

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE LAS SALINAS Y SU RELACIÓN CON LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EÓLICOS EN EL ÁREA MÉDANOS NEGROS

Edgardo A. AZEGLIO<sup>1</sup>, Mario E. GIMÉNEZ<sup>2</sup> y Antonio INTROCASO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico Sismológico Volponi - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad nacional de San Juan. Email: estudioazeglio@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> CONICET. Instituto Geofísico Sismológico Fernando Volponi - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Email: mgimenez@unsj/cuim.edu.ar

<sup>3</sup> CONICET. Instituto de Física Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Email: geofisic@fceia.unr.edu.ar

## RESUMEN

La cuenca sedimentaria de las Salinas tiene aproximadamente 100 km de largo, 50 km de ancho y una altitud media de 500 m s.n.m. de rumbo NNO se ubica entre las sierras de la Huerta, Guayaguas, Catantal y las Quijadas al oeste, y las sierras de Chepes, Ulapes y San Luis al este. Como rasgo distintivo, la cuenca es atravesada en dirección SO-NE por una notable elevación constituida por sedimentos eólicos, que en promedio se elevan unos 60 m sobre su entorno, y cubren una superficie de 57 km de largo por 8 km de ancho aproximadamente. La reinterpretación de datos sísmicos reveló que la estructura principal de la cuenca está compuesta por tres anticlinales asimétricos de rumbo N-NO cuyos flancos occidentales están truncados por un sistema principal de fallas inversas de alto ángulo con rechazos aproximados de 900 m paralelo al eje de los anticlinales y un sistema de fallas secundario, también de alto ángulo con rechazos aproximados de 500 m y de rumbo predominante NE. Los movimientos tectónicos compresivos aun activos, principalmente de rumbo N-NO y, en menor medida los ortogonales, han activado el sistema de fallas descripto, cuya manifestación más importante es el afloramiento de rocas mesozoicas en las sierras circundantes. Un efecto no tan evidente es que la interacción del sistema de fallas ha propiciado la formación de una estructura alargada, curvada y segmentada en forma de "S" que se va adaptando a la deformación que sufre el terreno como consecuencia de la dinámica impuesta por la tectónica.

Palabras clave: *Sísmica de reflexión 2D, Médanos Negros, Cuenca de las Salinas.*

**ABSTRACT:** *Structural analysis of the Las Salinas Basin and its relationship with eolian sediments accumulation in the Médanos Negros area.* Las Salinas sedimentary basin is 100 km long, 50 km wide and has an average height of 500 m above sea level, with a NNW trend. It is located among the Sierras de La Huerta, Guayaguas, Catalan and Las Quijadas to the west, and Sierras de Chepes, Ulapes and San Luis to the east. As a distinctive feature, the basin is crossed from SW to NE by a significant elevation constituted by eolian sediments which reaches about 60 m above the surface. These sediments cover approximately an area 57 km long and 8 km wide. The reinterpretation of seismic data revealed that the basin main structure is formed by three asymmetric N-NW-trending anticlines with their western flanks bounded by a system of high-angle reverse faults with approximate 900 m throws parallel to the anticline axis and a secondary system of faults. This NE-trending secondary system is also of high angle with stratigraphic throws of approximately 500 m. The tectonic compressive regime, still active, has a N-NW orientation. The displacements of the above mentioned fault system controlled the main Mesozoic outcrops of the surrounding sierras. A not so evident effect of the mentioned fault system is the formation of an elongated, curved and segmented structure with a "S" shape, which controls the ground deformation as a consequence of the dynamic imposed by the tectonics.

