

ESTRUCTURAS Y ENTRAMPAMIENTOS PLIO-PLEISTOCENOS (TARDÍOS) EN LA PLATAFORMA DEFORMADA MENDOCINA, LINDERO DE PIEDRA, CUENCA NEUQUINA

Julián E. Stein¹, Matías C. Ghiglione², Julio C. Hlebszevitsch¹

1: Medanito, jestein@medanito.com.ar, jchlebszevitsch@medanito.com.ar

2: IDEAN-UBA, matias@gl.fcen.uba.ar

Palabras clave: Cuenca Neuquina, estratos de crecimiento, cinemática de pliegues, Plioceno, trampas estructurales

ABSTRACT

Plio-Pleistocene inversion tectonics and late entrapment at Lindero de Piedra, northwestern Neuquen basin

Lindero de Piedra oil block, from northeastern Neuquén basin, is located 15 km NE of Malargüe city in Mendoza Province. In this sector of the Mendoza platform, very young mineralized anticlines were studied through interpretation of 3D seismic data (2017), and an analysis of their kinematic evolution was performed. Within the study region, three stages of folds generation are observed, each one presenting a north-south orientation, and an in-sequence evolution towards the east. The fold generation is interpreted to be a consequence of inversion of normal faults during Plio-Pleistocene (Holocene?) compressional phases. We discard the influence of dikes intrusion in Mio-Pliocene times as deformational drivers, since seismic data show that those igneous bodies are deformed by inversion tectonics. These Pliocene-Pleistocene traps can be considered the youngest formed in the basin. The late formation of these structures can be linked to a late advance of the Andean orogenic front, that was propitious for hydrocarbons entrapment due to coeval maturation and late expulsion of hydrocarbons in southern Mendoza. Likewise, rupture of Pliocene structures during the Pleistocene-Holocene? and the incipient traps generation at more eastward positions are observed. Accordingly, we propose the existence of an Andean compressional phase, younger than previously considered, that could have lasted up to Holocene times.

INTRODUCCIÓN

Durante el Mioceno tardío se produjo el levantamiento del Anticlinal Malargüe, dando lugar a la generación de la cuenca de Malargüe (Silvestro *et al.*, 2005) al este del mismo (Boll *et al.*, 2014 y referencias). Este depocentro de antepaís, presenta una forma elongada en sentido meridional y es coincidente con la porción austral de la depresión de Los Huarpes (Polanski 1954). Dentro de esta cuenca sinorogénica los sedimentos Neógenos alcanzan los 2000 metros de espesor, donde Silvestro *et al.* (2005) reconocen dos pulsos principales en la actividad tectónica durante la conformación de la misma y definieron secuencias S5-S1 en base a configuraciones de reflectores

en la línea sísmica A, ubicada al sur del Bloque Lindero de Piedra (Fig. 1).

El primer pulso en el Mioceno medio-superior durante el cual se deposita la Fm. Agua de la Piedra. El segundo pulso se desarrolla en el Mioceno superior-Plioceno, durante el cual el Anticlinal Malargüe experimenta una mayor tasa de ascenso y se depositan espesas columnas de sedimentos. La adquisición e interpretación de sísmica 3D en el bloque Lindero de Piedra, al sur y norte de estudios previos (Silvestro *et al.* 2005, Boll *et al.*, 2014, Horton *et al.*, 2016 y referencias), permitió identificar movimientos compresivos más modernos que los observados en el Anticlinal de Malargüe. Se han interpretado estructuras antiforales (de piel delgada y piel gruesa) comparables con las descritas en los sectores adyacentes al sur por Silvestro *et al.* (2005). La integración de estos datos permite reconocer la generación de trampas estructurales en Lindero de la Piedra hasta tiempos Pleistocenos e incluso Holocenos.

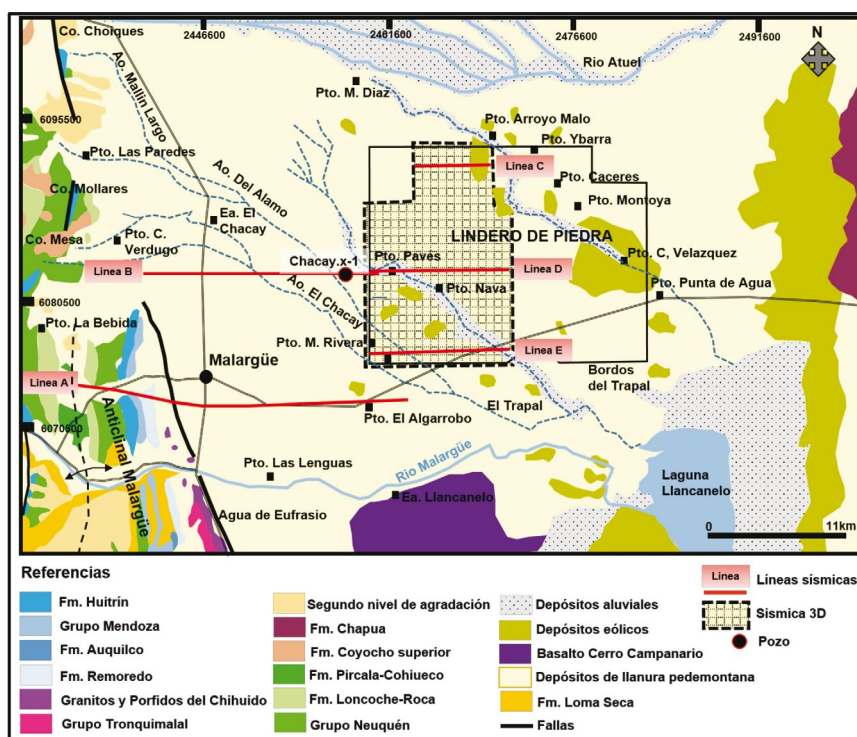


Figura 1. Mapa geológico con la ubicación del Bloque Lindero de Piedra y las líneas sísmicas citadas en este trabajo (geología de superficie modificada de Nullo *et al.* 2005). Líneas A y B, corresponden a El Chacay. Línea C-Lindero de Piedra Norte, Línea D-Lindero de Piedra Central y Línea E-Lindero de Piedra Sur.

