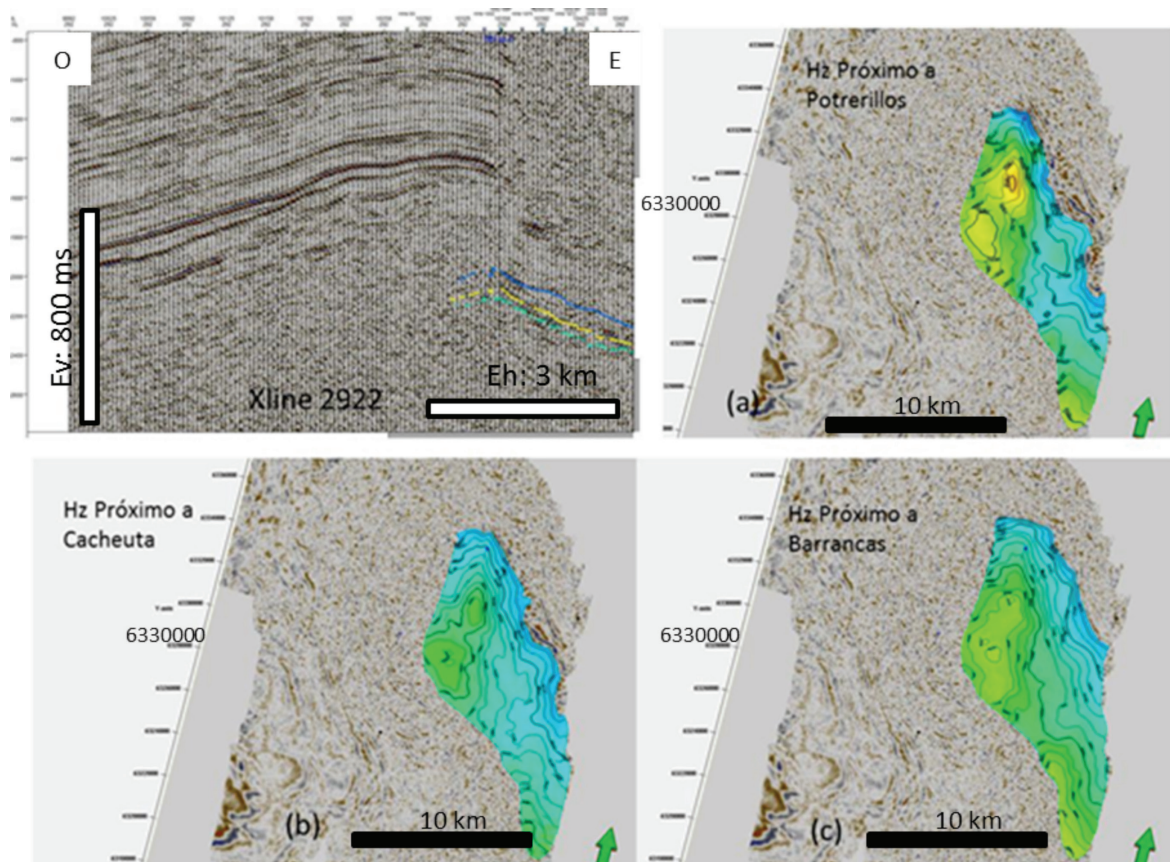


Figura 9. Interpretación de Horizontes en el Bloque Bajo de la estructura de Barrancas. Se muestra la XLine 2922 con los horizontes interpretados en el bloque bajo. a) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Potrerillos, b) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Cacheuta, y c) Mapa estructural en tiempo de Hz próximo al techo de la Fm Barrancas.

Bloque Bajo de Base a Techo:

- Potrerillos: se interpretó un reflector positivo continuo en todo el bloque bajo próximo al techo de la Fm Potrerillos (Figura 9a).
- Cacheuta: se interpretó un un reflector positivo continuo en todo el bloque bajo próximo al techo de la Fm Cacheuta (Figura 9b).
- Barrancas: se interpretó el horizonte en un pase por cero (Figura 9c).

