

# Fallas normales de alto ángulo en el Neógeno del margen Atlántico de la Cuenca del Golfo San Jorge (46°S-67° 30'O, Patagonia Argentina)

R.E. Giacosa<sup>(1)(2)</sup>, J.M. Paredes<sup>(2)</sup>, A.M. Nillni<sup>(2)</sup>, M. Ledesma<sup>(2)(3)</sup> y F. Colombo<sup>(4)</sup>

(1) Servicio Geológico Minero Argentino. CC 38 B, Km 8 (A-9003). Comodoro Rivadavia, Argentina.  
E-mail: raulgiacosa@infovia.com.ar

(2) Dpto. Geología. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.  
Ciudad Universitaria, Km 4 (A-9000). Comodoro Rivadavia, Argentina.

(3) REPSOL-YPF. División Regional Sur, Km 3 (A-9005). Comodoro Rivadavia, Argentina.

(4) Dpto. Estratigrafía P.G.M. Fac. Geología. Universidad de Barcelona. C/Marti i Franques s/n. E-08028 Barcelona (España).

## RESUMEN

Aunque los afloramientos del Terciario de la región de Comodoro Rivadavia tienen una marcada horizontalidad, se produjo una importante deformación tangencial sincrónicamente y con posterioridad al depósito de los estratos continentales y marinos. El régimen extensional habría cesado después de la acumulación de los estratos marinos del Mioceno inferior, dando lugar a numerosas fallas normales de alto ángulo ( $>70^\circ$ ) y diseño planar, entre las que se reconocen fallas de gran escala que corresponden a la expresión más somera de fallas profundas generadoras de la cuenca cretácica, así como fallas de escala mesoscópica. En los estratos marinos de la Formación Chenque el desarrollo de las fallas mayores, corresponde a zonas planares delgadas, y gran parte de la deformación es acomodada por desplazamientos de orden decamétrico. En el tránsito hacia los niveles de baja permeabilidad de las Formaciones Río Chico y Sarmiento, una parte importante de la deformación se acomoda por brechamiento acompañado de la formación de vetas y *stockworks* con una mineralogía específica (ópalo, calcedonia, calcita, alunita, jarosita, ocre limoníticos y pirita), que refleja la influencia de los fluidos en la dinámica del fallamiento. Las fallas mesoscópicas en la Formación Chenque, en grupos de 5 a 10 fallas, se sitúan en intervalos estratigráficos del orden de 10 a 20 metros. Variaciones de espesor en ambos bloques de algunas fallas, sugieren un control tectónico localizado sobre la sedimentación marina así como un fallamiento relativamente continuo en el tiempo. La dirección de las estrías, disposición, textura y continuidad de los rellenos minerales indican que el régimen tectónico extensional que finalizó en el Mioceno inferior se caracterizó por un modo de fracturación mixto cizallante-extensional, en coincidencia con su ubicación en la parte más somera de la corteza terrestre.

Palabras clave: fallas normales, margen suratlántico, Patagonia, Cuenca Golfo San Jorge, Terciario

## ***High-angle normal faults in the Neogene of the Atlantic margin of the Golfo San Jorge Basin (46°S-67° 30'W, Patagonia Argentina)***

### ABSTRACT

*In spite of the obvious horizontal disposition of the Tertiary strata in the North Flank of the Golfo San Jorge Basin, north of Comodoro Rivadavia city, an important tangential deformation took place during and with posteriority to the deposition of the continental and marine sediments. The extensional tectonic regime persisted until the end of the deposition of the Chenque Formation (lower Miocene), and produced numerous high-angle, plane, normal faults ( $>70^\circ$ ). According to their scale, two groups of normal faults are recognized: 1) Major faults, which represents the shallower expression of deep master basement-faults ( $>3$  km long) associated to different rift and sag stages in the basin evolution, but actives at least since late Jurassic times, and 2) Mesoscopic faults, constrains inside specific depositional sequences in the Chenque or Sarmiento Formation. In agreement to the position in the shallowest part of the upper crust, shear-extensional fractures on intact rocks were the dominant fracture modes.*

*The development of the major faults in the sedimentary rocks of the Chenque Formation consist of thin plane zones, and most of the deformation is accommodated by decametrical displacement. Some of the faults present variations in thickness across the plane, suggesting a local tectonic control on the sedimentation. In the boundary between the Sarmiento and Chenque Formations, hydraulic and crush breccias, syntectonic vein and stockworks with opal, chalcidony, alunite, calcite, pyrite and limonite are common, suggesting direct relationships between fluids and seismic events.*

*Key words: Golfo San Jorge Basin, normal faults, Patagonia, Sudatlantic margin, Tertiary*

## Introducción

Gran parte de la costa atlántica patagónica se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias del Terciario, cuyos afloramientos tienen una gran continuidad lateral y conforman una fisiografía regional de tipo mesetiforme, sugiriendo la ausencia de deformaciones tectónicas importantes. Sin embargo, los estudios detallados y la información geológica producida en la década de 1930, indican la presencia de numerosas fallas normales en el sector costero de la Cuenca del Golfo San Jorge.

Los notables trabajos de Feruglio (1930, 1950), Fossa-Mancini (1931, 1932, 1935) y Leidhold (1930), pusieron de manifiesto que: a) los estratos del Terciario estaban atravesados por numerosas fallas normales de alto ángulo y que su salto aumentaba con la profundidad, alcanzando rocas del Cretácico; b) las fallas fueron activas durante la sedimentación meso-cenozoica y, c) que controlaban la localización de los estratos petrolíferos del Yacimiento Campamento Central (Comodoro Rivadavia). Estos autores indicaron la presencia de vetas y vetillas de minerales de baja temperatura en la zona de falla.

Con posterioridad, cuando la explotación petrolera abandonó los reservorios paleógenos para concentrarse en los estratos cretácicos, el estudio de las fallas en el Terciario dejó de ser relevante como tema de investigación. Sin embargo, las últimas fases de la extensión continental sobre el margen pasivo suratlántico tuvieron una importancia fundamental en el entrapamiento final de los hidrocarburos, así como en la formación y diseño de las zonas de alta fracturación más recientes. Desde el punto de vista tectosedimentario, y sin precisar su contribución real, las fallas fueron invocadas como factor de control sobre la sedimentación de las dos transgresiones terciarias (Chelotti, 1997; Figari *et al.*, 1999) junto a cambios relativos en el nivel del mar (Legarreta *et al.*, 1990).