UBICACIÓN

El bloque Lindero de Piedra se encuentra al suroeste de la provincia de Mendoza, ubicándose en el sector nororiental de la cuenca Neuquina, a unos 15 km al NE de la ciudad de Malargüe. Este ámbito corresponde a la plataforma deformada (Giampaoli *et al.* 2005), siendo el sector externo de la faja plegada y corrida de Malargüe (Kozłowski *et al.* 1993); y forma parte de la provincia geológica

Cordillera Principal (Yrigoyen 1979). Desde un punto de vista geotectónico, se encuentra en un retroarco compresivo asociado a subducción, dentro del ambiente de depocentro de wedge-top a antepaís sensu stricto del sistema de cuenca de antepaís de Malargüe (Giambiagi *et al.* 2009). El bloque cuenta con sísmica 3D de 196 km² (2015), 372 km de líneas 2D y 16 pozos perforados.

CONTEXTO E HISTORIA GEOLÓGICA

En el ámbito de Lindero de Piedra, la secuencia estratigráfica se halla reducida respecto a posiciones occidentales, más profundas y espesas, de la cuenca neuquina. En el Triásico superior comienza la etapa de rifting, atribuida a los movimientos Huárpicos (Azcuy y Caminos 1987) y desarrollada sobre un sustrato de rocas volcánicas y plutónicas pertenecientes al Grupo Choiyoi de edad Permo-Triásica (Fig. 2). Se generan hemigrabens rellenados con depósitos gruesos, conglomerados porfiríticos y graníticos, arenas gruesas mal seleccionadas, tobáceas y pelitas caracterizadas por el alto contenido de feldespato potásico, originalmente ubicadas en una unidad informal denominada “Areniscas basales” y que son asignadas al Grupo Precuyo. Los mayores espesores atravesados de esta unidad son del orden de los 60 metros. El posterior desarrollo de una cuenca de retroarco y el inicio de la subsidencia térmica no presenta registro sedimentario en Lindero de Piedra, hasta el Cretácico inferior, cuando se deposita el Grupo Mendoza. En esta posición de la cuenca, la transgresión neocomiana se halla constituida por carbonatos y secuencias silicoclásticas con predominio de arenas. Por encima se depositan carbonatos oolíticos de la Fm. Huitrín que se acuña al este hacia la parte media del bloque. Con posterioridad a los movimientos Patagonídicos en el Cretácico superior, se produce la continentalización de la cuenca, atribuida a un cambio en el estilo tectónico de la misma, pasando de una subsidencia térmica a un régimen de subsidencia flexural por apilamiento tectónico (Horton 2018 y referencias). Cabe mencionar que en esta posición de la cuenca no se observa discordancias evidentes entre los Grupos Rayoso y Neuquén, siendo el contacto de tipo neto; y asimismo en la sísmica se observa que guardan una relación de paraconformidad. Por encima del Grupo Neuquén, se deposita el Grupo Malargüe, que incluye la transgresión daniana de la Fm. Roca, de origen atlántico. En general, tanto el Grupo Malargüe como el Grupo Neuquén, presentan una distribución con escasos cambios de espesor en esta posición de la cuenca. Por otro lado Oncken *et al.* (2006) y Faccena *et al.* (2017) consideran el inicio del acortamiento de la faja plegada al este del arco magmático a los 50 Ma o más joven, lo que es coincidente con el hiatus observado entre el Grupo Malargüe y la Fm. Agua de la Piedra.

Kozłowski *et al.* (1997) reconocen el levantamiento orogénico de la Cordillera del Viento y de la faja plegada de Chos Malal entre los 50 y 25 Ma (Eoceno-Oligoceno) que puede ser asignada a la fase Incaica, durante este diastrofismo no se observa sedimentación importante en Lindero de Piedra, estando representado por un hiatus. Un nuevo diastrofismo asociado con la fase Pehuenche genera cuencas intermontanas rellenas con secuencias clásticas y piroclásticas agrupadas en la

Fm. Agua de la Piedra (Combina y Nullo 2011), de carácter isópaco en Lindero de Piedra. El inicio de la inversión del hemigraben de Malargüe es contemporáneo con los depósitos de la Fm. Loma Fiera, Butalo, etc, dados en 10-7 Ma (Boll *et al.* 2014), secuencia S2 de Silvestro *et al.* (2005) y que los ubica en el Mioceno superior siendo coincidente con la fase Quechua. Durante esta etapa se inicia el ciclo eruptivo Huincán con cuerpos intrusivos, diques y sills (Combina y Nullo 2011) emplazados en el Grupo Mendoza alcanzando niveles de la Fm. Agua de la Piedra, cortando las unidades cretácicas y paleógenas.