Fallas Interpretadas

Corrimientos y fallas asociadas:

- Corrimiento principal: es el corrimiento que genera la estructura de Barrancas, presenta una inclinación hacia el Oeste y se encuentra plegado con un plunge del eje hacia el norte. El corrimiento no aflora, en la sísmica se pierden los reflectores en el frente del pliegue debido a que los estratos presentan un ángulo muy elevado.
- Fallas asociadas al Corrimiento: se interpretan dos fallas de rumbo ONO-ESE y OSO-ENE que se desarrollan por encima del plano del corrimiento principal (Figura 10) que desarrollan dos puntos ciegos en el bloque alto de Barrancas y que a su vez son afectadas por el plegamiento del corrimiento principal.
- Corrimiento Lulunta: hacia el sur y por debajo del corrimiento principal, se desarrolla otra superficie de corrimiento que genera la estructura de Lulunta.

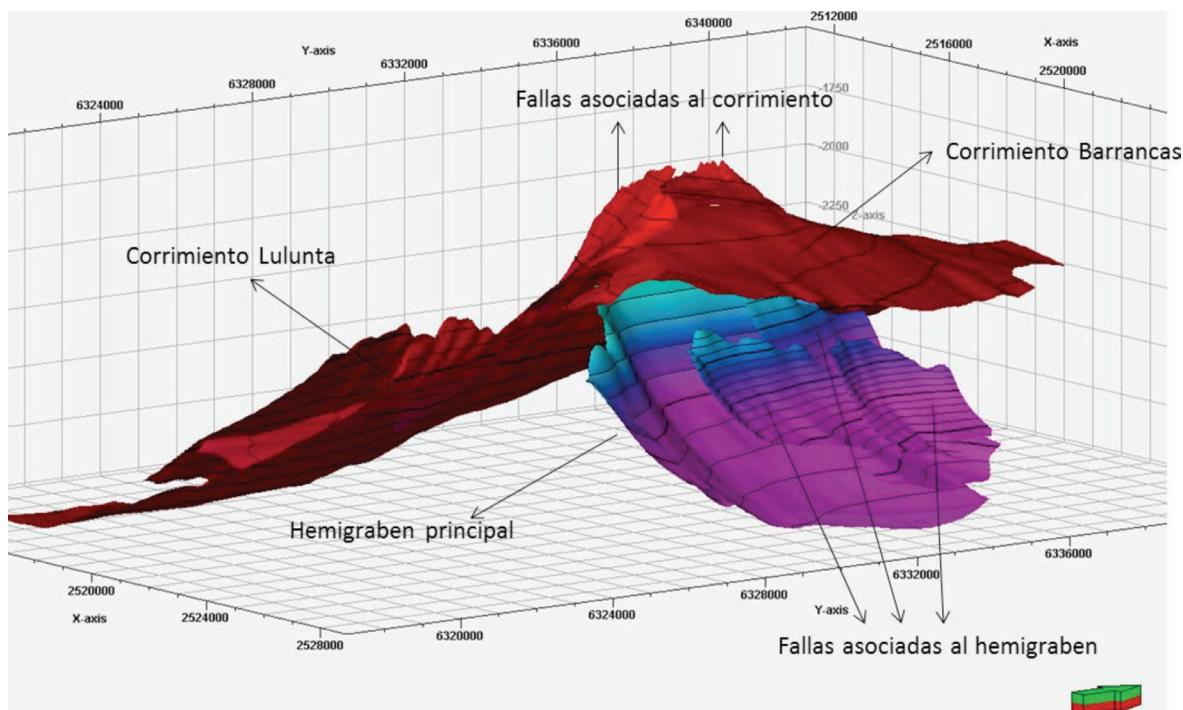


Figura 10. Imagen 3D de las superficies de fallas interpretadas con una exageración vertical de 5:1. Vista desde el SE.

Hemigrábenes:

- Hemigraben Principal: con una orientación NO-SE e inclinación hacia el NE y forma cóncava se desarrolla esta falla en el bloque bajo de Barrancas (Figura 6).
- Fallas asociadas al Hemigraben: se interpretaron tres fallas asociadas al hemigraben con morfologías semejantes (Figura 10).

