

LA ESTRUCTURA PROFUNDA ENTRE PRECORDILLERA Y SIERRAS PAMPEANAS DE LA ARGENTINA: EVIDENCIAS DE LA SISMICA DE REFLEXION PROFUNDA

ALBERTO H. COMINGUEZ

CONICET, Diagonal Norte 777, P. 13, Buenos Aires,

Universidad Nacional de La Plata.

VICTOR A. RAMOS

Universidad de Buenos Aires, Departamento de Geología,
Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428 Núñez, Buenos Aires.

RESUMEN

Los datos de reflexión sísmica profunda obtenidos por reprocesamiento de líneas de Vibroseis industriales, recolectadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) entre las provincias geológicas de la Precordillera y Sierras Pampeanas, permiten reconstruir la geometría profunda entre estas dos unidades. La existencia de reflectores oblicuos, hasta profundidades mayores de 30 km, indica un límite cortical mayor en la corteza media y superior. Estas reflexiones están asociadas con el desarrollo de una franja plegada y corrida sintética correspondiente a un prisma de acreción sedimentario, ubicado en el margen proterozoico occidental de las Sierras Pampeanas. Estas rocas están actualmente expuestas en un sistema imbricado desarrollado en rocas metamórficas altamente milonitizadas del cerro Salinas. La comparación con diferentes suturas de edades similares permite sugerir que la colisión entre el terreno de Precordillera y Sierras Pampeanas ha producido la delaminación de la corteza inferior y la imbricación de la corteza media y superior mediante un sistema de dúplex en tiempos del Paleozoico inferior.

Palabras claves: Sísmica de reflexión profunda, Reflectores oblicuos, Milonitas, Colisión, Precordillera, Sierras Pampeanas, Argentina.

ABSTRACT

The deep seismic reflection data obtained by reprocessing of industrial Vibroseis lines collected by Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), between the Precordillera and Sierras Pampeanas geological provinces permit the reconstruction of the deep geometry between these two different geological provinces. The existence of dipping reflections down to 30 km depth indicates a major crustal boundary in the middle and upper crust. These reflections are associated with the development of a synthetic thrust and folded belt developed in the sedimentary accreted prism along the western Proterozoic margin of Sierras Pampeanas. These rocks are presently exposed as an imbricated system in the highly mylonitized metamorphic rocks at Cerro Salinas. After comparison with different sutures of similar age it is concluded that a collision between the Precordillera Terrane and the Sierras Pampeanas produced the delamination of the lower crust and the imbrication of the middle and upper crust by a duplex system in early Paleozoic times.

Key words: Deep seismic reflection, Dipping reflectors, Mylonites, Collision, Precordillera, Sierras Pampeanas, Argentina.

INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los resultados de un reprocesamiento de una línea sísmica levantada entre Sierras Pampeanas y Precordillera. Esta línea permite reconstruir la geometría profunda del contacto entre las dos provincias geológicas y, por lo tanto, aportar nuevos datos sobre la evolución estructural de estas unidades.

El presente proyecto ha sido realizado conjunta-

mente entre CONICET-CAPLI (Comité Argentino para el Programa de la Litósfera), Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) y la Universidad Nacional de La Plata y permitió el reprocesamiento de la primera sección sísmica de reflexión profunda, realizada en la Argentina, cuyos resultados preliminares fueron presentados por Comínguez (1989) y Comínguez y Ramos (1990). La investigación fue realizada utilizando datos

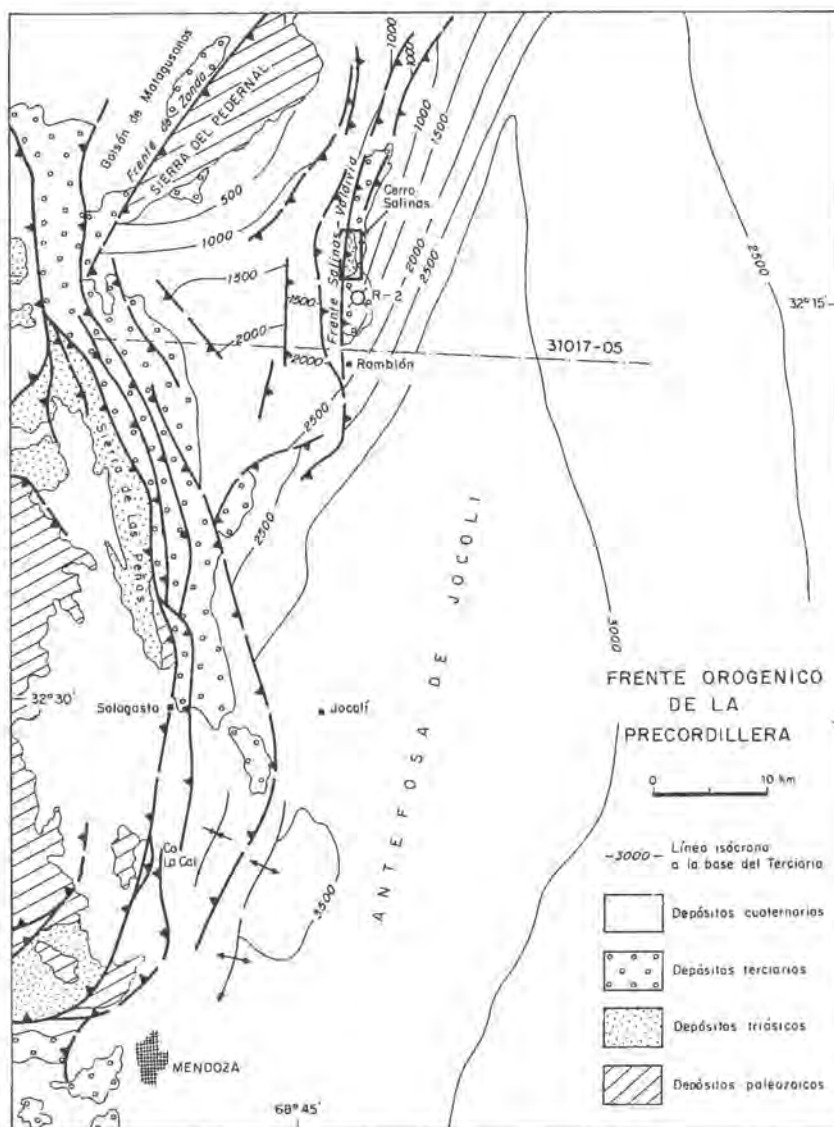


FIG. 1. Bosquejo geológico generalizado del frente cordillerano, al norte de la ciudad de Mendoza, mostrando las relaciones entre Sierras Pampeanas Occidentales y Precordillera (basado en Harrington (1971) y Figueroa y Ferraris (1989). Véase la ubicación de la línea sísmica reprocesada y el pozo YPF-R2. El recuadro indica la ubicación del mapa geológico de la figura 3.

de sísmica de reflexión de la industria petrolera, registrados por YPF durante 1981, mediante el uso de fuentes de señales de Vibroseis.