Con el propósito de mejorar la comprensión de alguno de los procesos asociados a las fallas e indagar como influyeron en la sedimentación marina del Terciario, este trabajo describe los afloramientos de las fallas en el Terciario de la región de Comodoro Rivadavia en sus aspectos geométricos, las rocas de falla y mineralizaciones asociadas, los intervalos estratigráficos afectados, su cinemática, así como su influencia en la geomorfología fluvial aluvial y costera. Se analiza su origen, las relaciones entre fallas de diferente escala, la influencia de los fluidos en su formación y las implicaciones que supone para la evolución tectónica del margen pasivo atlántico en la zona estudiada.

Se realizaron observaciones y mediciones de campo en los lugares clásicos de las grandes fallas detectadas por Feruglio y Fossa-Mancini y los nuevos afloramientos con fallas mesoscópicas reconocidos por los autores. Para verificar los saltos estratigráficos y la geometría de las fallas normales dentro del relleno terciario se utilizaron sondeos eléctricos y secciones sísmicas 3-D, proporcionados por REPSOL-YPF.

El intervalo estratigráfico de este estudio comprende la parte superior de las rocas sedimentarias de ambientes continentales de la Formación Río Chico (Paleoceno superior), la Formación Sarmiento (Eoceno inferior-medio, edad paleomastológica Casamayorensis), y los estratos marinos Oligo-miocenos de la Formación Chenque (Bellosi, 1987, 1990). La zona estudiada se ubica en el sector costero de la Cuenca del Golfo San Jorge, entre los paralelos 45° 37' y 45° 53'S, y entre la zona costera y el meridiano de 67° 30'O.

## Estratigrafía y estructura regional

La Cuenca del Golfo San Jorge (Fig. 1b) está situada en la parte central de la Patagonia, y es la productora de hidrocarburos más importante de la Argentina. Es una cuenca intracratónica de génesis extensional desarrollada sobre una corteza continental paleozoica perteneciente a la porción sur de la placa Sudamericana (Barcat *et al.*, 1989; Fitzgerald *et al.*, 1990; Peroni *et al.*, 1995; Figari *et al.*, 1999).

El relleno de la cuenca fue dividido (Figari *et al.*, 1999) en cinco megasecuencias (en el sentido de Hubbard, 1988). La megasecuencia 0 (Fig. 1d) está integrada por complejos volcanosedimentarios del Jurásico medio y superior, representativos de una etapa de rifting temprano; la megasecuencia I se desarrolla en una etapa de rifting tardío entre el Titónico y el Hauteriviense y está formada por depósitos de ambiente lacustre y deltaico informalmente denominados como "Neocomiano". Sobre una discordancia angular se depositaron los materiales continentales de la megasecuencia II que han sido agrupados en varias unidades litoestratigráficas conocidas como Grupo Chubut o "Chubutiano" (Feruglio, 1949; Hechem *et al.*, 1990). En sus inicios, esta megasecuencia fue depositada en el marco de un régimen tectónico extensional y transtensional, y posteriormente en una etapa de sag (Figari *et al.*, 1999).

Los depósitos terciarios que están incluidos en la megasecuencia III, corresponden a rocas marinas y continentales depositadas en sucesivas transgresiones y regresiones de vergencia atlántica, influidas por la continuidad del régimen extensional y por

fluctuaciones eustáticas globales. Esta megasecuencia culmina con depósitos continentales asociados a un evento compresional relacionado con la evolución andina (Fig. 1e). Finalmente, la megasecuencia IV corresponde a depósitos pliocenos-pleistocenos de génesis fluvio-glaciár.

En todo el ámbito petrolero de la Cuenca del Golfo San Jorge (Figari *et al.*, 1999), se diferencian cinco sectores con estilos tectosedimentarios característicos (Fig. 1c). En el sector oriental hay tres zonas caracterizadas por una estructura de fallas normales de orientación ONO-ESE (Fig. 1d): el Flanco Norte con fallas inclinando al sur y el Flanco Sur con fallas normales inclinando al norte, en tanto que una zona intermedia donde se encuentra el depocentro mayor, se denomina Centro de Cuenca. Hacia el oeste se desarrolla el sector de la Faja Plegada (Fig. 1e), caracterizada por una faja submeridiana de fallas y pliegues producto de la inversión tectónica terciaria. El Sector Occidental, situado en el borde oeste de la

cuenca y en la proximidad con los Andes, no está muy afectado por la inversión tectónica y se caracteriza por fallas normales de rumbo ONO-ESE.

Desde el punto de vista estructural, la zona de estudio está comprendida en el determinado Flanco Norte. Las estructuras mayores corresponden a fallas normales de alto ángulo (hasta 80° al sur) y fallas normales antitéticas que se unen a la principal en niveles correspondientes a la parte media del Grupo Chubut, a la Formación Pozo D-129 o al substrato (cf. Fig. 7 in Hechem y Strelkov, 2002). La mayoría de las fallas disminuyen de inclinación en profundidad y alcanzan los 55°-60° en niveles cercanos al basamento de la cuenca.

### Estratigrafía de la zona de estudio

En la región de Comodoro Rivadavia y alrededores (Fig. 2a), afloran unidades de la megasecuencia III