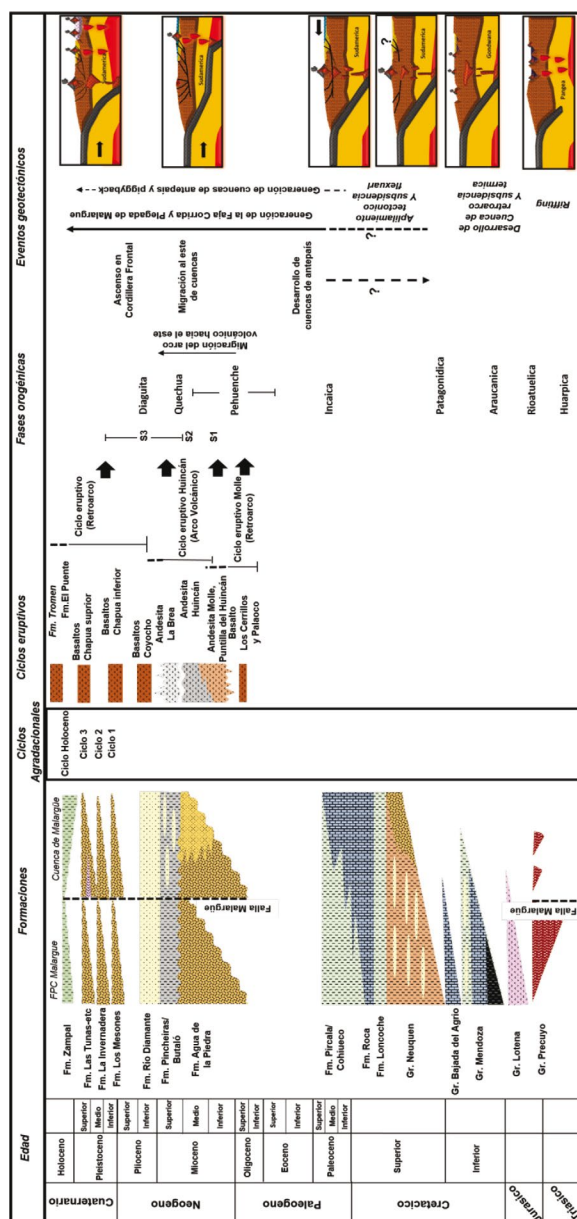


Figura 2. Cuadro sinóptico de la estratigrafía y marco geotectónico de Lindero de Piedra y Anticlinal Malargüe (modificado de Combina y Nullo 2011, Faccena *et al.* 2017, Ramos y Kay 2006, Rodríguez y Barton 1993).

Posteriormente, hacia los 5 Ma y hasta el presente (Combina *et al.* 1993; Silvestro y Kraemer 2005), se activa el sistema de basamento Cordillera Frontal-Cordón del Carrizalito y se produce el levantamiento del bloque de basamento San Rafael (Horton *et al.*, 2016), esta etapa compresiva por su edad se ubica en la fase Diaguita. Estos frentes orogénicos muestran un avance de la deformación hacia el antepaís. Durante el Mioceno superior-Plioceno se produjo la mayor tasa de ascenso del anticlinal Malargüe y el inicio de la actividad del anticlinal Chacay, junto a la depositación de la secuencia S3 (Silvestro *et al.* 2005). Posteriormente se deposita la secuencia S4, representando los últimos depósitos sinorogénicos que evidencian una disminución de la velocidad relativa de ascenso de los anticlinales Malargüe y Chacay (Silvestro *et al.* 2005). Por último, los depósitos posorogénicos definidos en subsuelo por Silvestro *et al.* (2005) identificados como S5 y asignándole una edad Pleistocena-Holocena.

ESTRATIGRAFÍA CUATERNARIA

Merecen una especial atención las unidades cuaternarias que no habían sido estudiadas en subsuelo. Por ello se decidió tomar como base los trabajos de Polanski (1963) y Rodríguez y Barton (1993). Al no existir dataciones absolutas de estas unidades, se ha tratado de reconocer niveles geológicos distintivos descriptos en superficie, que puedan ser correlacionados con las descripciones de cutting y herramientas geofísicas en subsuelo. En superficie se reconocen tres ciclos agradacionales fluviales y un ciclo agradacional mixto, en el que incluimos los depósitos de llanura pedemontana, aluviales y eólicos holocenos y que presenta una gran extensión areal (Figs. 1, 2 y 3). El tercer ciclo agradacional es coincidente con un evento tectónico muy importante, que por subsidencia da origen a la depresión de los Huarpes (Polanski 1963). Esta marcada subsidencia,

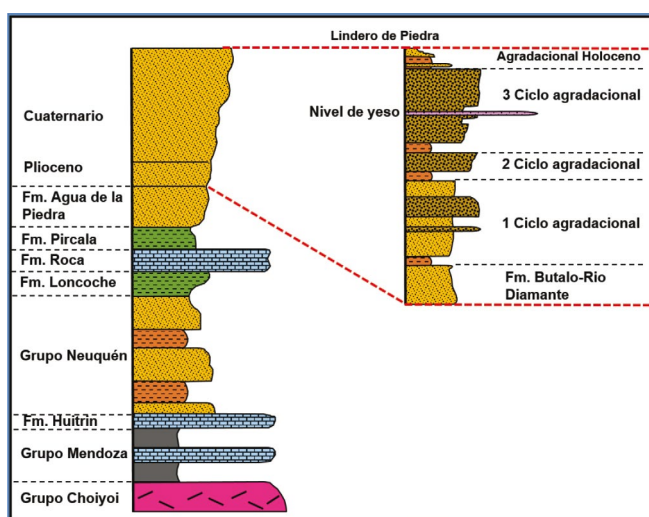


Figura 3. Columna geológica de Lindero de Piedra con detalle de la estratigrafía Cuaternaria, en base a la integración de datos de subsuelo y superficie.