En la Figura 10 se muestran las superficies de las fallas interpretadas en un gráfico 3D donde puede verse las relaciones espaciales entre las mismas.

Se revisaron los sondeos del yacimiento para ajustar el modelo estructural interpretado, como así también para definir las unidades reservorios. Sólo cinco pozos tuvieron como objetivo el Bloque Bajo del Corrimiento de Barrancas (Figura 11), y solamente tres lo alcanzaron. Se utilizó esta información para ajustar el modelo estructural interpretado en la sísmica 3D.

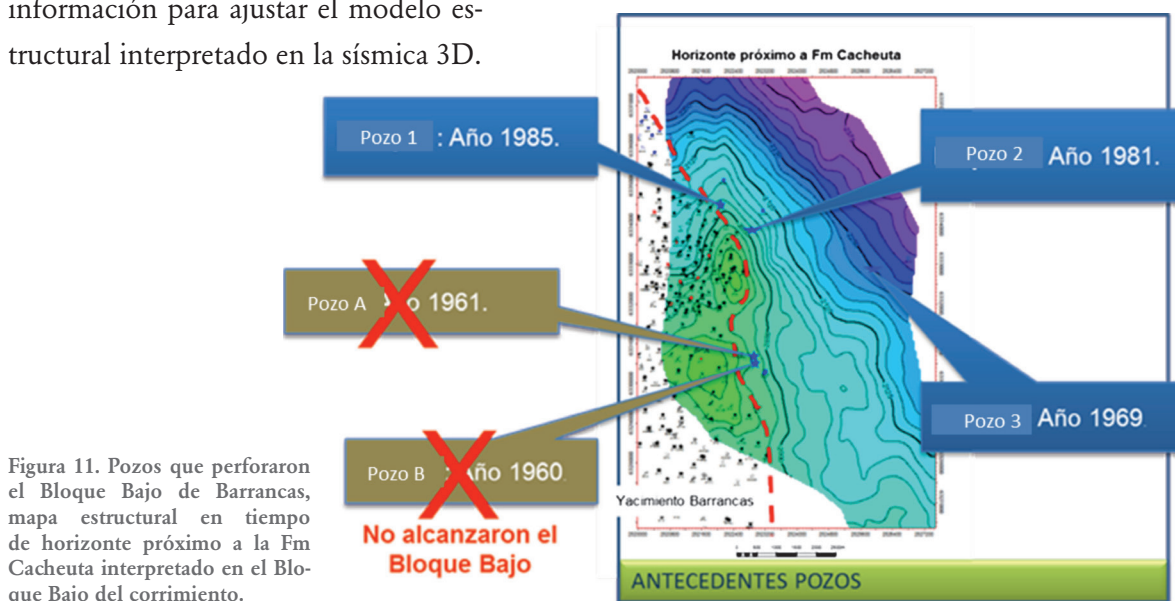


Figura 11. Pozos que perforaron el Bloque Bajo de Barrancas, mapa estructural en tiempo de horizonte próximo a la Fm Cacheuta interpretado en el Bloque Bajo del corrimiento.

Datos de pozo:

- Pozo A: se toma una corona en los niveles terciarios y se observan inclinaciones de 75° y 85°.
- Pozo 1: *dip meter* analizado con la metodología de C. Bengston (1981) donde se interpreta la falla que conforma el corrimiento principal (Figura 12).
- Pozo 2: *dip meter* con inclinaciones que oscilan entre 40° y 80°. Donde las mayores inclinaciones corresponden a los estratos terciarios por encima del corrimiento de Barrancas (Figura 12)
- Pozo 3: testigos rotados con inclinaciones de 19° en la Fm Cabras correspondiente al bloque bajo de la estructura (Figura 12).

En la Figura 12 representa un corte estructural con pozos al norte de la estructura donde se vuelcan los datos de inclinación y la interpretación de la estructura.