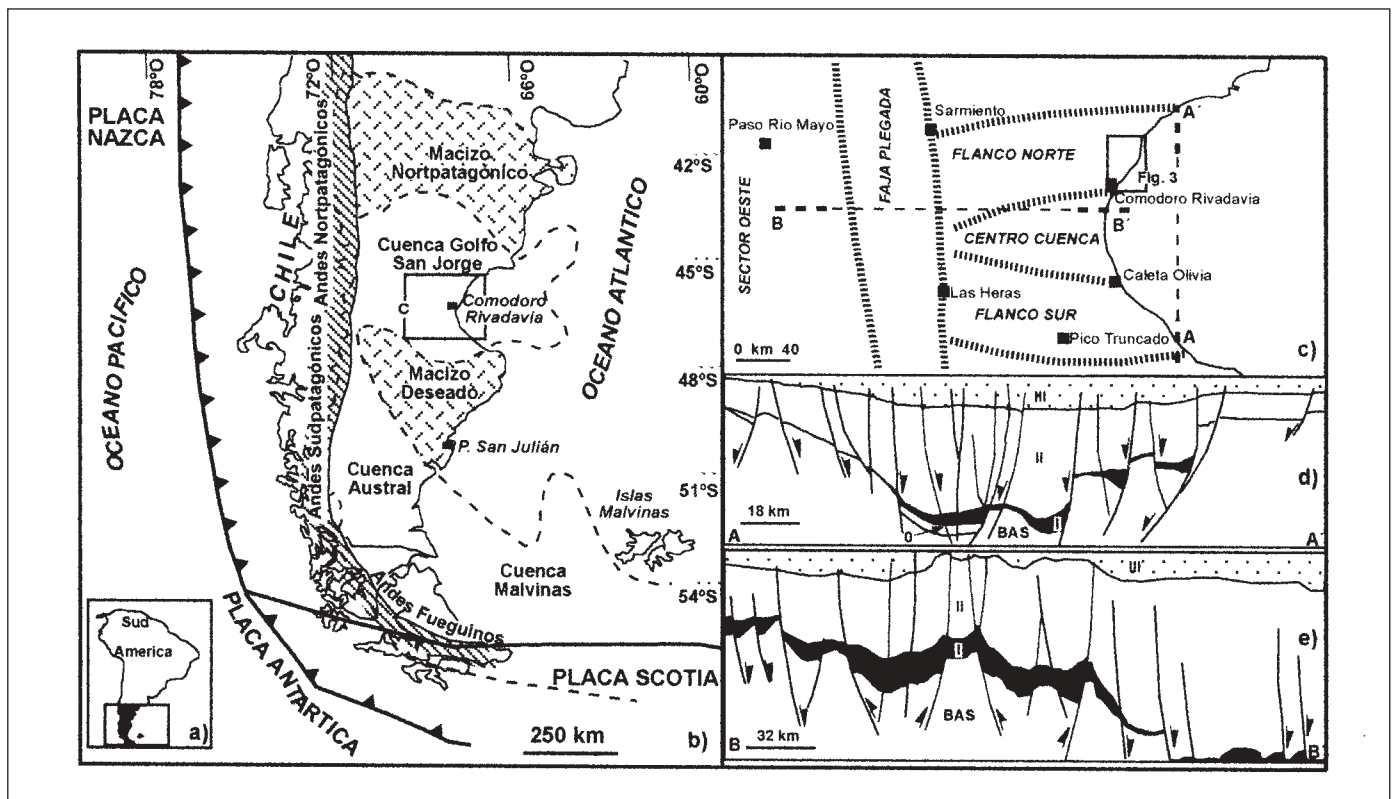


Fig. 1. a. Ubicación de la Patagonia en el extremo sur de Sudamérica. b. Marco geotectónico con la ubicación de la Cuenca del Golfo San Jorge. c. Ambientes tectónicos del sector petrolero de la Cuenca del Golfo San Jorge. d. Sección estructural N-S representativa del sector oriental de la cuenca. e. Sección estructural O-E, donde se observa la inversión tectónica que caracteriza a la faja plegada de San Bernardo. 1c, 1d y 1e basadas en Figari *et al.* (1999). Los números corresponden a las megasecuencias citadas en el texto  
 Fig. 1. a. Patagonia location at the southern end of South America. b. Geotectonic framework with the Cuenca del Golfo San Jorge location. c. Tectonic setting of the oil producing sector of the Cuenca del Golfo San Jorge. d. Structural section N-S representative of the oriental sector of the basin. e. Structural section W-E, where the tectonic inversion which characterizes the San Bernardo folded belt is observed. 1c, 1d and 1e based on Figari *et al.*, (1999). The numbers correspond to the megasequences mentioned in the text

(Fig. 3). En el borde norte de la zona de estudio afloran rocas sedimentarias de ambiente continental, asignadas a la Formación Río Chico e integradas por areniscas tobáceas, conglomerados y niveles de paleosuelos. En la zona costera ubicada entre la base del cerro Chenque y la bahía Solano (Fig. 2) afloran 80 a 90 m de rocas piroclásticas que integran la porción más antigua de la Formación Sarmiento (edad mastológica Casamayorensis) del Eoceno inferior-medio (Pascual y Odreman Rivas, 1973). En su mayoría está formada por tobas y chonitas (tobas de grano fino resultantes de la compactación de polvo volcánico) de colores blanquecinos depositadas en planicies aluviales de bajo gradiente. También aparecen algunos niveles de paleosuelos y estratos delgados de areniscas y areniscas conglomeráticas. Esta unidad se dispone en niveles tabulares masivos de disposición horizontal a subhorizontal.

Por encima y separadas por una superficie de discordancia regional afloran 350 m de rocas sedimentarias marinas (el antiguo "Patagoniano") de la Formación Chenque (Bellosi, 1987, 1990). Corresponde a areniscas y argilitas con fósiles marinos e intercalaciones de bancos bioclásticos depositadas en diferentes medios sedimentarios que variaron desde plataforma externa e interna a ambientes submareales e intermareales (Paredes, 2002; 2003a, b). Los palinomorfos indican que esta unidad se depositó durante el período Oligoceno terminal-Mioceno basal (Barreda y Palamarczuk, 2000). La Formación Chenque aflora muy bien estratificada en bancos subhorizontales a horizontales de gran extensión lateral.

Sobre la unidad anterior y mediante un contacto gradual aparecen los materiales fluviales de la Formación Santa Cruz (Mioceno medio), constituida principalmente por areniscas con escasas argilitas, y niveles de paleosuelos.

### Fallas terciarias

Las fallas mayores en los estratos terciarios de Comodoro Rivadavia y alrededores, son fallas normales de alto ángulo ( $>70^\circ$ ) y rumbo general O-E (Fig. 6a). Hacia el oeste, la transferencia de saltos con otras fallas de rumbo paralelo, se produce por intermedio de fallas oblicuas de cinemática transtensional (Chelotti *et al.*, 1999). Numerosas fallas mesoscópicas fueron reconocidas en el transcurso de esta investigación y si bien son estructuras de menor tamaño, comparten varias características de las fallas mayores (geometría, desplazamientos y rellenos). En términos de actividad, las fallas mayores son fallas mesozoicas que continuaron su actividad a través de todo el

Terciario alcanzando el Neógeno, en tanto que la actividad de las fallas menores estaría circunscrita temporalmente a ciertos intervalos dentro del Neógeno, estando desconectadas y sin relación aparente con fallas más antiguas.

### Fallas mayores

En este trabajo se describen las fallas mayores con evidencias de deformación en superficie, que afloran en el cerro Viteau, valle C, Cañadón Biggs y cerro Pan de Azúcar, y se denominan como Viteau, C, Biggs y Pan de Azúcar (Figs. 2b y 2c). Hay otras fallas, ubicadas en el cerro Hermitte, Cañadón Perdido, Cañadón Bauman y Caleta Córdova entre otras (Sciutto *et al.*, 2000), cuya presencia se deduce por su influencia sobre la morfología de los valles y la costa, o por estudios inéditos de subsuelo, pero que normalmente carecen de evidencias superficiales.