La línea sísmica estudiada tiene una extensión de 60 km y orientación este-oeste, ubicándose 3 km al norte de la estación ferroviaria de Ramblón, a la latitud de $32^{\circ}15'S$, en la provincia de Mendoza (véase Fig. 1). Esta región comprende el frente orogénico actual de Precordillera, que coincide con el límite estructural de las provincias geológicas de Precordillera y Sierras Pampeanas.

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESAMIENTO

El retratamiento matemático de los datos sísmicos sin correlacionar de Vibroseis fue realizado mediante el uso de la técnica de correlación extendida con ancho de banda fijo (Okaya y Jarchow, 1989). Así fue como se desestimó el extremo de altas frecuencias de la señal de barrido, acortándose el operador de correlación cruzada, con lo cual se obtuvo un perfil más largo que el usual.

La fuente sísmica original consistió en un barrido

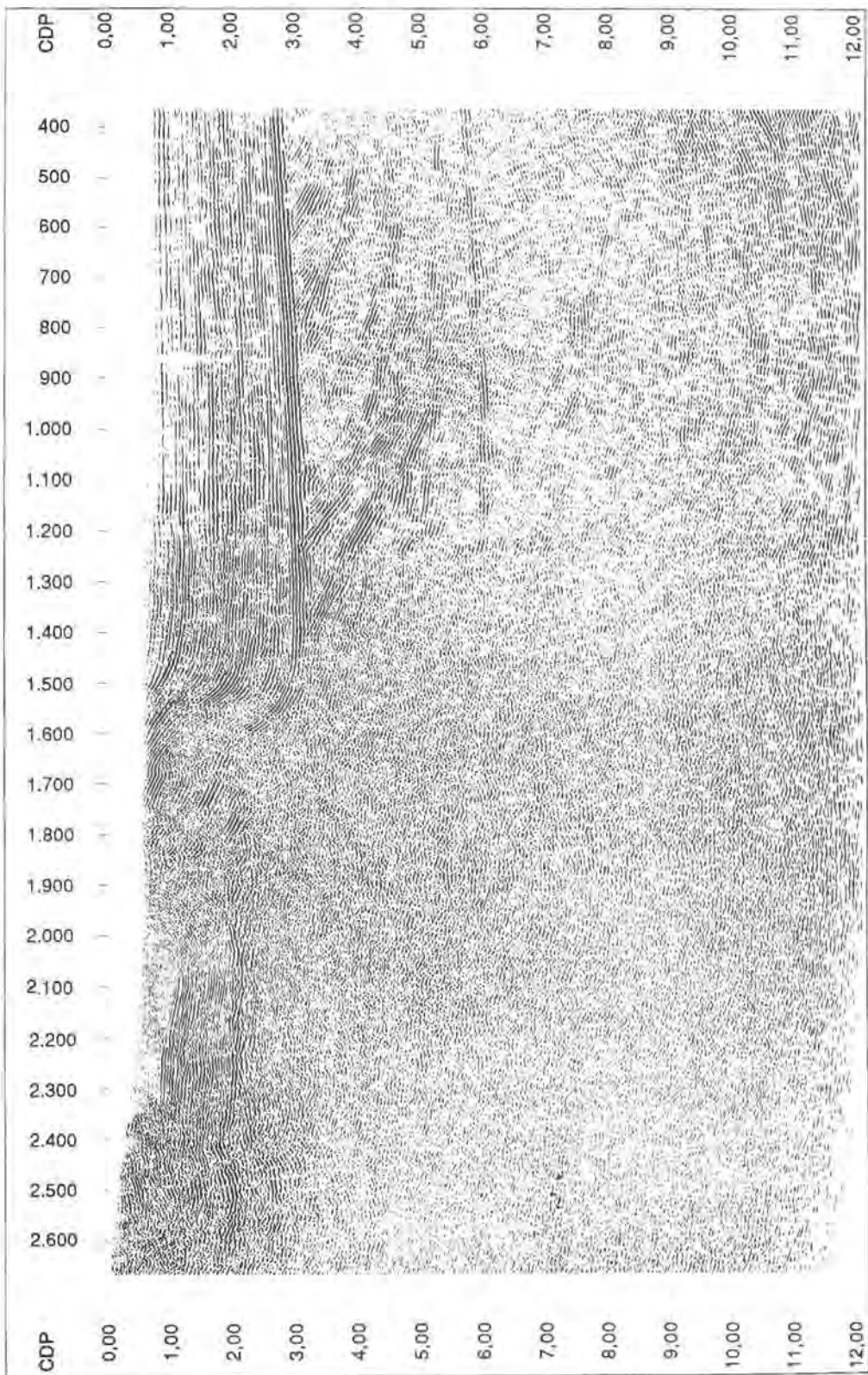


FIG. 2. Reproducción de la línea sísmica migrada 31017-05, lograda mediante Vibroseis y reprocesada para obtener información sísmica profunda (compárese con el trazado de la figura 4)

lineal de 16 segundos de longitud con frecuencias entre 12 y 56 Hz. Asimismo, el registro de campo se extendió hasta 20 segundos por traza. Estos detalles de la prueba permitieron a la industria petrolera elaborar, en primera instancia, un perfil por simple correlación, de cuatro segundos de largo.

En el presente trabajo se redujo la longitud del operadr de correlación a 8 segundos, obteniéndose, por lo tanto, un perfil final de 12 segundos, con contenido en frecuencia entre 12 y 34 Hz. Fue así como se lograron visualizar horizontes acústicos hasta profundidades de aproximadamente 40 km, con una resolución suficientemente buena como para identificar cualidades de la corteza inferior.