Keywords: *Seismic reflection 2D, Médanos Negros, Las Salinas basin.*

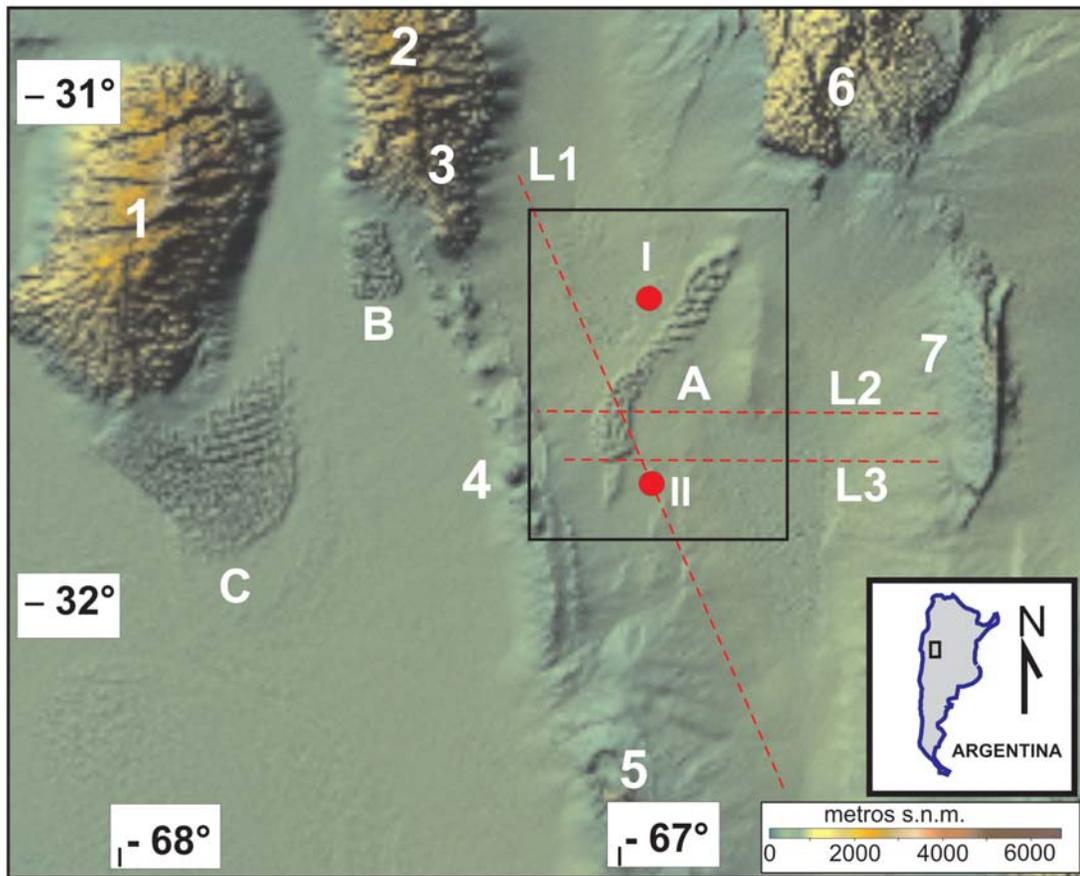
## INTRODUCCIÓN

La cuenca de Las Salinas se ubica en una región limítrofe entre las provincias de San Juan, La Rioja y San Luis, se extiende entre las sierras de Valle Fértil y los Llanos en las direcciones oeste y este respectivamente. Limita al sur con la dorsal de San Pedro y

se prolonga hacia el norte alcanzando el extremo sur de la provincia de La Rioja (Fig. 1).

En líneas generales su estructura corresponde a una serie de anticlinales asimétricos de rumbo N-NE cuyos flancos occidentales están truncados por fallas inversas paralelas al eje del anticlinal (Criado Roque

*et al.* 1981). Estos anticlinales se extienden unos 40 km aproximadamente hasta la pampa de las Salinas. La cuenca de origen tafrogénica cambió su estilo tectónico a compresional hacia fines del Cenozoico, como se observa en la fracturación inversa que eleva rocas mesozoicas y terciarias a nivel de superficie (Criado Roque *et al.*



**Figura 1:** Ubicación geográfica y modelo digital de terreno donde se referencian las principales estructuras: 1) Pie de Palo, 2) Sa. de Valle Fértil, 3) Sa. de la Huerta, 4) Sa. de Guayaguas-Catantal, 5) Sa. de las Quijadas, 6) Sa. de Chepes 7) Sa. de Las Minas y Ulapes. MN: Médanos Negros, LC: Médanos de las Chacras, MG: Médanos Grandes. Con un recuadro se indica el área de estudio. En líneas de trazos se indican las líneas sísmicas interpretadas (L1= Líneas 28084 y 28096, L2= Línea 28085 y L3= Línea 28093). Con círculos se indican la ubicación de los pozos sísmicos, I: Salinas de Mascasín-La Rioja (LR.SM.es1) y II: Las Toscas-San Juan (SJ.LT.x1).

1981, Schmidt *et al.* 1995, Gardini *et al.* 1999, 2002).

Los estudios realizados por YPF, Texaco y Azeglio *et al.* (2008a) muestran que estas estructuras anticlinales falladas delimitan por lo menos cuatro bloques por medio de fracturas longitudinales. Estos bloques afectan la cubierta sedimentaria, que en el extremo norte sobrepasa los 3.500 m de espesor (Azeglio *et al.* 2008b). La región muestra un acortamiento por compresión en dirección O-E, que afectó a los paquetes sedimentarios de la cuenca (Criado Roque *et al.* 1981, Snyder 1988).

La cadena de serranías occidentales es particularmente interesante y reviste importancia ya que manifiesta un registro de una larga historia de reactivación de fallas, con un incremento progresivo de la deformación de las cuencas mesozoicas de sur a norte, que ha provocado como resultado la inversión tectónica de las mismas (Gardini *et al.* 2002).

Otro elemento estructural a tener en cuenta

es la dorsal de San Pedro, que forma el límite sur de la cuenca de Las Salinas, separándola de la cuenca de Beazley. Como estructura, la dorsal de San Pedro es un umbral que se encuentra activado, por lo menos desde el Cretácico y ha controlado la sedimentación de las cuencas adyacentes. Tiene rumbo este y está formado por dos bloques pequeños limitados por dos fallas: la falla de General Roca y otra falla más pequeña, paralela a esta, localizada al este (Criado Roque *et al.* 1981).