La falla Viteau es una falla normal de diseño planar que forma parte del sistema de fallas antitéticas a la falla C y cuya prolongación hacia el mar limitaría la plataforma de abrasión ubicada al norte del muelle de tanques (Fig. 2b). En afloramiento, la falla atraviesa los estratos horizontales de la Formación Chenque hasta el "Banco del Mangrullo" (Paredes, 2003a), en tanto que en profundidad alcanza los niveles de la Formación Comodoro Rivadavia, parte media del Chubutiano (Giacosa *et al.*, 2003). El desplazamiento de inclinación, que equivale al desplazamiento neto, es de 23 metros. El plano inclina  $75^\circ/N15^\circ$  con una delgada zona de falla de  $<10$  cm con arcillas foliadas producidas por el arrastre en el plano de falla. Una gran parte del plano de falla está ocupado por una delgada y continua vena sintaxial de yeso fibroso cuyas fibras son casi perpendiculares al plano de falla. No hay rocas de falla (milonitas) ni efectos importantes de deformación en los alrededores del plano; en estratos de areniscas de la parte superior del cerro Viteau se conservan estrías con un pitch de  $85^\circ-90^\circ$ .

La falla C es una de las más importantes en el flanco norte de la cuenca donde alcanza niveles del "Neocomiano" y del basamento, y está registrada al menos hasta los 4,5 km de profundidad, continuando varios kilómetros hacia el este en la plataforma continental. Fue la primera falla cartografiada en el yacimiento de Comodoro Rivadavia en el año 1926 (Fossa-Mancini, 1931). Es una falla normal de rumbo  $N80^\circ-90^\circ$  y alto ángulo ( $80^\circ/S$ ) que en afloramiento afecta el techo de la Formación Sarmiento y la sección basal de la Formación Chenque. Los desplazamientos de inclinación conocidos dentro del Terciario oscilan en 80 m para los niveles basales de la Forma-

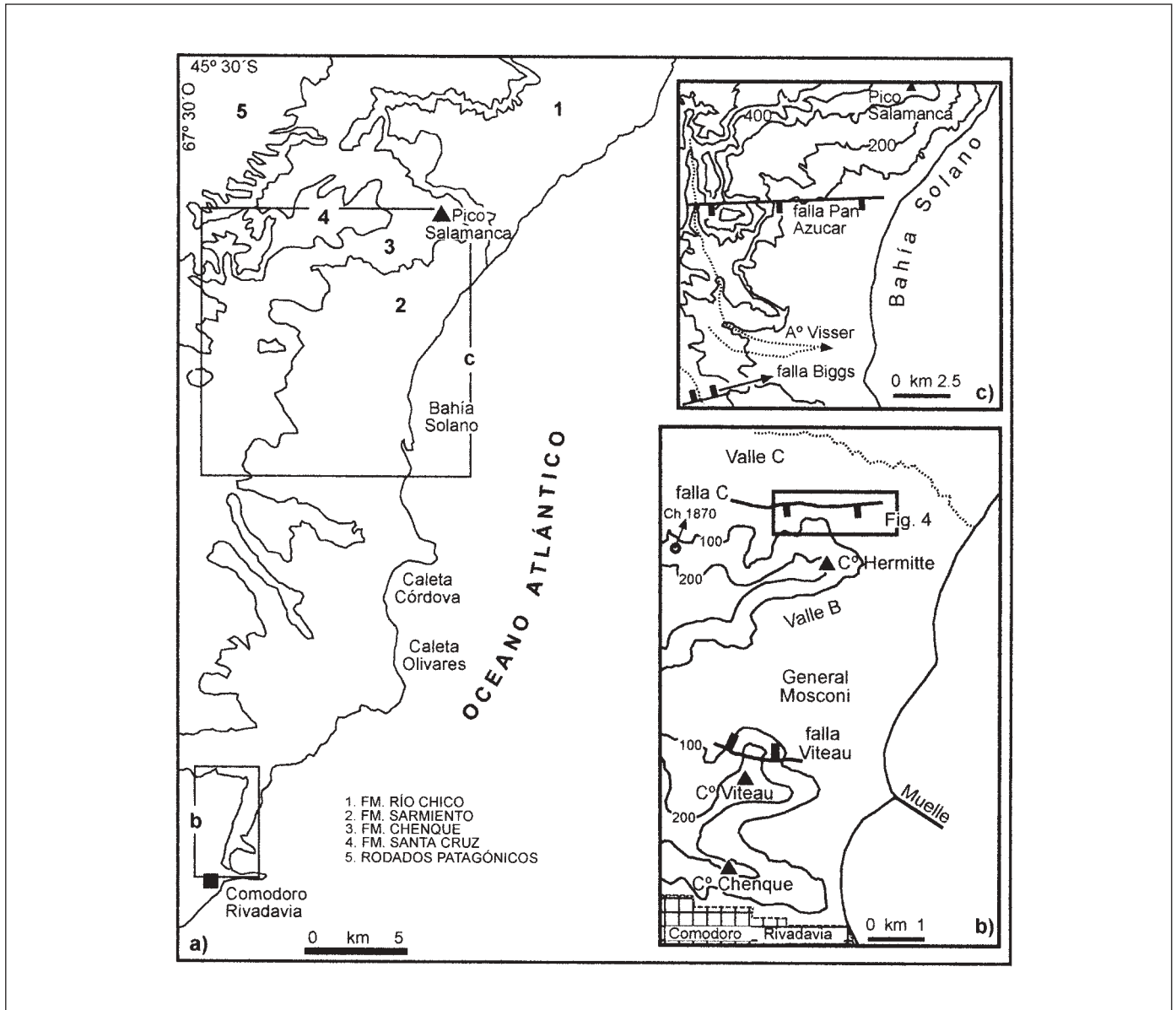


Fig. 2. a. Esquema geológico del área de estudio (Sciutto *et al.*, 2000). b. Mapa con curvas de nivel con la ubicación de las fallas Viteau y C en los alrededores de Comodoro Rivadavia. c. Mapa con curvas de nivel con la ubicación de las fallas Biggs y Pan de Azúcar en los alrededores de Bahía Solano. Figuras 2b y 2c modificadas de Feruglio (1950)

Fig. 2. a. Geological diagram of the study area (Sciutto *et al.*, 2000). b. Map with the location of the Viteau and C faults located in the surroundings of Comodoro Rivadavia town. c. Map with the location of the Biggs and Pan de Azúcar faults in the surroundings of Bahía Solano. Figures 2b and 2c after Feruglio, (1950) modified

ción Salamanca (Fossa-Mancini, 1932) y de 10 m para el límite entre las Formaciones Sarmiento y Chenque.