Como información adicional se notifica que la prueba de campo contó con 96 canales de registro

por punto de tiro, con grupos de receptores regularmente distanciados en 50 m, y un avance por tiro, también de 50 m (es decir, se apilaron 48 trazas por punto de reflejo común).

Especial importancia fue concedida al monitoreo del registro, canal por canal, para eliminar intervalos de tiempo ruidosos, que pudiesen complicar el análisis de los reflectores más profundos, obteniéndose el registro ilustrado en la figura 2.

Otras etapas críticas que garantizaron la obtención de un óptimo modelado sísmico fueron: 1. Un prolijo análisis de la velocidad de apilamiento extendido hasta un valor máximo de 12 km/s; 2. La aplicación del método de migración por diferencias finitas de Claerbout (1976); y 3. El uso de técnicas de demodulación compleja con colores (Taner y Sheriff, 1977).

MARCO REGIONAL

La región donde se ubica la línea sísmica reprocesada comprende un sector crítico para el entendimiento de las relaciones estructurales entre las provincias geológicas de Precordillera y Sierras Pampeanas. El límite entre estas dos unidades presenta marcadas diferencias estructurales en un sentido longitudinal.

El sector norte, correspondiente a la provincia de San Juan, se caracteriza por estructuras de bajocorrimiento, como las que se observan en las sierras de Villicún, Zonda y su continuación al sur en la Sierra del Pedernal (véase figura 1). En este segmento, los depósitos paleozoicos correspondientes a las calizas cambro-ordovícicas están corridos hacia el oeste, con planos de falla que se inclinan al este (Ortiz y Zambrano, 1981). Entre este sistema y el de la Precordillera Central, con vergencia al este, se desarrolló el bolsón de Matagusanos (Rolleri, 1969), que correspondería a la región axial de una zona triangular o delta. A su vez, los pliegues y corrimientos de la falda occidental de Sierra de Pie de Palo, de los cerros Barbosa, Valdivia y Salinas, tienen la misma vergencia que el frente de fallamiento de Zonca, que se continúa al norte en Sierra de Villicún y al sur de Zonda en la Sierra del Pedernal (Schiller, 1912; Llano *et al.*, 1984; Vacay Rossa, 1988) (Fig. 1). En consecuencia, en este segmento norte, el basamento de Sierras Pampeanas occidentales se imbrica con los depósitos paleozoicos de Precordillera mediante un sistema de vergencia occidental. Es necesario remarcar que, por debajo de Sierra de Zonda,

se registra actividad sismotectónica en niveles medios e inferiores de la corteza (Smalley, 1988), que indicaría un comportamiento rígido hasta profundidades de 40 km. Esto podría estar controlado por un sistema de bajocorrimiento que involucrase al basamento precámbrico precordillerano.

El sector sur, descrito por Figueroa y Ferraris (1989), comprende una serie de corrimientos que definirían un frente orogénico emergente, donde las rocas paleozoicas de la Precordillera estarían cabalgando sobre el basamento metamórfico de las Sierras Pampeanas occidentales. Un ejemplo de esta estructura se observa en el cerro La Cal, al norte de Mendoza (Bettini y Turic, 1981; Ramos, 1988) (Fig. 1).

La línea sísmica reprocesada se ubica en la zona de transición entre un frente emergente (segmento sur) y uno no emergente (segmento norte), que, a grandes rasgos, corresponden con las zonas I y II definidas por Figueroa y Ferraris (1989) sobre la base de las características estructurales del subsuelo. Es por ello que esta línea sísmica permite dilucidar las relaciones geométricas entre ambos segmentos y, por ende, ilustrar las relaciones estructurales entre Precordillera y Sierras Pampeanas.

GEOLOGIA DEL CERRO SALINAS

La línea sísmica se ubica pocos kilómetros al sur de los afloramientos proterozoicos del cerro Salinas. Las metamorfitas aflorantes en esta región se carac-

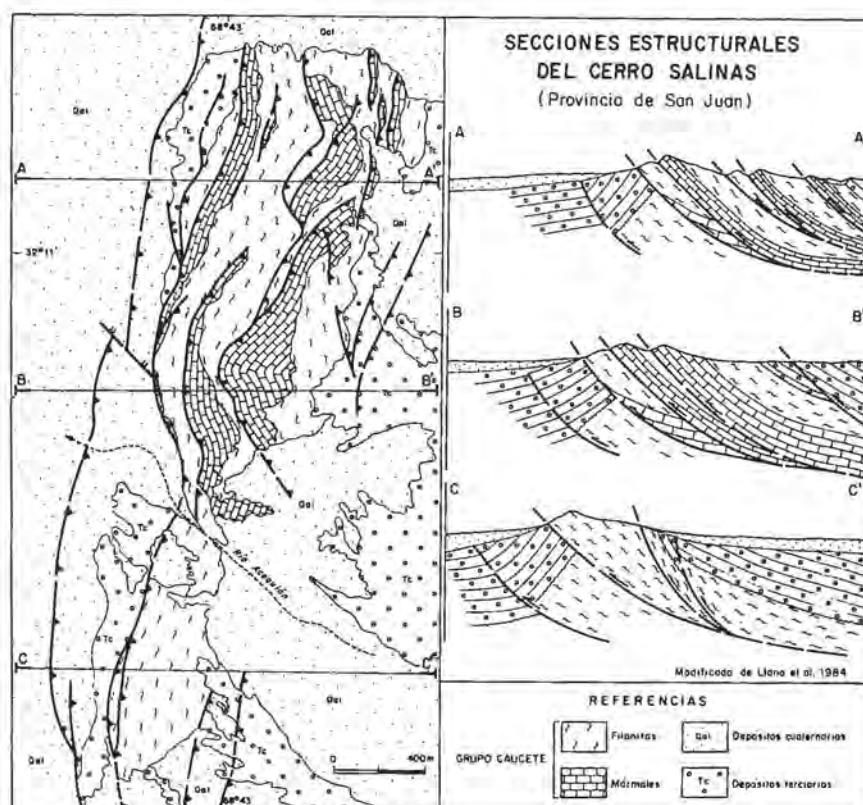


FIG. 3. Mapa geológico del cerro Salinas, Provincia de San Juan, y perfiles geológico-estructurales (modificado de Llano *et al.*, 1984). Véase ubicación en la figura 1.