permite el desarrollo de cuerpos lenticos y la depositación de niveles de yeso de amplia extensión Rodríguez y Barton (1993), que pueden ser identificados en subsuelo. Dentro del bloque Lindero de Piedra este nivel ha sido identificado en diferentes pozos, así como al oeste del bloque en el sondeo Chacay x-1.

ESTRUCTURAS DEL BLOQUE LINDERO DE PIEDRA

Originalmente, se atribuyó el origen de las estructuras presentes en Lindero de Piedra a la presencia de intrusivos en niveles del Grupo Neuquén y Grupo Malargüe (Davico 1986) que producían el endomamiento de las secuencias suprayacentes. La interpretación de la nueva sísmica 3D (2015) y la reinterpretación de líneas 2D ha permitido mejorar el conocimiento sobre el origen de estas estructuras, descartando la influencia de los sills en la generación de los pliegues antiforales.

Al este del Anticlinal de Malargüe, la deformación andina genera una serie de anticlinas de orientación meridional que se ordenan en tres lineamientos, con una cinemática deformacional diferente en cada caso. Los tres lineamientos reconocidos de oeste a este son: 1-Chacay, 2-Puesto Pavés y 3-Lindero de Piedra (Fig. 4).

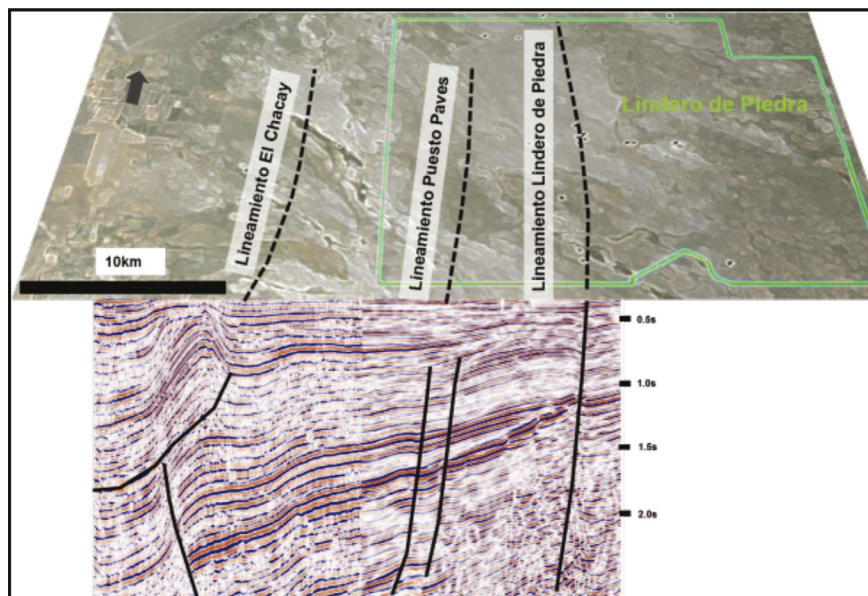


Figura 4. Ubicación en superficie y subsuelo de los lineamientos El Chacay, Puesto Pavés y Lindero de Piedra.

LINEAMIENTO CHACAY

Antecedentes de este lineamiento son conocidos por los trabajos de Silvestro *et al.* (2005), en donde interpretan una tectónica de basamento para el antiforale desarrollado en subsuelo. Por otro lado, Boll *et al.* (2014) al norte del bloque Lindero de Piedra (corte Puesto Rojas-Atuel Sur),

muestran el desarrollo de corrimientos al este del Anticlinorio del Atuel. A la altura del pozo Chacay x-1, en el corte Anticlinal Malargüe-Lindero de Piedra (Fig. 4), se observa una estructura que combina dos mecánicas de deformación: por un lado, en niveles estructurales profundos, se observa una tectónica de piel gruesa, con participación de una falla de basamento de alto ángulo que inclina al este y afecta hasta la Fm. Agua de la Piedra. Esta falla se interpreta como producto de la inversión del sistema de rift del grupo Choiyoi-Precuyo?, y genera un amplio anticlinal simétrico, que afecta hasta niveles superiores de la Fm. Agua de la Piedra. En un nivel estructural más alto, se desarrolla una tectónica de piel delgada, ilustrada por la generación de un corrimiento de bajo ángulo con vergencia al este, que proviene de una superficie de despegue de muy bajo ángulo en niveles miocenos (Fig. 5).