Los afloramientos (Fig. 4) están ubicados sobre el margen derecho del valle C, detrás del Barrio Castelli, donde constituyen un escarpe ubicado en el bloque inferior de rumbo O-E. Hacia el este, el cerro 128 es la única exposición del bloque superior de la falla; integrando ambos sectores, el ancho de la zona de falla alcanza unos 300 metros. En el bloque inferior la zona

de falla está caracterizada por un intenso brechamiento, desarrollo de vetas, nódulos y stockworks acompañados por alteración argílico-silíceo (Fig. 5f). La zona corresponde a niveles de tobas y de areniscas que, como consecuencia del arrastre del bloque inferior, inclinan en conjunto 15°/SSE. La mineralización ha endurecido este sector, que permanece como un escarpe condicionado por la línea de falla. La mayoría de las vetas son fracturas extensionales que

varían desde subverticales a verticales de 1 a 40 cm de espesor con rumbos NE o O-E según los sectores (Fig. 6a), rellenas de ópalo, calcita, ocre limoníticos y pirita, en bandas paralelas a las paredes. Se destaca

una zona desarrollada en tobas de la Formación Sarmiento, caracterizada por vetillas subverticales de calcita y nódulos concéntricos de ópalo azulado. Algunas vetas posdatan brechas de clastos de arenisca que soportan un enjambre de vetillas.

Sobre el bloque superior, que aflora en el Cerro 128, un detallado estudio de la mineralogía (Beros y Barbosa, 1988) revela la presencia de una zona de mineralización y alteración con alunita, cristobalita, tridimita, cuarzo y jarosita, con una cierta disposición zonal. La alunitización ocupa la zona central, en tanto que los laterales del sector mineralizado están afectados por abundante silicificación.

La falla Biggs está ubicada 2 km al norte de la localidad de Astra (Fig. 2c) y corresponde a varias fallas normales subparalelas de diseño planar y rumbo N80°E con inclinaciones de entre 62° y 72°/NNO. La falla mayor tiene un salto de inclinación de 3 m en estratos horizontales de tobas de la Formación Sarmiento y en los niveles basales de la Formación Chenque. Las más pequeñas, con saltos <1 m, no penetran en la Formación Sarmiento y usualmente se ramifican en su paso por estratos de diferente competencia. Asociada a la falla de mayor desarrollo hay una veta de calcedonia con septos de la roca de caja. Es una veta extensional de 18 m de largo y 22 cm de ancho con diseño sigmoidal en planta y corte. El hastial de techo de la veta tiene acanaladuras con un pitch de 70°-90° (Fig. 5e), formadas en el material previamente cizallado durante el emplazamiento de la veta. Estas acanaladuras señalarían que la falla tuvo al menos una etapa de cizallamiento de inclinación y posteriormente fracturación extensional.

En la proyección del rumbo de la falla sobre la ladera opuesta del Cañadón Biggs, la falla afecta los tramos arcillosos del intervalo 2 de la Formación Chenque pero con una geometría diferente a la descrita. Aquí se reconocen varias fallas de menor inclinación (58°-62°) y diseño lítrico, formando duplex con fallas de 30° de inclinación. Feruglio (pp. 228, 1950) señala en el Cañadón Biggs, otra falla (falla VII) de rumbo N45°E, bloque inferior al sur y 16 m de salto, que no fue reconocida por los autores.

La falla Pan de Azúcar aflora en las inmediaciones de la ladera norte del cerro homónimo, ubicado al OSO de punta Colorada (Fig. 2c). Es la falla con mayor salto estratigráfico observado dentro del intervalo Neógeno, así como por las dimensiones del relleno mineral. Se la considera como una de las fallas responsables de la estructuración en escalones propuesta por Lombard y Ferello (1965) para el Flanco Norte de la cuenca y que tiene importancia en la configuración fisiográfica local, ya que en su proyección hacia el este margina a la punta Colorada.

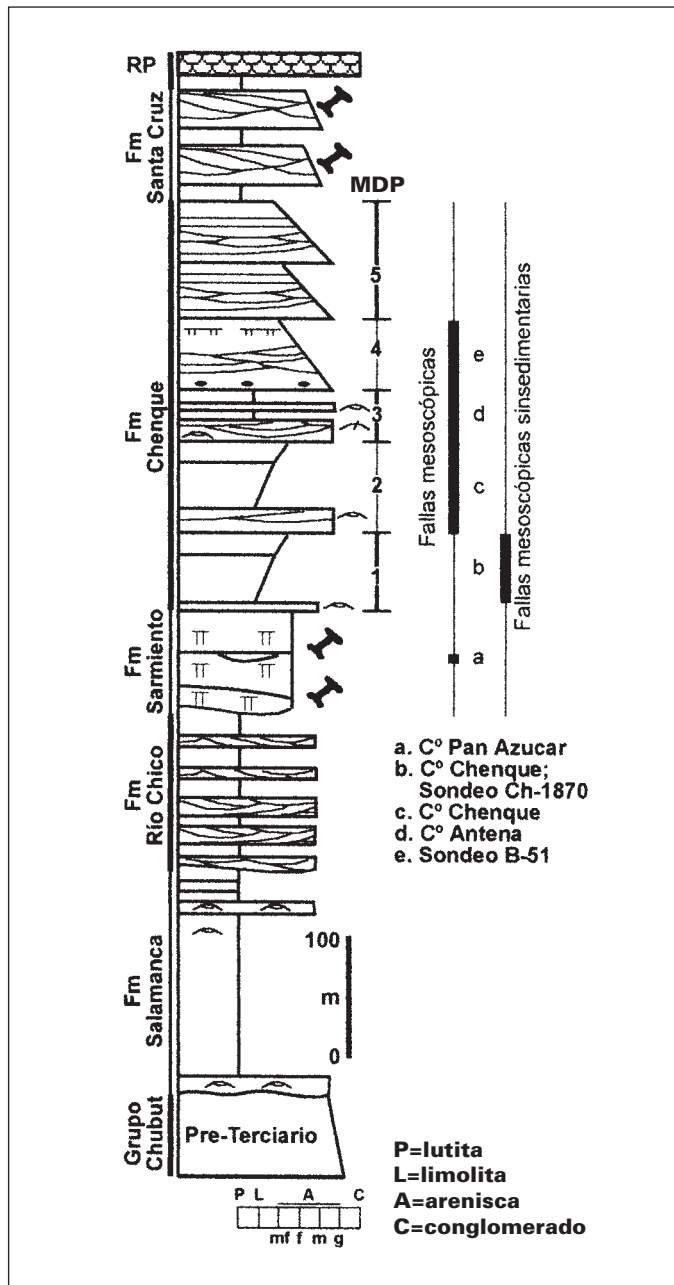


Fig. 3. Columna estratigráfica del Cenozoico del margen atlántico de la Cuenca del Golfo San Jorge, con la ubicación de las fallas mesoscópicas en los intervalos correspondientes a las secuencias deposicionales principales (MDP) del modelo de Paredes (2003a). RP: Rodados Patagónicos