terizan por el amplio desarrollo de cataclasitas asociadas a la deformación andina y milonitas preandinas, que afectan a rocas metamórficas en facies de esquistos verdes (Llano *et al.*, 1984). Desde el punto de vista litológico, se reconoce una secuencia clástica compuesta de grauwacas, pelitas y abundantes venas de cuarzo, interestratificadas con niveles carbonatados. Las facies clásticas, de comportamiento relativo más frágil, se hallan intensamente cizalladas hasta desarrollar estructuras del tipo 'broken textures' donde las foliaciones pierden continuidad. Estas estructuras son comunes en prismas de acreción y se conocen en ambientes asociados a complejos de subducción y a zonas de importante desplazamiento de rumbo; en el sector chileno, estructuras similares han sido descritas por Hervé (1988). Las facies carbonatadas tienen un comportamiento más plástico y se hallan deformadas mediante un intenso plegamiento isoclinal que se confunde con una aparente estratificación primaria.

Si bien estas rocas son conocidas desde los primeros trabajos de Stappenbeck (1910), fue Schiller

(1907, 1912) quien las describió en el frente occidental de Sierra de Pie de Palo, especialmente en la quebrada La Petaca. Este último autor destacó su plegamiento y vergencia hacia el oeste, y los atribuyó al Paleozoico, por comparación con los depósitos de flysch de Precordillera. Criterio similar fue adoptado por Harrington (1971) quien mapeó las rocas del cerro Salinas como correlacionables con los depósitos ordovícicos de la Formación Rinconada. Sin embargo, ya Borrello (1969, p. 86) había puesto en dudas esta asignación temporal, a la vez que interpretó los afloramientos del cerro Salinas como una serie de pequeñas napas de cobertura con vergencia occidental. Posteriormente, Scanavino y Guichón (1973) demostraron su correlación con las rocas proterozoicas del borde occidental de Sierras Pampeanas. En su estudio de detalle, concluyeron que la constitución del cerro Salinas se caracteriza por una serie de corrimientos imbricados, que repiten niveles calcáreos con depósitos de flysch, los cuales, en conjunto, presentan evidencias de metamorfismo regional (Fig. 3). Borrello (1969) y Caminos (1979),

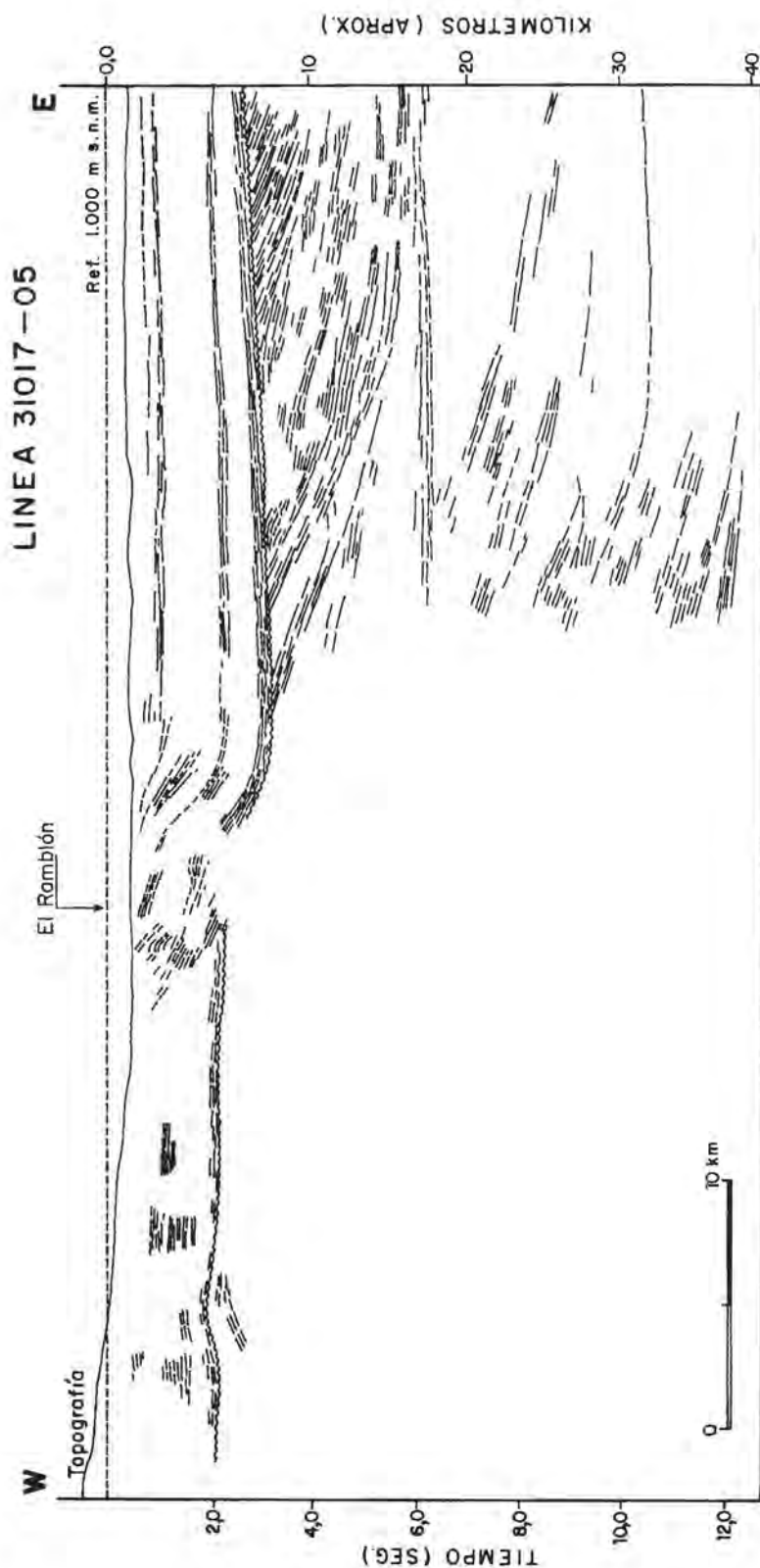


FIG. 4. Trazado de la línea sísmica migrada 31017-05, lograda mediante Vibroseis y reprocesada para obtener información sísmica profunda. Ubicación en la figura 1