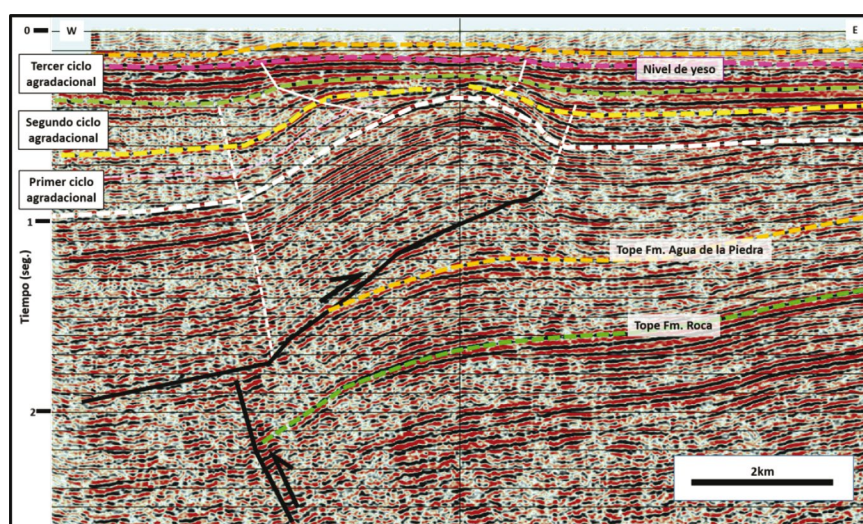


Figura 5. Línea sísmica B correspondiente a la zona de influencia del lineamiento El Chacay. Para su ubicación ver la Figura 1.

La estructura de corrimiento es interpretada como un pliegue de propagación de falla cuyo desarrollo es concomitante con la sedimentación Pliocena-Pleistocena, afectada por discordancia sintectónicas y progresivas (Figura 5). Dentro de este intervalo estratigráfico sindeformacional, a partir del análisis de la geometría de sus estratos de crecimiento y las relaciones estratigráficas intrasecuencia, se reconocen dos intervalos en la evolución con respecto a la relación TS/TL (tasa de sedimentación vs. levantamiento sensu Ford *et al.* 1997; Burbank y Verges 1994):

(1) La sección inferior constituida por el primer ciclo agradacional y la base del segundo ciclo, tiene una tasa de levantamiento tectónico mayor que la de sedimentación tal como lo indican las relaciones internas de onlap y offlap (growth onlap & offlap $TS < TL$). Los sedimentos para esta unidad tendrían su procedencia en el frente orogénico del anticlinal Malargüe;

(2) en la sección superior, hacia el techo del segundo ciclo agradacional y todo el tercer ciclo, los estratos se adelgazan hacia la cresta del anticlinal, pero la llegan a cubrir, produciendo una geometría degrowth overlap ($TS >> TL$), extendiéndose a ambos lados del flanco.

El comportamiento del anticlinal puede asimilarse a un pliegue de propagación de falla por crecimiento de charnela, con tasas de elevación mayores a la tasas de sedimentación y sin erosión en la sección inferior (Storti y Poblet 1997), pasando a mayores tasas relativas de sedimentación hacia la sección superior. En los flancos se observa una cinemática de rotación instantánea con ángulo de limbo constante en el dorso del pliegue (triángulos de crecimiento), y otra derotación progresiva (trishear) de su limbo oriental-frontal marcada por el desarrollo de discordancias progresivas. Estas características armonizan con la interpretación de un corrimiento de piel fina con vergencia al este, con una cinemática combinada de migración de bandas kink en el limbo dorsal y rotación progresiva del limbo frontal (e.g. véase Ghiglione *et al.* 2002 y sus referencias). Cabe mencionar que el plegamiento afecta desde el Primer Ciclo Agradacional y más sutilmente la base de Ciclo agradacional Holoceno.

LINEAMIENTO PUESTO PAVÉS

El lineamiento Puesto Pavés se halla definido por dos fallas sintéticas de basamento con inclinación al oeste, paralelas entre sí, de origen extensional (Fig. 6B). Ambas fallas muestran

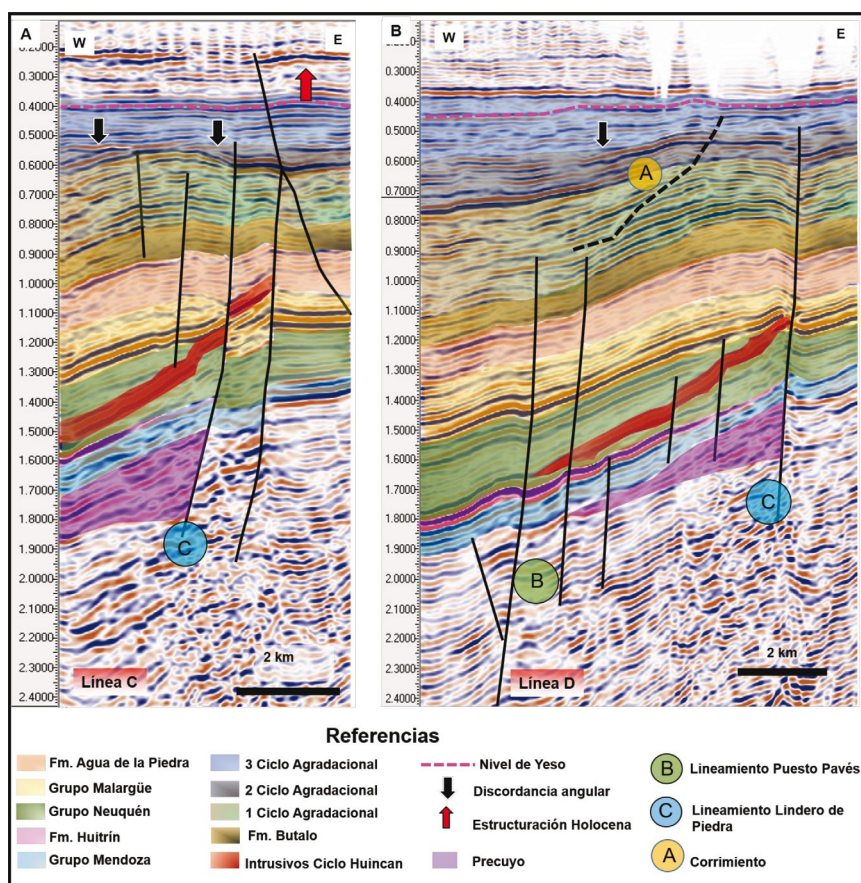


Figura 6. Líneas sísmicas correspondientes al lineamiento Lindero de Piedra. A) Lindero de Piedra Norte B) Lindero de Piedra Central