Fig. 3. Stratigraphic log of the Cainozoic of the Cuenca del Golfo San Jorge Atlantic margin, with the location of the mesoscopic faults in the intervals corresponding to the main depositional sequences (MDP, Paredes, 2003a). RP: Rodados Patagónicos

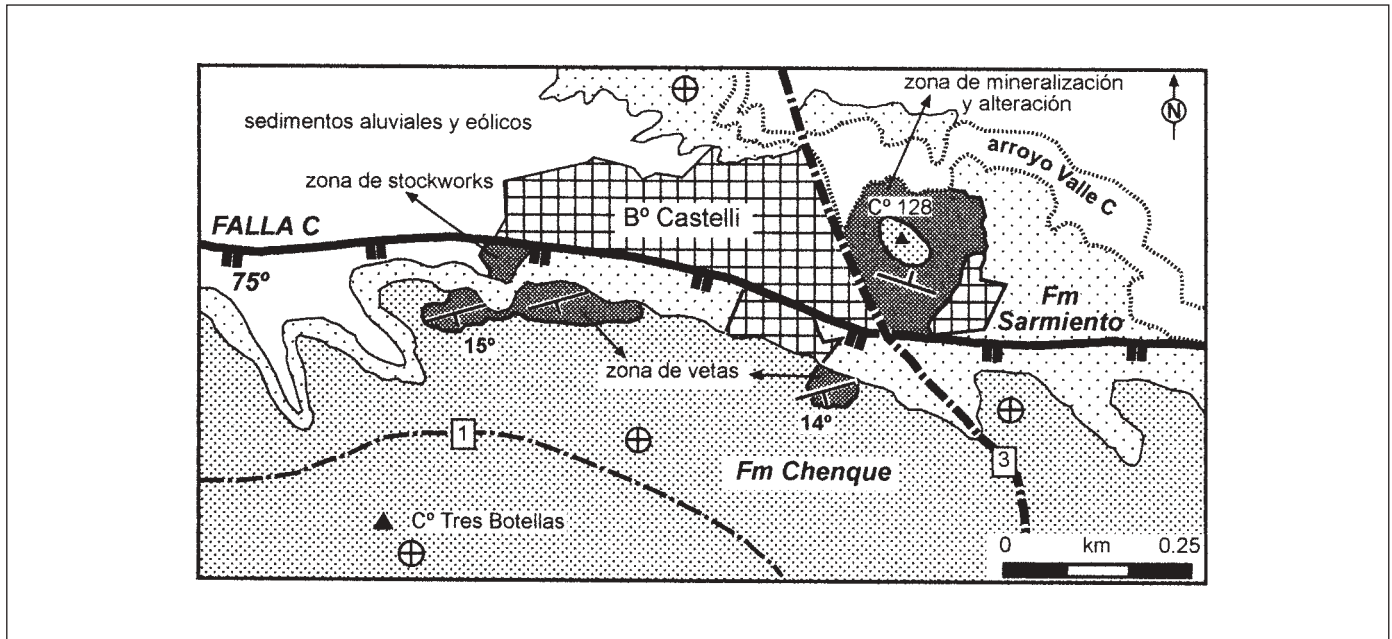


Fig. 4. Mapa geológico de la zona de la falla C. Nótese la inclinación de los estratos en las inmediaciones de la falla y las diferentes zonas de alteración y mineralización  
 Fig. 4. Geological map of the area of the C fault. The strata tilting near the fault and the different alteration and mineralization areas can be noted

La falla Pan de Azúcar es en realidad un sistema de fallas integrado por una falla normal mayor de rumbo N84°E y 75°-80° de inclinación al sur y dos fallas anti-téticas de alto ángulo y menor salto, con rumbo transversal u oblicuo a la principal. Con un salto de alrededor de 50 m (Feruglio, 1950), la falla mayor desplaza términos situados en el tránsito entre las unidades Río Chico y Sarmiento, y entre ésta y la Formación Chenque, formando una suave estructura sinformal sobre el bloque inferior (Fig. 5a). En varios tramos a lo largo del rumbo, aflora una veta de calcedonia bandeada, con sectores masivos de hasta 1 m de potencia (Fig. 5d). Sobre el bloque inferior se encuentra un conspicuo juego de vetas extensionales de yeso de rumbo N-S, de 5 cm de potencia y 50 m de longitud.

### Fallas mesoscópicas

La gran mayoría de las fallas mesoscópicas fueron identificadas en estratos de la Formación Chenque. Afloran en sectores puntuales en grupos de 5 a 10 fallas, localizadas en determinados intervalos estratigráficos de la unidad. El plano de falla es muy delgado y su observación sólo es posible en cortes muy bien expuestos, condición que no cumplen la mayoría de los afloramientos. En la Formación Sarmiento

hay fallas normales (con diseño en forma de dominó) en estratos de areniscas cuarcíficas. Los rumbos son variados aunque predominan los cercanos a ONO-ESE y en su mayoría tienen desplazamientos de inclinación (Figs. 6b, 7).

En el cerro Chenque hay fallas de este tipo en la 1ª y 2ª secuencia deposicional (Fig. 3) del esquema estratigráfico secuencial propuesto por Paredes (2002; 2003a) para la Formación Chenque. En las argilitas de plataforma de la 1ª secuencia se reconocen fallas normales de hasta 10 m de extensión con saltos de inclinación de 2 y 4 m, y estrías que indican un componente dextrógiro de desplazamiento lateral. Las fallas en este nivel tendrían extensión regional, ya que 53 fallas normales de diseño planar y 50° de inclinación promedio han sido citadas en el mismo nivel estratigráfico en el extremo norte de la playa de Rada Tilly, actualmente derrumbado (corte del Ingeniero Franceschi, Fig. 7 in Fossa-Mancini, 1935). En la 2ª secuencia deposicional (Fig. 5c) hay varias fallas directas de alto ángulo todas con rellenos de <1cm de yeso de persistente continuidad y saltos de inclinación iguales o menores a 1 metro. La falla mayor que atraviesa las secuencias 1 y 2, provoca un suave pliegue de arrastre en las areniscas glauconíticas del Banco Medio del Cerro Chenque.