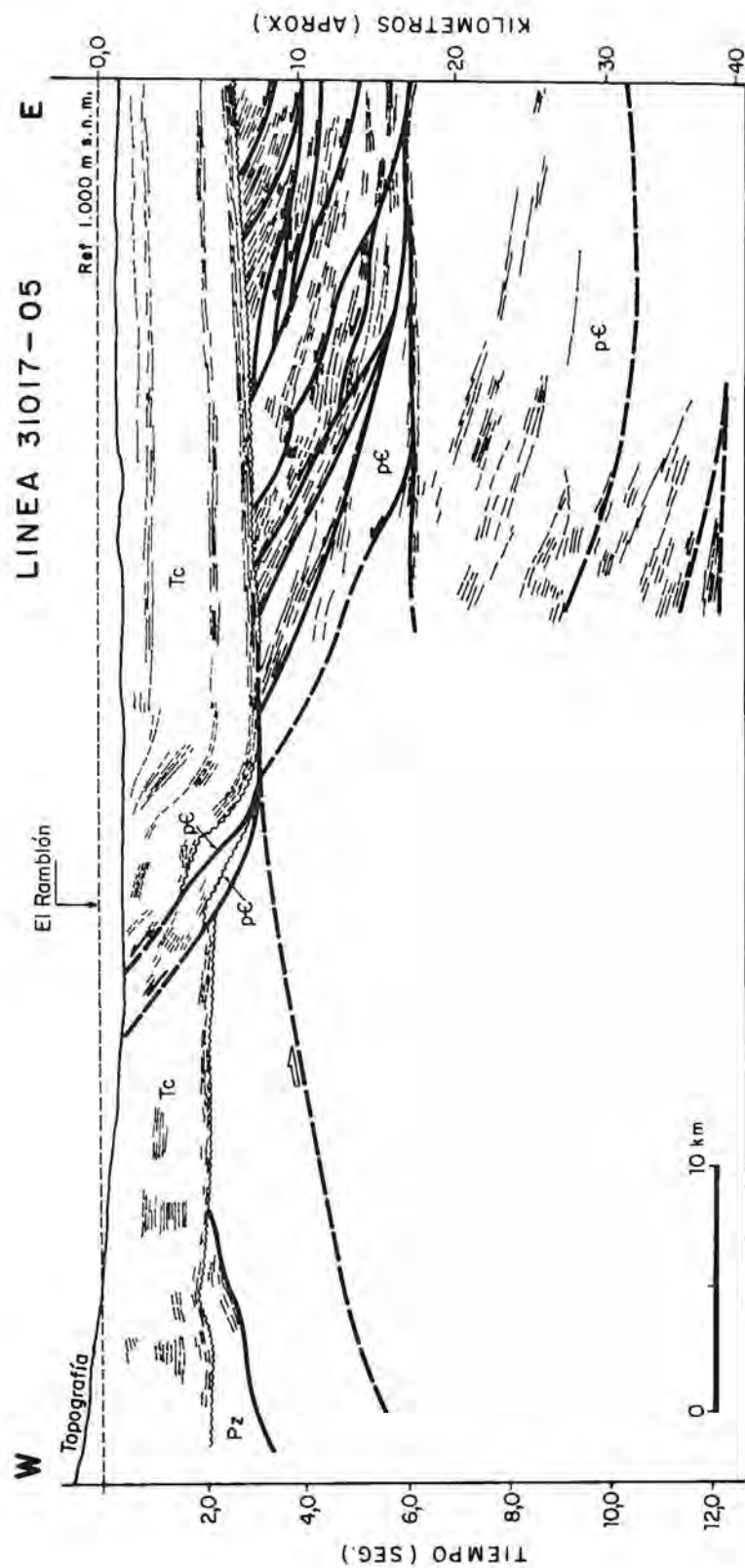


FIG. 5. Interpretación geológico-estructural de la línea sísmica de la figura 4. pC. Grupo Cauce; Pz. Depósitos paleozoicos; Tc. Depósitos cenozoicos.

agruparon estas metasedimentitas en el Grupo Cauçete, que tiene su localidad tipo en Sierra de Pie de Palo.

Las metamorfitas están limitadas al este por un corrimiento con vergencia y labio al oeste (Rolleri, 1969). Esta falla ha sido registrada en el subsuelo del valle de Tulum, desde el cerro Salinas hasta el cerro Valdivia (Baldi *et al.*, 1979; Zambrano y Suvirés, 1987) siendo reconocida como frente Valdivia-Salinas por Vaca y Rossa (1988). No quedan dudas de la correlación geológica entre las metamorfitas del Grupo Cauçete del cerro Salinas y las de su localidad tipo en Sierra de Pie de Palo, correlación ya aceptada por Aparicio (1975 y 1984) y Llano *et al.* (1984), entre otros.

El basamento del cerro Salinas, en especial el situado al norte del río Acequión, muestra una marcada imbricación, que se hace evidente por el neto

contraste litológico entre los mármoles y los esquistos del Grupo Cauçete (Fig. 3). Hacia el sur, la aparente simplicidad de la estructura podría estar obliterada por una mayor homogeneidad litológica, dada la profunda deformación cataclástica que muestran los esquistos.

Un dato importante para comprender la naturaleza del basamento preterciario, en la línea sísmica estudiada, procede de la perforación YPF-Ramblo-nes-2, ubicada entre el cerro Salinas y esta línea sísmica (véase ubicación en figura 1, basada en Figueroa y Ferraris, 1989). Esta perforación ha permitido verificar que, por debajo de 829 m de los depósitos terciarios, se ingresó en una secuencia formada por calizas, rocas cristalinas y esquistos arcillosos, y que a los 910 m se recuperó una roca gábrica, verde oscura, compacta y maciza. Esta secuencia es similar a la descrita para el cerro Salinas.

INTERPRETACION GEOLOGICA DE LA LINEA SISMICA

SECUENCIA ESTRATIGRAFICA

En la línea sísmica es evidente la marcada discordancia angular, que separa a los depósitos terciarios de los infrayacentes reconocidos por Harrington (1971). Los depósitos terciarios presentan hasta 3.800 m de espesor y denotan por sus acunamientos en el sector fallado (a en la figura 4), que corresponden a secuencias sinorogénicas, depositadas durante el levantamiento de la estructura fallada. No se conoce el lapso correspondiente a la secuencia, pero por correlación con depósitos vecinos podrían atribuirse al Mioceno-Plioceno, incluyendo además, depósitos cuaternarios.