comportamientos cinemáticos diferentes, la falla occidental se invierte compresivamente en el Mioceno-Plioceno conformando un suave anticlinal en el bloque yacente (Fm. Butalo-Primer ciclo agradacional), en tanto la oriental presenta una reactivación distensiva en el Plioceno (sección inferior del Primer ciclo agradacional). La reactivación de esta falla es anterior a la generación del corrimiento Anticlinal Chacay, y contemporánea con el levantamiento del Anticlinal Malargüe.

LINEAMIENTO LINDERO DE PIEDRA

El lineamiento se halla constituido por tres fallas de basamento, desconectadas entre sí pero con el mismo rumbo.

De sur a norte, se observa un aumento de la deformación que se expresa en las discordancias angulares más pronunciadas entre segundo y tercer ciclo agradacional (Figs. 6 y 7).

La conformación de la estructura Lindero de Piedra Central es más joven respecto al corrimiento del Chacay y presenta un onlap rotativo de los estratos de crecimiento (Fig. 6B).

Lindero de Piedra Norte es la estructura más deformada dentro de este lineamiento, además de la falla principal que la genera, se observan fallas secundarias que compartimentalizan esta estructura (Fig. 6 A). Presenta un cuerpo intrusivo (Ciclo Huincán) el cual alcanza niveles de la Fm. Agua de la Piedra, y presenta deformación asociada a la falla invertida.

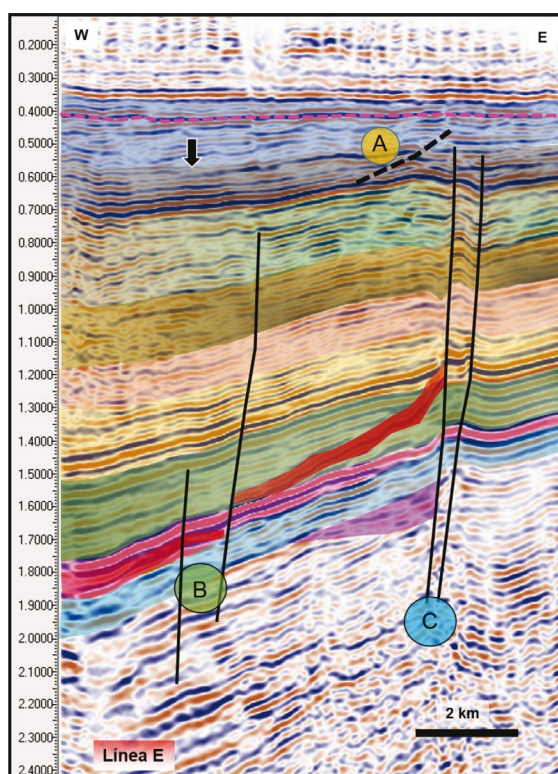


Figura 7. Lindero de Piedra Sur. Referencias igual a figura 6.

La estructura Lindero de Piedra Sur tiene un origen asociado a dos fallas sintéticas distensivas de basamento y presenta una inversión tectónica que afecta hasta niveles del Segundo ciclo agradacional (Fig. 7). Tanto el anticlinal Lindero de Piedra Central como Sur desarrollan sobre su flanco occidental pequeños corrimientos (Fig. 6B y 7).

Sobre el extremo NE del cubo sísmico y al este de la estructura Lindero de Piedra Norte, se observa una pequeña estructura que afecta a las unidades más jóvenes llevando la actividad tectónica para esta región de la cuenca hasta épocas más recientes (Ciclo agradacional 3 y agradacional Holoceno / Pleistoceno superior-Holoceno). La vergencia de esta falla es opuesta a las demás fallas que se invierten (Figs. 6A y 8).

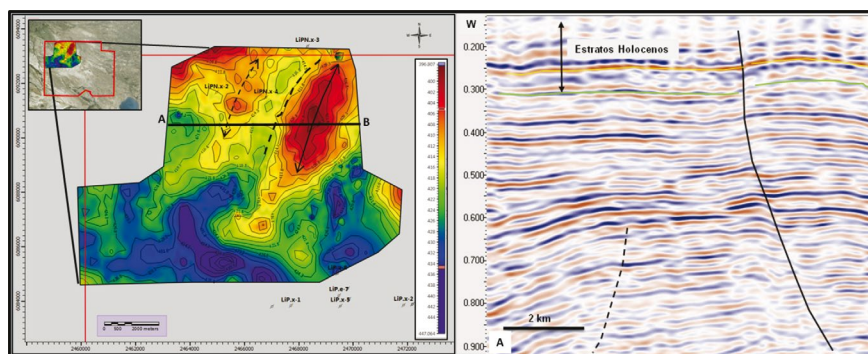


Figura 8. Izquierda: Isócrono a un Horizonte intra-Holoceno (reflector verde), derecha: línea sísmica mostrando la estructura de los estratos Holocenos