En la zona del sondeo CH 1870, la ladera norte del cerro Hermitte, (bloque inferior de la falla C; Fig. 4)

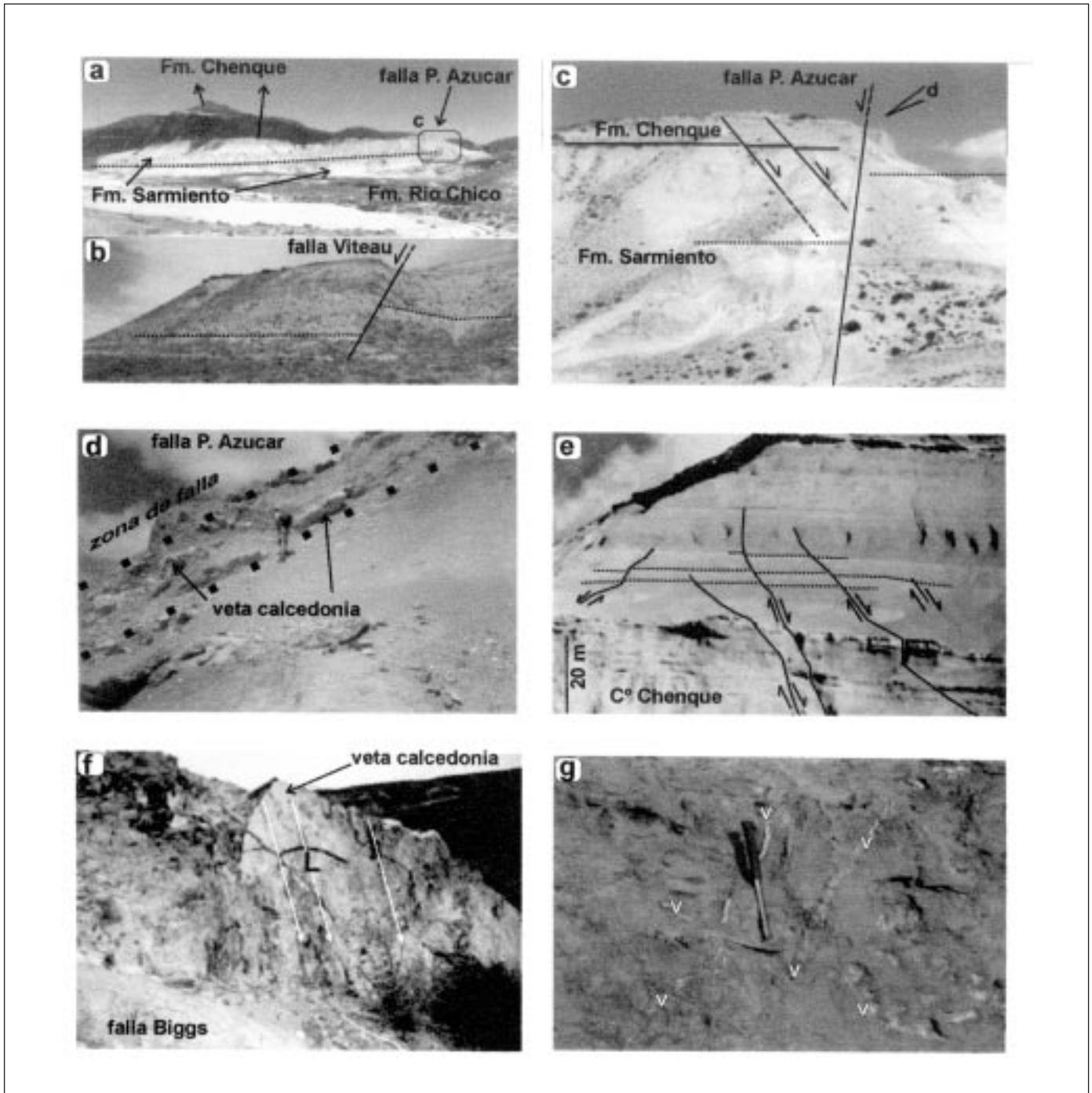


Fig. 5. a. Falla Pan de Azúcar atravesando niveles de las Formaciones Río Chico, Sarmiento y Chenque. Es notable la progresiva inclinación de los estratos en las proximidades de la falla. b. Falla Viteau mostrando el desplazamiento de los niveles guía de la Formación Chenque. c. Fallas de escala mesoscópica atravesando niveles de la 2ª secuencia de la Formación Chenque en la ladera norte del cerro Chenque. d. Detalle de la veta de calcedonia situada en el plano de la falla Pan de Azúcar. e. Detalle de la veta de calcedonia en el plano de la falla Biggs, mostrando las acanaladuras en el hastial de techo. f. Detalle de fracturas y vetas en areniscas de la Formación Chenque en el bloque inferior de la falla C

*Fig. 5. a. Pan de Azucar fault crossing levels of the Río Chico, Sarmiento and Chenque Formations. It is remarkable the strata progressive increase in gradient near the fault. b. Viteau fault showing the displacement of the key levels of the Chenque Formation. c. Mesoscopic faults in the north hillside of the Chenque hill, crossing levels of the second sequence of the Chenque Formation. d. Details of the Chalcedony vein located in the Pan de Azúcar fault plane. e. Close-up view of the Chalcedony vein in the Biggs fault plane, showing the grooves in the roof gable-wall. f. Details of veins and fracturing in sandstones of the Chenque Formation in the footwall of the C fault*