Parte del sector norte de la cuenca está cubierto por arenas eólicas que cubren un área aproximada de 1.000 km<sup>2</sup>, limitada por depósitos aluviales y lacustres evaporíticos (Tripaldi *et al.* 2002). Como rasgo distintivo la cuenca es atravesada en dirección SO-NE, por una notable elevación constituida por sedimentos eólicos, que se eleva sobre la superficie de la cuenca entre 50 y 70 m, promediando una longitud de 57 km y un ancho de 8 km (MN en Fig. 1). Existen sectores de similares característi-

cas en el sector sur de la sierra de Pie de Palo y en el sector sudoeste de la sierra de La Huerta, (MG y LC, en Fig. 1) (Cevallos 1996, Tripaldi *et al.* 2006).

En el presente trabajo se presenta una reinterpretación de antiguas líneas sísmicas 2D relevadas en la cuenca de Las Salinas. Se propone desde una óptica geofísica un modelo geológico estructural que explicaría la acumulación de sedimentos eólicos que constituyen los denominados Médanos Negros.

## METODOLOGÍA

Se contó con los archivos en formato SEG y de las líneas sísmicas 2D del área de la cuenca sedimentaria de Las Salinas y con información del pozo Las Toscas (SJ.LT.x-1) y Salinas de Mascasín LR.SM.es1. Debido a la baja calidad en la adquisición del dato, algunas líneas sísmicas que presentan alto nivel de ruido no fueron consideradas, reinterpretándose sólo las líneas O-

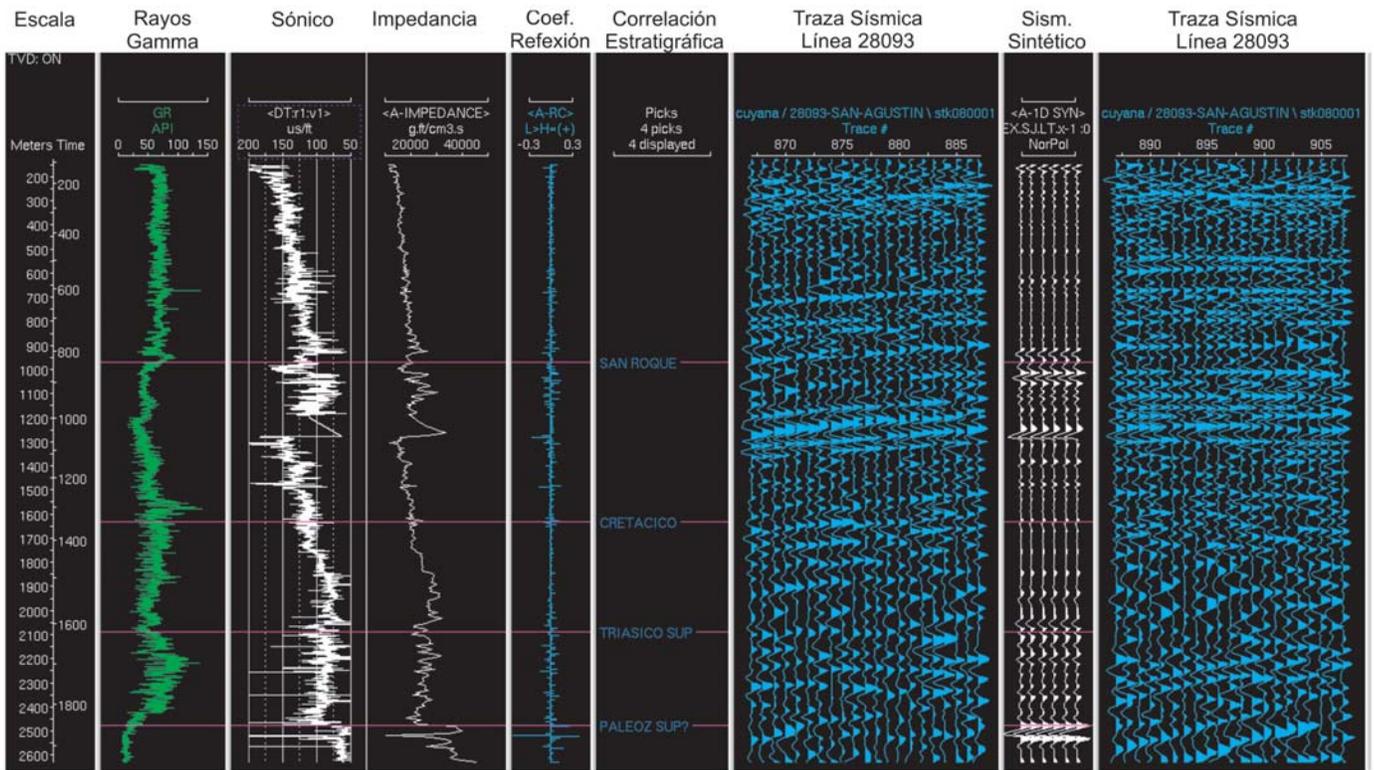


Figura 2: Información del pozo Las Toscas (SJ.LT.x-1), de izquierda a derecha se muestra: profundidad/tiempo, perfil radiactivo (GR), sónico, impedancia acústica, coeficientes de reflexión, formación o período identificado, porción de 40 trazas de línea sísmica 28093, en su centro se ha graficado el perfil sísmico sintético para su respectiva correlación.