DISCUSIÓN

La interpretación a partir de los datos y bibliografía disponible, permite interpretar que el lineamiento Puesto Pavés presenta una deformación contemporánea con el Anticlinal Malargüe. En una posterior etapa de deformación el frente de deformación migra hacia el este, con la fosilización del levantamiento del Anticlinal Malargüe y Puesto Pavés. El lineamiento Chacay cambia el estilo de deformación de una tectónica de piel gruesa (de edad más antigua) al desarrollo de corrimientos (mas jóvenes). Es probable que los corrimientos de piel fina del anticlinal Chacay se enraícen en estructuras de basamento del anticlinal Malargüe (Fig. 9), modelos del tipo acoplamiento basamento-cobertura (basement-cover bonding model según Giambiagi *et al.* 2009), como ocurre en el frente del Anticlinorio Atuel que transfiere rechazo hacia el este en los corrimientos de El Mesón y El Sosneado. Hacia el este, en el lineamiento Lindero de Piedra, la tectónica es de piel gruesa. También se advierte un aumento de la deformación dentro del lineamiento Lindero de Piedra en sentido Sur-Norte. Al norte, la deformación alcanza niveles más jóvenes, estructurando secuencias holocenas, evidenciando una actividad tectónica reciente.

Es importante destacar que las fallas compresivas desarrolladas en las fajas plegadas pueden

responder al tipo piel gruesa o bien a piel delgada. En general la presencia de un arco volcánico y una sismicidad extensional menor se relacionan a subducciones de alto ángulo en tanto que la ausencia de un arco volcánico y una sismicidad intracrustal compresional se asocia a una subducción somera. Por otro lado, los estilos tectónicos no tienen un vínculo tan evidente con los estilos de subducción. Por ejemplo, el estilo piel delgada parece ser más común en subducciones de alto ángulo mientras que el estilo piel gruesa con subducciones de bajo ángulo. Pero también es posible que los estilos orogénicos estén reflejando cambios en el buzamiento de la placa y no el régimen de buzamiento de la placa. La distinción geográfica de los dos estilos tectónicos no es clara, porque el buzamiento de la zona Wadati-Benioff puede cambiar efímeramente (Uyeda y Kanamori, 1979).

En el lineamiento Lindero se observan pequeños corrimientos que se originan con posterioridad a la inversión de las fallas distensivas. Esto implica que la tectónica epidérmica es posterior a la tectónica de piel gruesa en El Chacay y Lindero de Piedra.

ENTRAMPAMIENTO DE HIDROCARBUROS Y CONCLUSIONES

El levantamiento del Anticlinal de Malargüe origina al este del mismo, la cuenca de antepaís de Malargüe, en la cual se depositan más de 2000 metros de sedimentos de edad Miocena-Reciente. Durante esta etapa de deformación del hemigraben Malargüe, el lineamiento Puesto Pavés presenta compresión y distensión. A partir del Plioceno, la deformación andina migra a posiciones más orientales originando las estructuras de El Chacay y Lindero de Piedra, sin presentar deformación el lineamiento Puesto Pavés. Esta migración del frente orogénico se manifiesta tanto en una tectónica de piel gruesa como de piel delgada. En general, se observa que en los lineamientos El Chacay y Lindero de Piedra la inversión tectónica se da en una primera etapa y con posterioridad se originan corrimientos (Fig. 9).

La adquisición de sísmica 3D ha permitido interpretar la génesis de las estructuras Lindero de Piedra como resultado del avance del frente de deformación andino a partir del Plioceno. La estructuración tardía de los yacimientos Lindero de Piedra da lugar al entrapamiento de hidrocarburos en tiempos cuaternarios. Hacia el norte del bloque la estructuración alcanza tiempos holocenos, destruyendo trampas pliocenas (Lindero de Piedra Norte) con la consecuente remigración de hidrocarburos.

En Lindero de Piedra y El Chacay los corrimientos que despegan en niveles de terciario superior no están en contacto con niveles generadores o carriers, se interpreta que por tal motivo las estructuras que se forman son estériles (Figs. 6B, 7 y 9). En cambio las estructuras originadas por inversión tectónica de los hemigrabens precuianos permitieron la carga de hidrocarburos a lo largo de toda la columna geológica, en donde el fallamiento fracturó los carriers, reservorios y sellos permitiendo la migración y/o remigración libre de hidrocarburos.

Por último, la carga de estas trampas tardías pudo originarse por: 1-remigración o 2-por maduración y migración de hidrocarburos al este del Anticlinal Malargüe con posteridad al levantamiento del mismo. Esta segunda hipótesis no puede ser corroborada por ausencia de sondeos que hayan alcanzado la roca madre en esta posición de la cuenca.