En el sector oriental, por debajo de la discordancia, se halla una serie de metasedimentitas (velocidad 5,0-5,3 km/s). Estas metasedimentitas pueden correlacionarse con las aflorantes en el cerro Salinas, pertenecientes al Grupo Cauçete de edad proterozoica superior. La textura sísmica observada, si se acepta esta correlación, indicaría la existencia de rocas intensamente deformadas y corridas con vergencia occidental.

En el sector occidental, no se tiene información, con excepción de una falla que limita posibles depósitos paleozoicos por debajo de la discordancia. Esta falla limita una cuña, que ha sido interpretada como una falla sólo parcialmente reactivada durante la deformación andina, dado que no corta la discor-

dancia entre el Paleozoico y el Terciario a la que solamente pliega.

En el sector central, por debajo de las sedimentitas terciarias de posición horizontal a levemente corrugadas, se interpreta que éstas se han depositado directamente sobre sedimentitas eopaleozoicas, correspondientes al Grupo Villavicencio o a los depósitos carbonatados cambro-ordovícicos, tal como ha sido indicado por Figueroa y Ferraris (1989).

ESTILO ESTRUCTURAL

DEFORMACION ANDINA

Hay dos rasgos estructurales principales que caracterizan la tectónica andina. El primero es el ascenso de aproximadamente 1.000 m de la base del Terciario en el sector occidental con respecto al oriental. El segundo es el sinclinal frontal, desarrollado en el frente orogénico, y que corresponde a una zona triangular, limitada por un par de bajocorrimientos imbricados. La reconstrucción palinspástica de esta estructura indica un acortamiento mínimo del orden de 13 km. Los mil metros de levantamiento con ese acortamiento son coherentes con un ángulo de rampa del orden de 4°30' de inclinación al oeste. La figura 5 presenta esta hipótesis para explicar la deformación andina.

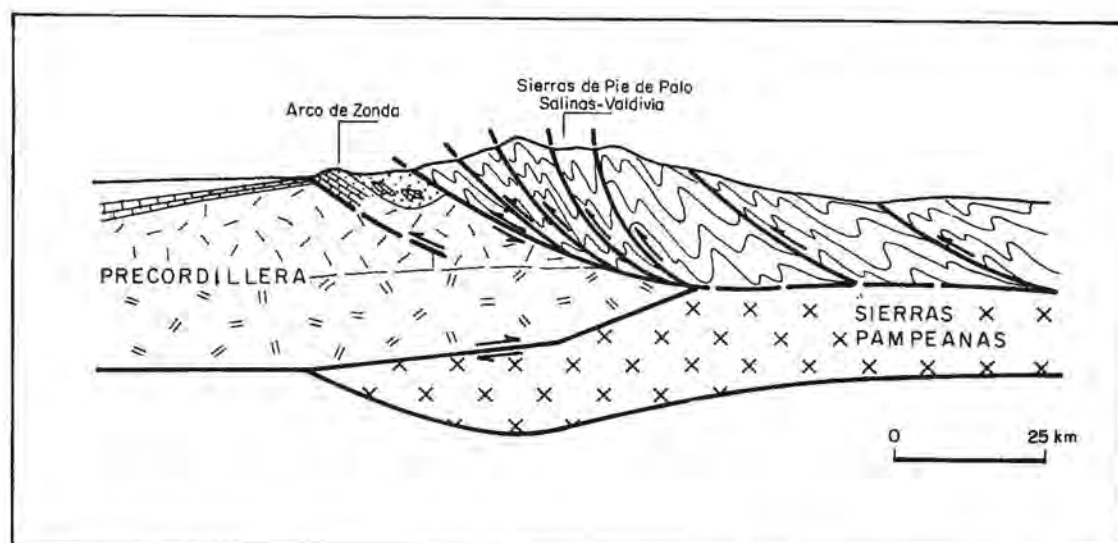


FIG. 6. Relaciones estructurales profundas entre Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales, durante el Proterozoico superior-Paleozoico inferior, en forma previa a la estructuración andina.

DEFORMACION PREANDINA

En la línea sísmica se observa un paquete de 9,5-10,5 km de espesor, correspondiente a una franja plegada y corrida, altamente imbricada, con ángulos de paso con respecto al despegue basal que varían entre 22° y 28° . En el tramo oriental de la línea el acortamiento mínimo producido por estos corrimientos es del orden de varias decenas de kilómetros. Este cálculo se ha basado en la reconstrucción palinspástica de los afloramientos del cerro Salinas, aceptando como nivel guía para la reconstrucción de los niveles calcáreos. El acortamiento debe haber acaecido antes de la deformación andina y, posiblemente, durante el Proterozoico superior a Paleozoico basal. Se ha interpretado esta estructura como desarrollada en el Grupo Caucete, sobre la base de su correlación con el basamento encontrado en el pozo YPF- R-2. La secuencia deformada del Grupo Caucete ha sido considerada como una franja plegada y corrida sintética, en el margen oeste de Sierras Pampeanas Occidentales.

La interpretación entregada es coherente con la estructura observada en los afloramientos del cerro Salinas, tal como fuera descrita por Scanavino y Guichón (1973). Ella correspondería a una serie de imbricaciones tectónicas, que se relacionan con un prisma de acreción reactivado, como un sistema sintético con la estructuración principal asociada a la amalgamación de Precordillera con Sierras Pam-

peanas.

Otro rasgo importante es la interfase acústica de gran amplitud, donde las fallas se horizontalizan, indicando la existencia de una posible transición frágil-plástica, aproximadamente a los 13,8-14,0 km de profundidad. Esta interfase es similar a las discontinuidades, descritas por Litak y Brown (1989), en la corteza media. Discontinuidades similares han sido interpretadas como niveles de despegue ('detachment') en las líneas de sísmica de reflexión profunda, realizadas al este de Lago Superior en Canadá (Geis *et al.*, 1990). Estos autores individualizaron niveles de despegue horizontales a 10-12 km de profundidad, a los cuales convergen los reflectores oblicuos.