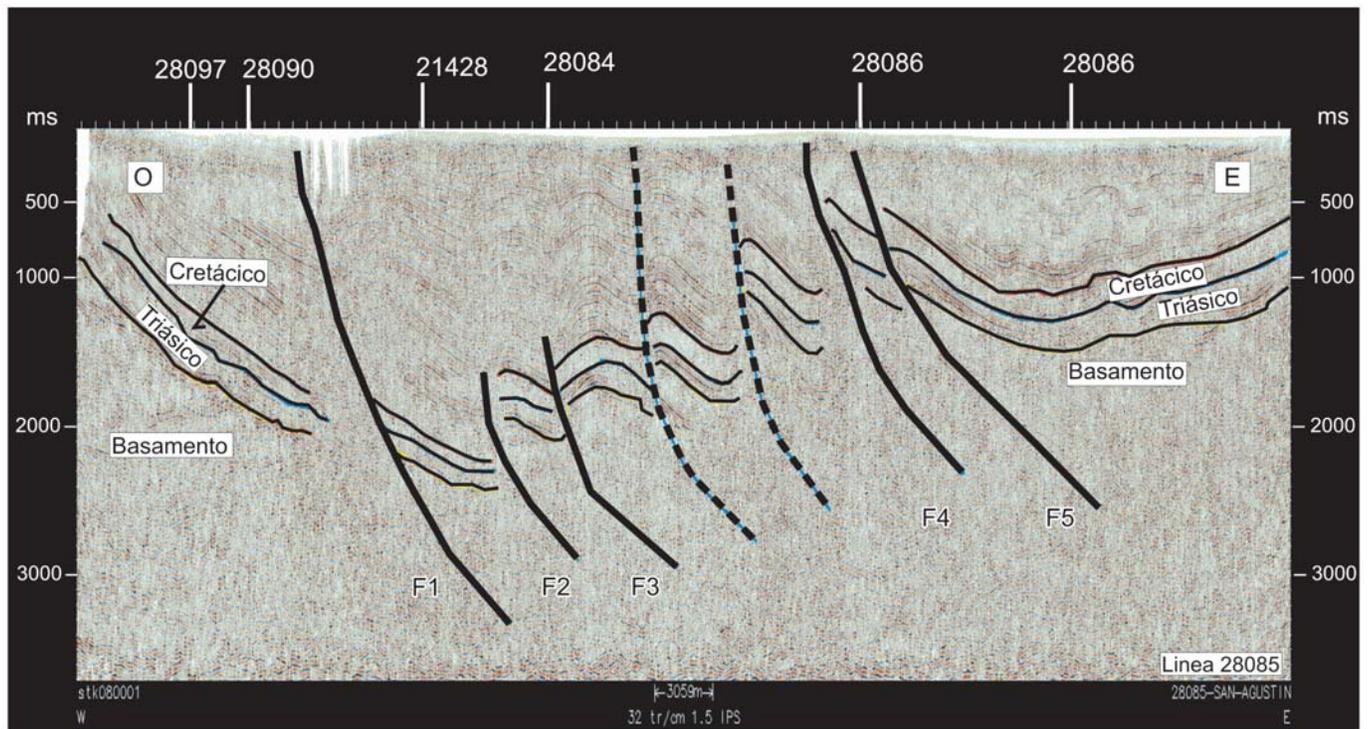
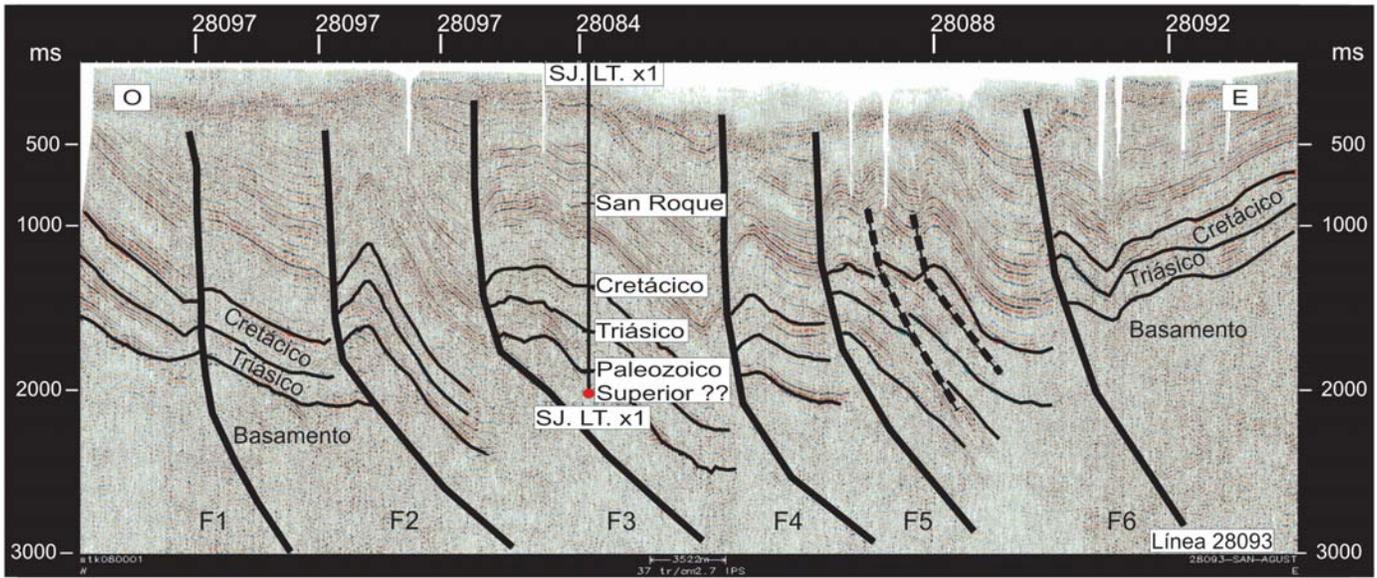