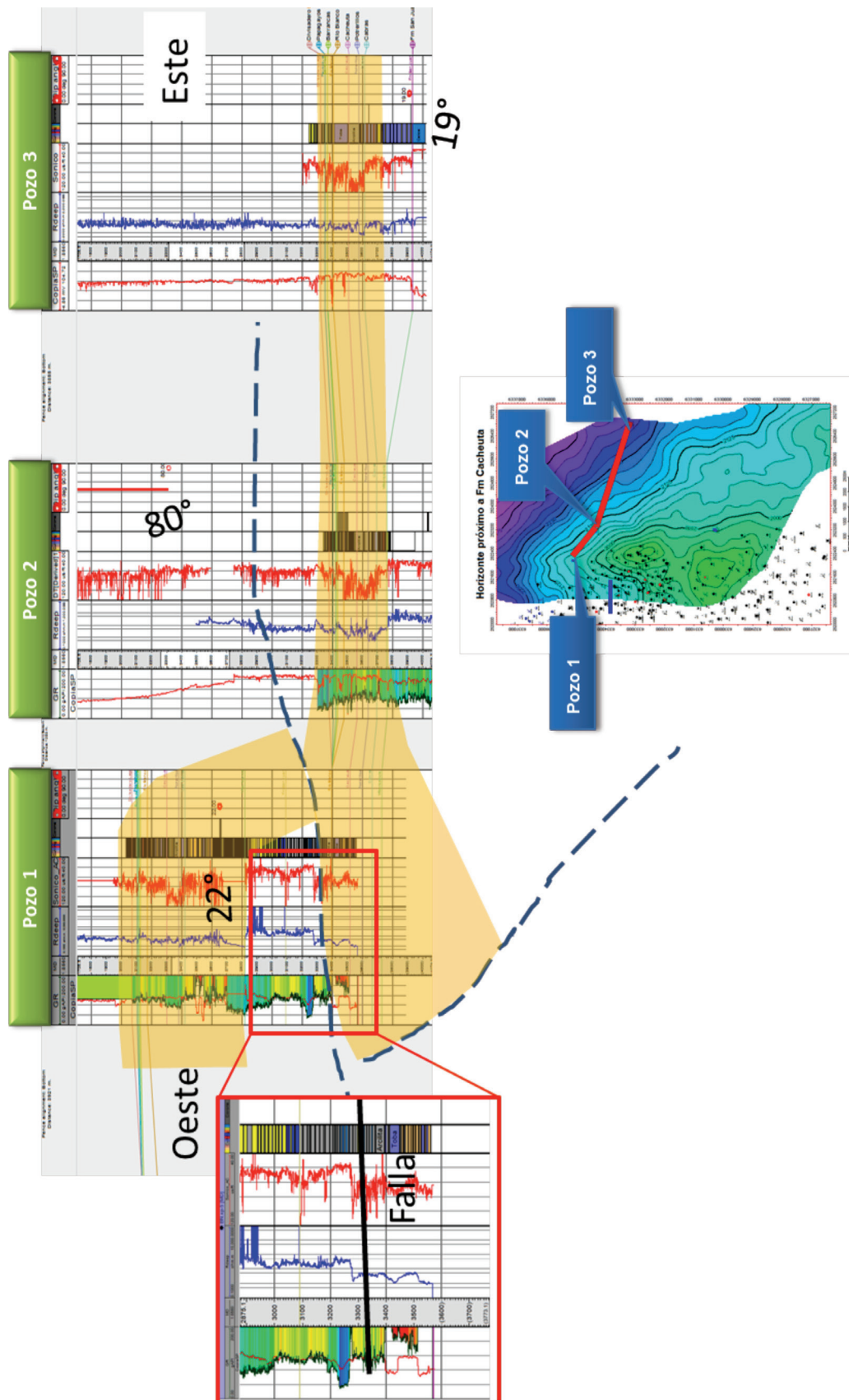


Figura 12. Corte estructural con la información de inclinaciones de los sondeos.

EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL

La Cuenca Cuyana está caracterizada por la inversión de hemigrabenés triásicos debido a la Tectónica Andina en una zona de transición entre una subducción horizontal hacia el norte y una subducción inclinada 30° hacia el sur (Jordan *et al.*, 1983; Dellapé y Hedegus, 1995; Chiaramonte *et al.*, 1996; Ramos *et al.*, 1996).