REFERENCIAS CITADAS

- Azcuy, C.L. y R. Caminos, 1987, "Diastrofismo", en S. Archangelsky (ed.), *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, p. 239-251.
- Boll, A., J. Alonso, F. Fuentes, M. Vergara, G. Laffitte y H. Villar, 2014, "Factores controlantes de las acumulaciones de hidrocarburos en el Sector Norte de la Cuenca Neuquina, entre los ríos Diamante y Salado, provincia de Mendoza, Argentina", IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Trabajos Técnicos, Tomo 1, p.3-44, Mendoza, Argentina.
- Burbank, D. y J. Verges, 1994, "Reconstruction of topography and related depositional systems during active thrusting", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, p. 281-297.
- Combina, A.M. y F. Nullo, 2011, "Ciclos tectónicos, volcánicos y sedimentarios del Cenozoico del sur de Mendoza-Argentina (35°-37°S y 69°30'W)", *Andean Geology*, N° 38 (1), p. 198-218.
- Combina, A.M., F. Nullo y F. Stephens, 1993, "Depósitos Terciarios en el pie de sierra del área de las Aucas, sur de Mendoza", en XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Acta II, p. 180-186.
- Davico, R. 1986. "Informe final pozo YPF.Md.NLiP.x-5, "Lindero de Piedra, Mendoza", YPF, Inédito.
- Faccenna, C., O. Oncken, A. Holt y T. Becker, 2017, "Initiation of the Andean orogeny by lower mantle subduction", *Earth and Planetary Science Letters*, N°463, p. 189-201.
- Ford, M., E. Williams y A. Artoni, 1997, "Progressive evolution of a fault-related fold pair from growth strata geometries, Sant Llorenç de Morunys, SE Pyrenees", *Journal of Structural Geology*, Vol. 19, p. 413-441.
- Ghiglione, M. C., V. A. Ramos, y E.O. Cristallini, 2002, "Estructura y estratos de crecimiento en la faja plegada y corrida de los Andes Fueguinos", *Revista Geológica de Chile (Andean Geology)*, Vol. 29(1), p. 17-41.
- Giambiagi, L., M. Ghiglione, E. Cristallini, y G. Bottesi, 2009, "Kinematic models of basement/cover interaction: Insights from the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina", *Journal of Structural Geology*, 31(12), 1443-1457.
- Giampaoli, P., J. L. Ramirez y M. A. Gait, 2005, "Estilos de entrapamiento en la faja plegada y fallada de Malargüe", en E. Kozłowski, G. Vergani y A. Boll (eds.), *Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina*, VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, p. 121-140.
- Horton, B, 2018, "Sedimentary record of Andean mountain building", *Earth-Science Reviews*, N° 178, p. 279-309.
- Horton, B., F. Fuentes, A. Boll, D. Starck, S. Ramirez y D. Stockli, 2016, "Andean stratigraphic record of the transition from backarc extension to orogenic shortening: A case study from the northern Neuquén Basin, Argentina", *Journal of South American Earth Sciences*, N° 71, p. 17-40.

- Kozlowski, E., R. Manceda y V. Ramos, 1993, "Estructura", en V.A. Ramos (ed.), Geología y Recursos Naturales de Mendoza, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, p. 235-256.
- Nullo, F., G. Stephens, A. Combina, L. Dimieri, P. Baldauf y P. Bouza, 2005, "Hoja Geológica 3569-III/3572-IV. Malargüe", Boletín N° 346, 85 p, Servicio Geológico Minero Argentino.
- Oncken, O., D. Hindle, J.Kley, K.Elger, P. Victor y K.Schemmann, 2006, "Deformation of the Central Andean upper plate system-Facts, fiction, and constraints for plateau models", en O. Oncken, G. Chong, G. Franz, P. Giese, H. Götze, V. Ramos, M. Streckery P. Wigger (eds.), The Andes-Active Subduction Orogeny, Frontiers in Earth Science Series, Vol. 1, p. 3-27, Springer-Verlag, Berlin.
- Ortiz, A. y J. Zambrano, 1976, "Investigaciones geológicas e hidrogeológicas del Área Mendoza Norte", Centro Regional de Aguas Subterráneas, Serie Técnica P94, p. 1-43, San Juan.
- Polanski, J., 1954, "Rasgos geomorfológicos del Territorio de la Prov. de Mendoza", Cuadernos de Investigaciones y estudios, N° 4, p. 4-10, Ministerio de Economía, Instituto de Investigaciones económicas y tecnológicas, Mendoza.
- Polanski, J., 1963, "Estratigrafía, neotectónica y geomorfología del Pleistoceno pedemontano, entre los ríos Diamante y Mendoza", Revista de la Asociación Geológica Argentina, N° XVII (3-4), p. 127-349.
- Ramos, V.A. y S.M. Kay. 2006, "Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°-39°S latitude)" en S.M. Kay y V.A. Ramos (eds.), Evolution of the Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S latitude), Geological Society of America, Special Paper 407, p. 1-17.
- Rodriguez, E. y M. Barton, 1993, "El Cuaternario de la llanura", en V.A. Ramos (ed.), Geología y Recursos Naturales de Mendoza, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, p. 173-194.
- Silvestro, J., P. Kraemer, F.Achiliy W. Brinkworth, 2005, "Evolución de las cuencas sinorogénicas de la Cordillera principal entre 35°-36°S, Malargüe", Revista de la Asociación Geológica Argentina, N° 60 (4), p.627-643.
- Storti, F. y J. Poblet, 1997, "Growth stratal architectures associated to decollements folds and fault-propagation folds. Inferences on fold kinematics", Tectonophysics, N° 282, p. 353-373.
- Uyeda, S. y H. Kanamori, 1979, "Back-arc opening and the mode of subduction", Journal of Geophysical Research, N° 84, p. 1049-1061.
- Yrigoyen, M., 1979, "Cordillera principal", en A. F. Leanza (ed.), Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias Tomo I, p. 651-694, Córdoba.