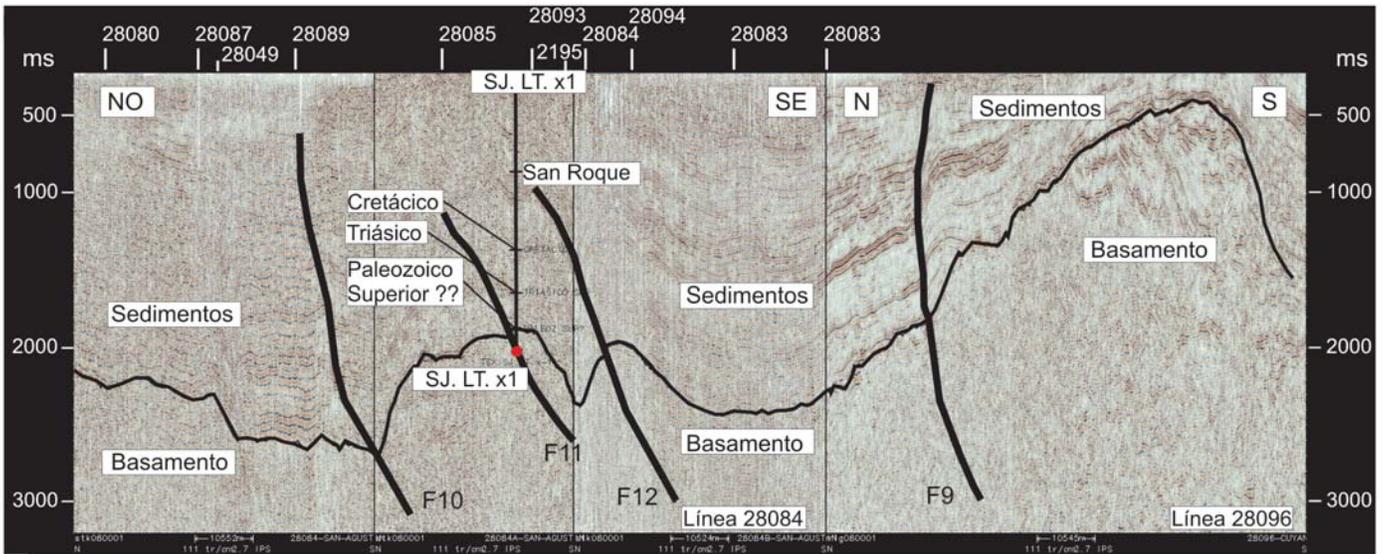