Debido a que la orientación de los hemigrabenés tienen un rumbo NNW-SSE y la Tectónica Andina un vector E-O de compresión durante el Terciario, la inversión se caracteriza por una convergencia oblicua, incorporando algunos hemigrabenés (Ej: Zona de Potrerillos) a la faja plegada mientras que otros se encuentran en el frente de deformación (Ej: Tupungato).

El frente activo de deformación está dominado por un estilo estructural de fallas de propagación no emergentes con vergencia oriental (Sarewitz, 1988; Kozłowski *et al.*, 1993; Milana and Zambrano, 1996; Ramos *et al.*, 1996; Chiaramonte *et al.*, 1996). La reactivación de las fallas normales de los hemigrabenés se puede comprobar en el sector oeste, incluyendo las zonas verticales de estas fallas a causa de la inversión oblicua.

La estructura de Barrancas está conformado por el anticlinal Cruz de Piedra al norte y el anticlinal Barrancas al sur, con una altura actual de la cresta de aproximadamente 400 m por encima de la planicie oriental. El anticlinal Barrancas tiene inclinaciones de 5-10° en el flanco occidental y de 65° en su flanco oriental. Se interpreta que ambos anticlinales están formados por fallas no emergentes incluyendo el basamento paleozoico en su deformación, sin comprobarse procesos de inversión (Figura 13-2). Basados en una relación compleja de los planos axiales en la cresta, se interpreta que una vez conformado el pliegue por propagación de falla existió una reactivación, trasladando el pliegue por un plano subhorizontal dentro de unidades terciarias (Suppe y Medwedeff 1990) (Figura 13-3). Por debajo de este corrimiento se comprueba la presencia de un hemigraben que fue reactivado con una vergencia occidental plegando la estructura inicial, como se observa en una sección sísmica E-O (Figura 13) y en una sección N-S (Figura 14).

En el núcleo de la estructura hay afloramientos de la Formación La Piona, areniscas finas intercaladas con tobas, depositada entre los 11-8.6 Ma (Irigoyen *et al.*, 1995), sobreyacen areniscas y conglomerados de la Formación Río Los Pozos (8.2-5.8 Ma, Irigoyen *et al.*, 1995). La Formación Mogotes, constituida principalmente por conglomerados, se apoya sobre esta última unidad (Irigoyen *et al.*, 1995, proponen una edad para el comienzo de la depositación de aproximadamente 3 Ma). Depósitos cuaternarios de abanicos aluviales proximales de materiales retrabajados de la Formación Mogotes, culminan en la parte más alta de la estructura. Se estima para la estructura de Barrancas un acortamiento de 3 km, iniciándose a los 2.25 Ma, con una tasa de acortamiento de 2.7 mm/a (Manceda y Brooks, 1996).