Es evidente que este nivel de 'detachment' se ha desarrollado durante el Proterozoico superior-Paleozoico inferior, dado que controla la geometría y textura sísmica de los reflectores oblicuos descritos.

En los niveles supracorticales, ubicados por encima del nivel de despegue, se pueden interpretar los reflectores oblicuos como correspondientes a zonas de dúplex corticales, con desarrollo de franjas miloníticas como lo propusieron Smithson *et al.* (1986). Estas franjas de milonitas, con vergencia similar, han sido descritas en el cerro Salinas (Llano *et al.*, 1984). Su geometría es similar a la zona 3 de Allmendinger *et al.* (1987), que se caracterizaría por la existencia de zonas con reflectores oblicuos que penetrarían profundamente dentro de la corteza. Estas representarían grandes rampas en un basamento complejo,

con desarrollo de zonas de dúplex, formada durante fuertes episodios compresionales de acortamiento cortical.

La corteza está estructurada por debajo de la discontinuidad acústica anterior hasta 30 km de profundidad, con reflectores oblicuos que indican una delaminación cortical similar a la encontrada por Ando *et al.* (1984) en los Apalaches de New England y por Cook (1986) y Potter (1989) en las suturas de diversos terrenos acrecionados. Características similares han sido observadas tanto en Gran Bretaña como en el norte de Europa, donde el frente de deformación varíscico, asociado a la colisión neopaleozoica, ha producido una imbricación cortical (Le Gall, 1990). Sobre la base de la textura sísmica,

este autor reconoció una franja de corrimientos, que se desarrolla en suturas entre las diferentes placas paleozoicas, hasta profundidades mayores de 40 km. En estos casos, se observa una delaminación de la parte inferior de la corteza, como se evidencia por la profundidad actual uniforme del Moho, que indica la pérdida de las raíces de este orógeno varíscico (Le Gall, 1990).

La extensión de estos reflectores oblicuos hasta los niveles más profundos de la corteza indicaría una segmentación total de la misma. Dado el acortamiento inferido en la corteza superior, éste requeriría, necesariamente, de una delaminación de la corteza inferior de Sierras Pampeanas.

DISCUSION

Si bien, en estudios previos, se han formulado hipótesis sobre la aloctonía de Precordillera con respecto a Sierras Pampeanas Occidentales sobre la base de sus contrastantes características geológicas durante el Paleozoico (Ramos *et al.*, 1986) y el Proterozoico (Ramos, 1989), la presente interpretación sísmica permite aportar los primeros datos sobre la geometría profunda entre estas dos provincias geológicas. La franja de deformación y apilamiento entre ambos terrenos implicaría acortamientos, del orden de varias decenas de kilómetros, en la franja corrida del Grupo Caucete. Como se puede constatar en superficie, corresponde a una imbricación de rocas metamórficas, fuertemente milonitizadas, con vergencia al oeste.

El basamento de Precordillera se ha indentado, mediante una serie de bajocorrimientos de escala cortical, por debajo de Sierras Pampeanas. La naturaleza más rígida del basamento precordillerano contrasta con las características del borde occidental de Sierras Pampeanas, de reología más dúctil, como lo denota la deformación preservada en éste.

Estas diferencias reológicas controlaron la delaminación de éstas hasta más allá de los 30 km de profundidad (Fig. 6). La corteza inferior de Sierras Pampeanas, entre los 30 y 40 km, aceptando esta última profundidad como próxima al Moho para estas latitudes (Introcaso, 1990), habría sido delaminada por debajo de la Precordillera o, quizás, incorporada al manto mediante procesos corticales como los propuestos por Meissner *et al.* (1987) y Kay y Kay (1989).

La estructura andina del frente orogénico, en especial en su segmento norte, habría así reactivado viejas estructuras proterozoicas a eopaleozoicas, que tienen una vergencia opuesta a las típicamente andinas.

Se puede concluir que las evidencias aportadas por la geología del cerro Salinas y la correlación con la textura sísmica de la línea analizada indican que el límite entre Sierras Pampeanas y Precordillera es una estructura cortical profunda, coherente con la presencia de una sutura entre dos terrenos acrecionados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar expresa constancia de su agradecimiento a Yacimientos Petrolíferos Fiscales, por el apoyo brindado en el procesamiento de la línea sísmica, así como a la Fundación Antorchas

por su apoyo logístico. El presente trabajo es una contribución al UBACYT Ex-139, y el Proyecto PIGG 279 'Terranes in Latinoamérica'.