Figura 3: Corresponde a la línea 28085 (véase ubicación L2 en Fig. 1), donde se ha identificado el techo del basamento, del Triásico y del Cretácico. Los sistemas de fallas correlacionados se identificaron como F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 y los carentes de correlación con trazo discontinuo.



**Figura 4:** Corresponde a la línea 28093 (véase ubicación L3 en Fig. 1), donde se ha identificado el techo del basamento, techo del Triásico y techo del Cretácico. Los sistemas de fallas correlacionados se identificaron como; F1, F2, F3, F4, F5 y F6 y los carentes de correlación con trazo discontinuo. También se muestra la ubicación del pozo Las Toscas (SJ.LT.x-1) y su respectiva correlación estratigráfica.



**Figura 5:** Líneas 28084 y 28096 (véase ubicación L1 en Fig. 1), donde se ha identificado el techo del basamento y los sistemas de fallas transversales al eje principal de la cuenca. También se muestra la ubicación del pozo Las Toscas (SJ.LT.x-1) y su respectiva correlación estratigráfica.

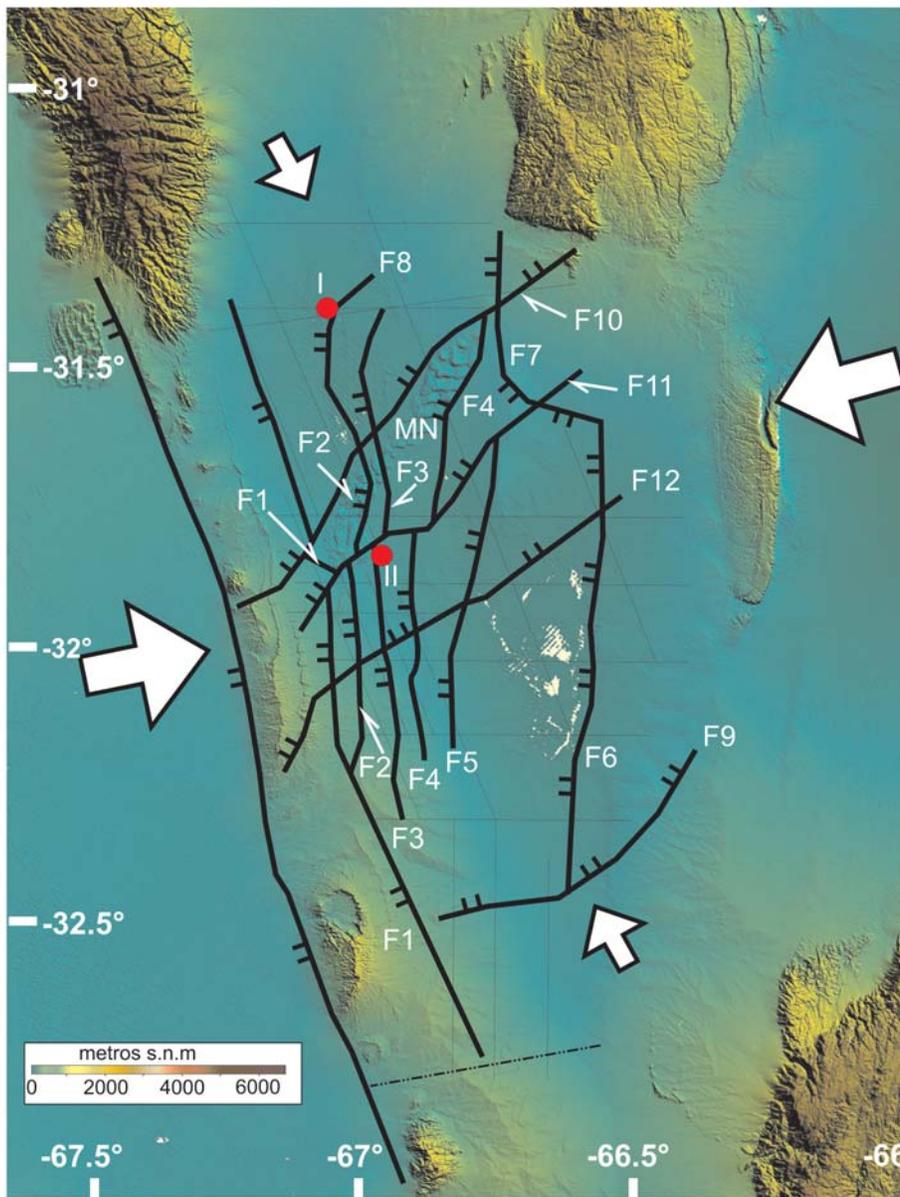
E: 28088, 28087, 28049, 28085, 28093, 28094, 28083, 28095 y las N-S: 28092, 28086, 28084, 28090, 28097, 2142B, 2146A, 28108, 28096 y 25117-02.

Para la calibración de los horizontes sísmicos, se utilizó la información del pozo Las Toscas (SJ.LT.X1)-(Eurocan Bermuda 1993), utilizando la siguiente información: profundidad/tiempo, perfil sónico, impe-

dancia acústica, coeficientes de reflexión, perfil sísmico sintético y un segmento de 40 trazas de la línea sísmica 28093 con centro en el pozo (Fig. 2). En las figuras 3 a 5, se muestran las líneas sísmicas reinterpretadas, y en figura 6 la ubicación geográfica de las mismas.

En las figuras 2 y 5 se muestran, para la línea 28093, la correlación existente entre

los horizontes estratigráficos encontrados en el pozo SJ.LT.x-1 y los horizontes sísmicos correspondientes. El pozo Salinas de Mascasín (LR.SM.es1) se utilizó como indicador de profundidad de basamento y control de cierre para horizontes estratigráficos. Identificados los horizontes en el perfil, ésta interpretación se hizo extensiva a todas las líneas 2D. Los rasgos iden-



**Figura 6:** Interpretación estructural de la cuenca de Las Salinas. Sobre el modelo digital de terreno se han trazado los dos sistemas de fallas predominantes de la región. Las flechas blancas representan las direcciones de los movimientos tectónicos y su tamaño la magnitud. Las líneas continuas representan fallas geológicas interpretadas. Las líneas suaves representan la posición de las líneas sísmicas, los círculos (rojos) las perforaciones. I: Salinas de Mascasín (L.R.SM.es1), II: Las Toscas (S.J.LT.x1), MN=Medanos Negros.

tificados fueron: trazas de fallas y niveles sedimentarios por encima del techo del basamento sísmico.

## RESULTADOS

Se realizó una correlación de las trazas de fallas interpretadas en cada sección sísmica, identificándolas en el mapa mediante las siglas; F1 a F12 (Figs. 4 a 6). También

se observaron algunas trazas de fallas muy localizadas, identificadas con líneas de trazos, que no permiten vinculación con otras líneas sísmicas (Figs. 3 y 4.) Las figuras 3 a 5 muestran la interpretación de las tres líneas sísmicas más representativas de la zona bajo estudio.