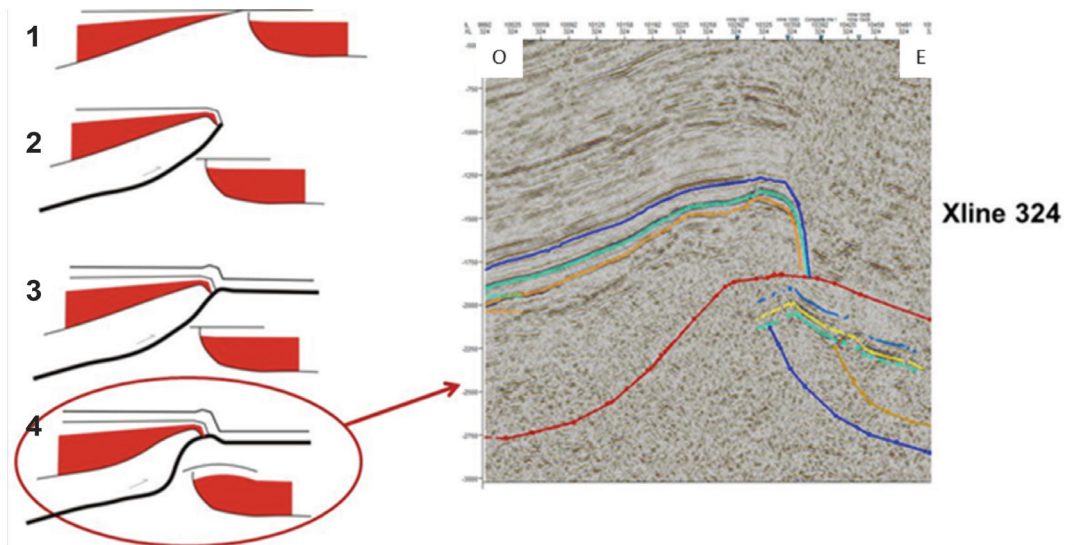


Figura 13. Diagrama esquemático de la evolución de la estructura de Barrancas en un corte W-E

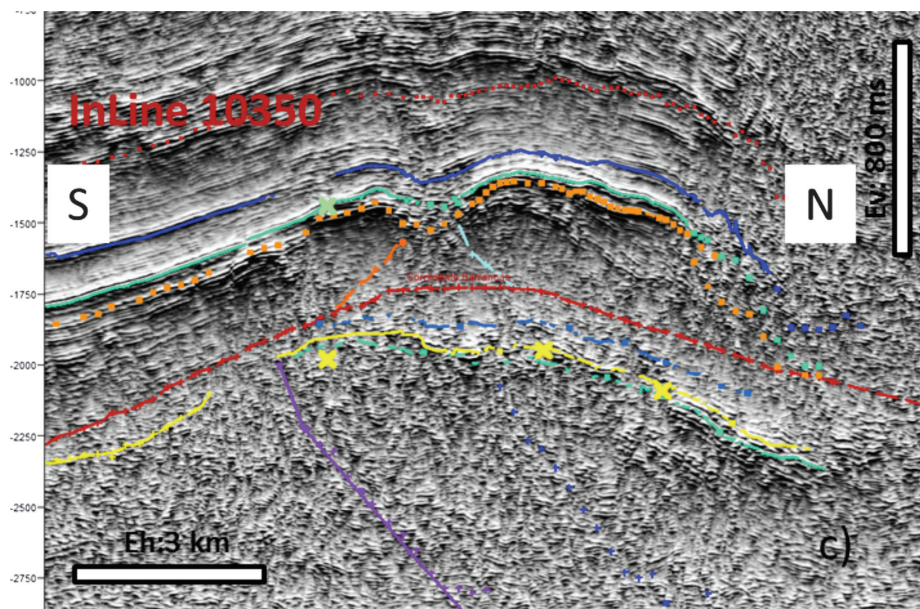


Figura 14. *InLine* 10350 donde se observa el corrimiento de Barrancas (en rojo) plegado por la inversión del hemigraben subyacente.

CONCLUSIONES

El presente estudio describe las tareas de interpretación y análisis del anticlinal de Barrancas, su génesis y las partes que lo componen. Se le asigna la presencia de un hemigraben cuyo plano principal inclina en dirección opuesta al corrimiento con vergencia al este, y que ha sido identificado a partir del estudio de planos focales en sismos recientes. La inversión de este hemigraben

es la causante de uno de los póstumos eventos de deformación que conformó el anticlinal del Yacimiento de Barrancas.

A continuación se detallan las principales conclusiones de este estudio:

- En el bloque Bajo del corrimiento de Barrancas, se interpreta un hemigraben cuya falla principal presenta inclinación hacia el este.
- El hemigraben del Bloque Bajo presenta una orientación aproximada de N330°.
- El anticlinal de Barrancas tiene al menos dos eventos de plegamiento, uno generado por el corrimiento de Barrancas y su reactivación y otro por la inversión del hemigraben del Bloque Bajo.
- El Corrimiento de Barrancas no aflora en el área de Barrancas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a YPF S.A. que permitió la publicación de este trabajo; a Licia Manacorda, Luis Anzulovich y Lorena Zabala por la lectura crítica del trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Chiaramonte, L., V.A. Ramos y M. Araujo, 2000. Estructura y sismotectónica del anticlinal Barrancas, cuenca Cuyana, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (4): 309-336.
- Bengston, C. A. 1981. Statiscal curvature analysis techniques for structural interpretation of dipmeter data. *AAPG*, p. 312-333.
- Boggetti, D., V. Martínez Cal, C. Regazzoni, L. Andrada y M. Marnetti, 1999. Aporte de la sísmica 3D al modelo prospectivo de la cuenca Cuyana. *Actas 4° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, 1: 263-281. Mar del Plata.
- Brooks, B.A. y M. Parke, 1997. Preliminary results of Field Campaigns: Barrancas Anticlinorium & Mendoza Precordillera. Informe interno, Joint YPF-Cornell Project, 1997.
- Criado Roque, P., E.O. Roller, C. de Ferrarriis, I. Simonato, A. Mingramm, y T. Suero, 1959. Cuenas Sedimentarias de la Argentina. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 320: 62-95. Buenos Aires.
- Dellapé, D. y A. Hegedus, 1995. Structural Inversion and Oil Occurrence in the Cuyo Basin of Argentina. In A. J. Tankard, R. Suárez S., y H. J. Wel-sink, *Petroleum Basins of South America: AAPG Memoir 62*, p.359-367.
- Irigoyen, V., R. Brown y V. A. Ramos, Magnetic Polarity Stratigraphy and Sequence of Thrusting: 33°S Latitude, Mendoza Province, Central Andes of Argentina, in *Andean Thrust Tectonics Symposium*, San Juan, Argentina, 1995.
- Kozlowski, E. E., R. Manceda, y V. A. Ramos, Estructura, en *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, V. A. Ramos, pp. 235-256, 1993.

- Jordan, T. E., B. L. Isacks, R.W. Allmendinger, J.A. Brewer, V. Ramos, y C. J. Ando, Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate, *GSAB*, 94, 341-361, 1983.
- Legarreta, L., D. Kokogian y D. Dellapé, 1992. Estructuración terciaria de la Cuenca Cuyana: Cuánto de inversión tectónica? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47 (1): 83-86. Buenos Aires.
- Maceda, R. y B. A. Brooks, 1996. Informe Preliminar Proyecto Barrancas. Joint YPF-Cornell Project, Informe Interno, bajo la dirección de R.W. Allmendinger, 1996.
- Milana, J. P. y J. Zambrano, La Cerrillada Pedemontana Mendocina: un sistema geológico retrocorrido en vías de desarrollo, *RAGA*, 51 (4), 289-303, 1996
- Pertier, J., A. Lucero y J. M. Jauregui, 2010. Informe Barrancas. Informe interno YPF.
- Ramos, V. A., M. Cegarra, y E. Cristallini, Cenozoic tectonics of the High Andes of west-central Argentina (30-36 ° latitude), *Tectonophysics*, 259, 185-200, 1996.
- Sarewitz, D., High rates of late Cenozoic crustal shortening in the Andean foreland, Mendoza Province, Argentina, *Geology*, 16, 1138-1142, 1988
- Triep, E.G., 1987. La falla activada durante el sismo principal de Mendoza de 1985 e implicaciones tectónicas, 10th Congreso Geológico Argentino, Actas 1, pp. 199-202.
- Turic, M., C. Fernández Garrasino, R. Pombo, J.L. Bianchi y H. Di Benedetto, 1981. Cuencas Sedimentarias en la Argentina. Comunicaciones: 14-18. Buenos Aires.
- Rocha, E., 2006. Modelo estructural Bloque Barrancas, Cuenca Cuyana. Gerencia de Exploración Faja Plegada, Informe interno YPF.
- Suppe, J. y A. Medwedeff, 1990. Geometry and kinematics of fault propagation folding. *Eclogae geol. Helv.* 83/3: 409-454, 1990.
- Uliana, M. A. y K. Biddle, 1988. Mesozoic-cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America. *Revista Brasileira de Geociências*, 18(2): 172-190.
- Uliana, M. A., M. E. Arteaga, L. Legarreta, J. J. Cerdán y G. O. Peroni, 1995. Inversion structures and hydrocarbon in Argentina. En Buchanan, J. G. & P. G. Buchanan (eds.), *Basin Inversion*. Geological Society Special Publications, 88: 211-233.