REFERENCIAS

- Allmendinger, R.W.; Nelson, J.D.; Potter, C.J.; Barazangi, M.; Brown, L.D.; Oliver, J.E. 1987. Deep seismic reflection characteristics of the continental crust. *Geology*, No. 15, p. 304-310, Boulder.
- Ando, C.J.; Czuchra, B.L.; Klemperer, S.L.; Brown, L.D.; Cheadle, M.J.; Cook, F.A.; Oliver, J.E.; Kaufman, S.; Walsh, T.; Thompson, Jr., J.B.; Lyons, J.B.; Rosenfeld, J.L. 1984. Crustal profile of Mountain belt: COCORP Deep Siesmic Reflection Profiling in New England Appalachians and implications for Architecture of Convergent Mountain Chains. *American Association of Petroleum Geologist, Bulletin*, Vol. 68, No. 7, p. 819-837.
- Aparicio, V. 1975. Mapa Geológico de San Juan. *Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Investigaciones Geológicas*, 38 p.
- Aparicio, V. 1984. Geología de San Juan. *Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 167 p.
- Baldis, B.A.; Uliarte, E.; Vaca, A. 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 34, No. 4, p. 249-310.
- Bettini, F.; Turic, M.A. 1981. Sobrecorrimientos en el borde occidental de la Cuenca Cuyana. In *Reunión a Nivel de Expertos*, No. 43, ARPEL, p. 1-16. Lima.
- Borrello, A.V. 1969. Los geosinclinales de la Argentina. *Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales*, Vol. 14, p. 1-136. Buenos Aires.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas noroccidentales. In *Símpoio de Geología Regional Argentina*, No. 2, *Actas*. Vol. 1, p. 225-292. Córdoba.
- Claerbout, J.F. 1976. Fundamentals of geophysical data processing: with applications to petroleum prospecting. *McGraw-Hill*, 187 p. New York.
- Comínguez, A.H. 1989. Análisis sísmico profundo en la zona del Ramblón, Mendoza, Argentina. Reunión sobre Transectas de América del Sur. *International Lithosphere Program*, p. 54-57. Mar del Plata.
- Comínguez, A.H.; Ramos, V.A. 1990. Sísmica de reflexión profunda entre Precordillera y Sierras Pampeanas. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, *Actas*, Vol. 2, p. 311-314. San Juan.
- Cook, F.A. 1986. Continental evolution by lithospheric shingling. In *Reflection seismology: the continental Crust* (Barazangi, M.; et al.; editors). *Geodynamic Series*, Vol. 14, p. 13-19. Washington.
- Figuerola, D.; Ferraris, O.R. 1989. Estructura del margen oriental de la Precordillera mendocina-sanjuanina. In *Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos*, No. 1, *Actas*, Vol. 1, p. 515-529. Mar del Plata.
- Geis, W.T.; Cook, F.C.; Green, A.G.; Milkereit, B.; West, G.F. 1990. Thin thrust sheet formation of the Kapuskasing structural zone revealed by Lithoprobe seismic reflection data. *Geology*, Vol. 18, No. 6, p. 513-516.
- Harrington, H.J. 1971. Descripción geológica de la Hoja 22c, Ramblón, Provincias de Mendoza y San Juan. *Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín*, No. 114, 93 p. Buenos Aires.
- Hervé, F. 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in Southern Chile. *Episodes*, Vol. 11, No. 3, p. 183-188. Ottawa.
- Introcaso, A. (En prensa). Geotransecta Valparaíso-Punta del Este. Parte 1, perfil geofísico. *Global Gectransect Program*, I.C.L. Buenos Aires.
- Kay, R.W.; Kay, S.M. 1989. Crustal growth and crust-mantle recycling. In *International Geological Congress*, No. 28, *Abstracts*, Vol. 2, p. 162-163. Washington.
- Le Gall, B. 1990. Evidence of an imbricate crustal thrust belt in the Southern British Variscides: Contributions of Southwestern Approaches Traverse (SWAT) deep seismic: reflection profiling recorded through the English Channel and the Celtic Sea. *Tectonics*, Vol. 9, No. 2, p. 283-302.
- Litak, R.K.; Brown, L.D. 1989. A modern perspective on the Conrad discontinuity. *EOS*, Vol. 70, No. 29, p. 713, 722-724.
- Llano, J.A.; Esparza, A.M.; Rossa, N.; Vaca, A. 1984. Geología y petrografía del cerro Salinas, Provincia de San Juan. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, *Actas*, Vol. 1, p. 298-309. Buenos Aires.
- Meissner, R.; Wever, T.; Flüch, K. 1987. The Moho in Europe: implications for crustal development. *Annales Geophysicae*, Vol. 58, No. 4, p. 357-364.
- Okaya, D.A.; Jarchow, C.M. 1989. Extraction of deep crustal reflections from shallow Vibroseis data using extended correlation. *Geophysics*, Vol. 54, No. 5, p. 552-562.
- Ortiz, A.; Zambrano, J. 1981. La provincia geológica de la Precordillera Oriental. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 7, *Actas*, Vol. 3, p. 59-74. Buenos Aires.
- Potter, C.J. 1989. The deep structure of North American accreted terranes from deep seismic reflection data. In *Deep structure and past kinematics of accreted terranes* (Hillhouse, J.W.; editor). *American Geophysical Union, Geophysical Monograph* 50, IUGS, Vol. 5, p. 201-208. Washington.
- Ramos, V.A. 1988. The Tectonics of the Central Andes; 30°S latitude. In *Processes in Continental Lithospheric Deformation* (Clark, S.; Burchfield, D.; editors). *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 218, p. 31-54.
- Ramos, V.A. 1989. The birth of southern South America. *American Scientist*, Vol. 77, No. 5, p. 444-450.
- Ramos, V.A.; Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W.; Mpodozis, C.; Kay, S.; Cortés, J.M.; Palma, M.A. 1986. Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, Vol. 5, No. 6, p. 855-880.
- Rolleri, E.O. 1969. Rasgos tectónicos generales del valle de Matagusanos y de la zona entre San Juan y Jocoli, Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 24, No. 4, p. 408-412.
- Scanavino, R.A.; Guichón, M.E.. 1973. Extensión de la

- estructura protoídica en el área del cerro Salinas, Departamento Las Heras, Mendoza. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 5, Actas, Vol. 4, p. 235-247. Buenos Aires.
- Schiller, W. 1907. Geologische Untersuchungen bei Puente del Inca (Aconcagua). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Geologischer Band*, Vol. 24, p. 716-736.
- Schiller, W. 1912. La Alta Cordillera de San Juan y Mendoza y parte de la provincia de San Juan. *Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería, Anales*, Vol. 7, No. 5, p. 1-68. Buenos Aires.
- Smalley, R.F. 1988. Two earthquakes studies: 1. Seismicity of the Argentine foreland and 2. A renormalization group approach to earthquake mechanics. Unpublished Ph.D. Thesis. *Cornell University*, 174 p. Ithaca.
- Smithson, S.; Johnson, R.A.; Hurich, C.A. 1986. Crustal reflections and crustal structure. In *Reflection seismology: the continental crust* (Barazangi, M.; Brown, L.; editors). *Geodynamic Series*, Vol. 14, p. 21-32.
- Stappenbeck, R. 1910. La Precordillera de San Juan y Mendoza. *Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Anales*, Vol. 4, No. 4, 187 p. Buenos Aires.
- Taner, M.T.; Sheriff, R.E. 1977. Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon determination. In *Applications to Hydrocarbon Exploration* (Payton, C.E.; editor). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, No. 26, p. 301-327.
- Vaca, A.; Rossa, N. 1988. Petrología y estructura del frente occidental de Sierras Pampeanas en San Juan, Argentina. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 5, Actas, Vol. 1(A), p. 198-202. Santiago.
- Zambrano, J.J.; Suvirés, G.M. 1987. La estructura superficial y profunda en el valle de Tulum, Provincia de San Juan. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 10, Actas, Vol. 1, p. 267-270. Tucumán.