En las figuras 3 a 5 se pueden observar los rasgos estructurales producidos por las fuerzas compresivas a las que está sometida

la región cuya evidencia se manifiesta en una compleja relación entre dos sistemas de fallas que sobrepasan al basamento. El sistema principal tiene rumbo predominante N y el secundario, de menor magnitud, NE, ambos sistemas poseen alto ángulo de buzamiento al este y sur respectivamente en superficie e insinuación a la horizontalización en profundidad. La interacción de este sistema ha provocado que la cuenca presente un basamento irregular, cuya geometría está gobernada por la disposición del sistema de fallas descrito. También se observa que los estratos triásicos, cretácicos e inclusive terciarios (Formación San Roque en Figs. 4 y 5), presentan plegamientos del tipo anticlinal con fallamiento inverso en el limbo occidental corto y más inclinado, controlado por fallas inclinadas al este.

En las figuras 3 a 5 se puede observar que el sistema de fallas y el plegamiento se proyectan prácticamente hasta la superficie y dado que la estratigrafía presenta una cierta concordancia desde el Triásico al Terciario, se interpreta que los esfuerzos compresivos fueron post terciarios y se encuentran activos hasta el presente. En las secciones sísmicas analizadas los rechazos tienen valores crecientes hacia el sur, con tiempos de 500 ms en la línea 28085, que alcanzan valores máximos de 1.300 ms en la línea 2195, con un gran predominio de valores de 900 ms.

La reinterpretación de las líneas sísmicas de dirección preponderante N-S permitió la identificación de cuatro sistemas de fallas que cortan la cuenca en forma transversal. Se trata de fallas de alto ángulo y gran rechazo, entre 500 y 1.000 ms, identificadas en las figuras 5 a 7 como F9 a F12.

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La estructura resultante del análisis e interpretación de las líneas sísmicas se observa en la figura 6. Se puede interpretar a la cuenca de Las Salinas como una depresión flanqueada por fallas inversas de alto ángulo de rumbo aproximado norte. Completa el esquema estructural un con-

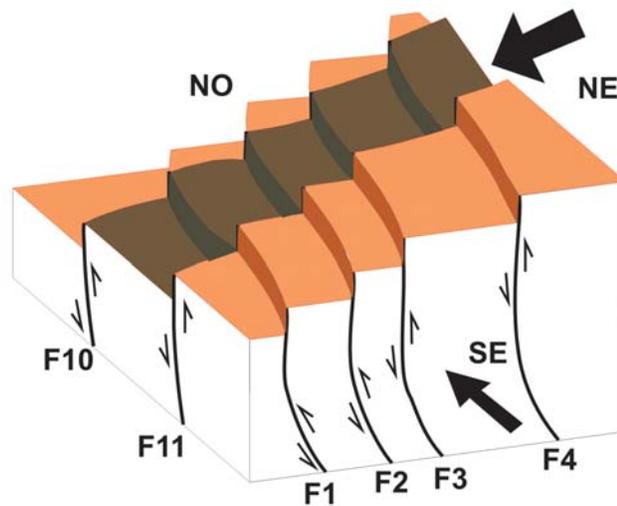
junto de fallas inversas de alto ángulo y rumbo NE, con rechazos sensiblemente menores. Estas fallas se identifican en la figura 6 como F9 a F12. Esta faja de estructuras se podría vincular con la interpretación realizada por Gimenez *et al.* (2008) quienes, a partir de un análisis gravimétrico y a escala regional, trazaron un lineamiento de rumbo predominante E que coincide con el sistema de fallas F9 a F12 (Fig. 6). Los resultados de este trabajo establecen que la cuenca de Las Salinas está conformada por un sistema de fallas de rumbo preponderante NE, comprendido en una faja de aproximadamente 75 km de ancho, con rechazos verticales de 500 m y evidencias de transcurrancia dextral (Introcaso y Ruíz 2001) de unos 400 m. Otro aspecto a resaltar es la atenuación de la deformación al sur de la falla F10. Esta se evidencia tanto en las diferencias topográficas entre las sierra de Chepes y Ulapes en el este, como entre las sierras de la Huerta y de Guayaguas-Catantal por el oeste.

Es evidente la correlación que existe entre la disposición que presentan las dunas en superficie (MN en la Fig. 6) con la geometría del sistema de fallas NE existente en el subsuelo.

El cierre sur de la cuenca estaría dado por la falla F9, de rumbo NE (Fig. 6). El techo del basamento de tipo escalonado y muy irregular está gobernado por el sistema de fallas descrito anteriormente que alcanza una profundidad máxima de 4 km.

## ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DEL SISTEMA DE FALLAS Y SU RELACIÓN CON LOS MÉDANOS NEGROS

La interacción entre las fallas secundarias denominadas F10 y F11 y el sistema de fallas principal de rumbo cercano al N ha creado un entorno propicio para la acumulación de sedimentos eólicos en superficie (Fig. 7). Para comprender la tectónica que generó la forma de la duna se la ha dividido en dos: 1) El sistema de fallas secundarias, principalmente las identificadas como F10 y F11 (Fig. 7), generó un escalón que



**Figura 7:** Interpretación de la estructura que permite la acumulación de sedimentos eólicos de Médanos Negros. NO, SE, NE: direcciones cardinales, F1, F2, etc.: fallas consideradas (véase las F con flechas blancas en Fig.6), Flechas: dirección del empuje (el tamaño de las flechas está en relación directa a la magnitud).

propició la acumulación de sedimentos eólicos. Su interacción se ve reflejada en la segmentación de rumbo cercano al O en la parte central de la duna. Las fallas F12 y F9, si bien se encuentran lejos del campo de dunas, actúan como transmisores y atenuadores de la deformación compresiva. 2) El sistema de fallas principal, identificado por F1 a F4 (Fig. 7), presenta un rumbo aproximado N, que controla el campo de dunas, provoca su desplazamiento hacia el norte y segmenta su superficie. Esto se evidencia en el sector sur del campo de dunas, donde la segmentación es prácticamente austral.

El conjunto forma una estructura alargada y curvada que se va segmentando y adaptando a la deformación que sufre el terreno como consecuencia de la dinámica del movimiento impuesto por la tectónica, a través de los planos de debilidad representado por los dos sistemas de fallas principales. Una consecuencia de la doble interacción se evidencia en el sector norte del sistema de dunas donde se observa una forma romboidal.

## CONCLUSIONES

Se presenta un modelo estructural de la cuenca de las Salinas ubicada en la región limítrofe entre las provincias de San Juan, La Rioja y San Luis con énfasis en las estructuras geológicas que controlan a los Médanos Negros. La integración de datos

provenientes de líneas sísmicas y de registros de pozo permitió interpretar la geometría de las estructuras que componen la cuenca de Las salinas. El esquema estructural muestra un sistema de anticlinales asimétricos seccionados longitudinalmente por fallas inversas, de dirección N e inclinación subvertical. Estas generan una depresión con rumbo principal NO de forma alargada y dividida mediante un alto estructural, en dos subcuencas principales, cuya profundidad al basamento alcanzan valores cercanos a 4 km. La interacción entre los movimientos tectónicos expuestos genera una estructura propicia para la acumulación de sedimentos eólicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda financiera aportada por CICITCA-UNSJ, Proyecto 21E-815 que permitió realizar las tareas de adquisición de datos de campo. Además, desean agradecer a la Empresa Total Austral S. A. por brindar la ayuda necesaria para la interpretación de la información sísmica.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Azeglio, E., Gimenez, M. e Introcaso, A. 2008a. Modelo de inversión gravimétrica de la cuenca sedimentaria de Las Salinas, su comparación con el modelo sísmico. 7º Congreso de Exploración y desarrollo de Hidrocarburos, Actas 4 (Métodos Potenciales): 3-8, Mar del Plata.

- Azeglio, E., Gimenez, M. e Introcaso, A. 2008b. Análisis de subsidencia de la cuenca de las Salinas, Sierras Pampeanas Occidentales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(2): 112-120.
- Cevallos, M. 1994. Mares de arena de sombra de montaña: Comparación entre un sistema fosil (miembro el Palque) y un sistema actual (desierto médanos grandes). Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Juan (inédito), 188 p., San Juan.
- Criado Roque, P. Mombrú, C.A. y Ramos, V.A. 1981. Estructura e interpretación tectónica. En Irigoyen, M. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de San Luí, 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 155-192*, San Luis.
- Eurocan Bermuda 1993. Final well report LR.SM es1, Sucursal Argentina, 25 p., Buenos Aires.
- Gimenez, M. Martínez, P. e Introcaso, A. 2008. Determinaciones de lineamientos regionales del basamento cristalino a partir de un análisis gravimétrico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(2):288-296.
- Gardini, C. Costa, C. y Schmidt, C. 1999. Estructura subsuperficial entre las sierras de Las Quijadas-El Gigante y la sierra de Villa General Roca, San Luis. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 219-221, Salta.
- Gardini, C., Schmidt, C., Costa, C., Ricci, W., Rivarola, D. y Arcucci, A. 2002. Estructura e inversión tectónica en el área del cerro Guayaguas, provincias de San Luis y San Juan. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 277-281, El Calafate.
- Introcaso, A. y Ruiz, F. 2001. Geophysical signs of strike-slip motion in the Valle Fértil tectonic lineament, San Juan, Argentina. *Provincias de San Juan y La Rioja. Journal of South American Earth Sciences* 14(7): 655-663.
- Schmidt, C., Astini, R., Costa, C., Gardini, C. y Kraemer, P. 1995. Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation and Neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Tankard, A.J., Suárez, R. y Welsink, H.J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 341-358.
- Snyder, D.B. 1988. Modes of thick - skinned deformation as observed in Deep seismic reflection profiles in western Argentina. Tesis doctoral, Cornell University, (inédita) 88 p., Ithaca.
- Tripaldi, A., Forman, S. y Ciccio, P. 2002. Sedimentología y evolución del campo de dunas de Medanos Grandes (Provincia de San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 9: 65-82.
- Tripaldi, A., Forman, S. y Ciccio, P. 2006. Análisis geomorfológico y primeras edades del campo de dunas Médanos Negros, provincia de La Rioja, Argentina. 3° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 287-298.

Recibido: 22 de mayo, 2009  
Aceptado: 15 de agosto, 2010