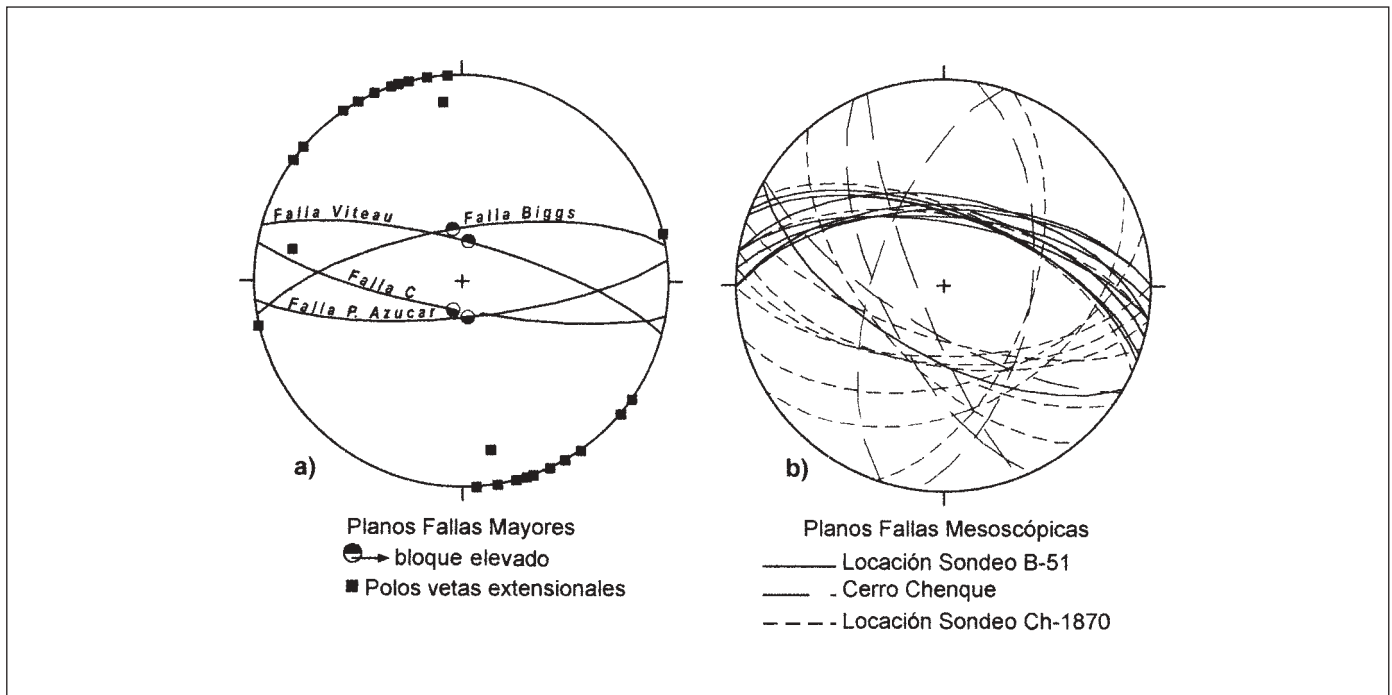


Fig. 6. Proyección estereográfica de las fallas mayores, vetas asociadas y fallas mesoscópicas. Hemisferio inferior red de Schmidt  
 Fig. 6. Stereographic projection of the biggest faults, associated veins and mesoscopic faults. Schmidt net lower hemisphere

afloran 10 fallas normales. Integran un sistema conjugado de fallas de alto ángulo que afectan casi exclusivamente a un estrato de argilitas de 8 m de potencia con un banco de tobas claras y un nivel de ostras. Son fallas de diseño planar con saltos de inclinación de 20 a 90 cm, planos de escala milimétrica sin rellenos minerales y con estrías que en casi todos los casos indican movimiento de inclinación. Algunas de las fallas afectan la parte inferior del estrato de areniscas que suprayace a las argilitas; estas rocas forman parte de la sección regresiva de la 1ª secuencia deposicional.

En la sección basal del "Superpatagoniano", correspondientes a la 4ª y 5ª secuencia deposicional, se reconocieron en la ubicación del sondeo B-51 del yacimiento Cañadón Perdido, la presencia de varias fallas normales subverticales de trazado O-E, que deforman areniscas y lutitas, con saltos que oscilan entre 30 cm y 2 m. Al igual que en los casos anteriores, algunas fallas están confinadas en los estratos lutíticos.

### Discusión

Las estructuras descritas tienen un conjunto de características estructurales y geométricas resumidas en la figura 8 y cuya discusión permitirá sustentar las con-

clusiones. Todas las fallas mayores son de alto ángulo, superando en todos los casos los 70° de inclinación. Cuando las fallas mayores atraviesan estratos de la Formación Chenque la componente de la deformación dominante es el desplazamiento, en tanto que para el límite entre las formaciones Sarmiento y Chenque predomina la deformación interna (*strain*) y la fracturación hidráulica, en detrimento del desplazamiento. En contraste con las areniscas de los tramos inferiores de la Formación Chenque, las tobas alteradas de la Formación Sarmiento son altamente impermeables. El modelo hidrogeológico conceptual de la región de Comodoro Rivadavia considera como una unidad acuitarda (Acuitardo Sarmiento) a la sección superior de la Formación Río Chico y a toda la Formación Sarmiento, en tanto que la Formación Chenque conjuntamente con la Formación Santa Cruz, conforman el Acuífero Multiunitario Superior (Castrillo *et al.*, 1984). De esta manera, el límite entre estas dos unidades hidrogeológicas corresponde con el contacto entre las Formaciones Sarmiento y Chenque, conforma un límite regional a la circulación de fluidos, tanto los de sentido descendente como los ascendentes, constituyendo una barrera impermeable en el sentido de Sibson (1990).

Esta restricción al flujo hidrológico habría inducido sobrepresiones en los fluidos ascendentes por encima de los valores hidrostáticos, funcionando las

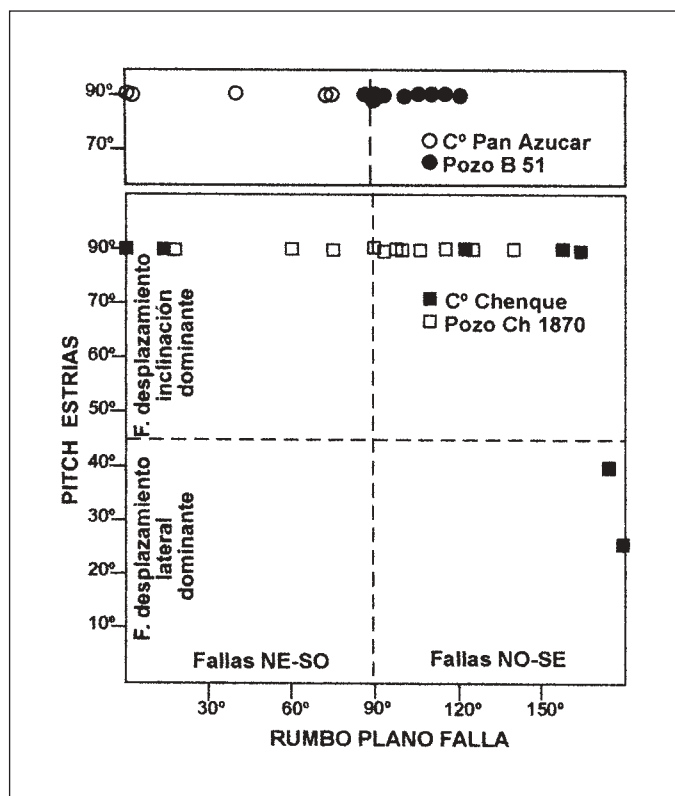


Fig. 7. Clasificación de las fallas mesoscópicas basadas en el pitch de las estrias y el rumbo de las fallas. Casi todas las fallas, independientemente de su rumbo, son fallas de inclinación. Subdivisiones basadas en Diraison *et al.* (1998)

Fig. 7. Mesoscopic faults classification based on the grooves pitch and on the fault directions. Regardless of their direction, almost all the faults are gradient faults. Subdivisions based on Diraison *et al.*, (1998)

fallas como mecanismos de reducción de presión, semejante al modo propuesto por Sibson (1990) como mecanismo de falla-válvula. La descarga y precipitación de los fluidos producida inmediatamente por encima del contacto formacional estuvo acompañada por fracturación extensional y de cizalla de manera conjunta o alternativa. Las "acanaladuras" en la pared de las vetas producidas por el relleno sobre la superficie estriada y acanalada de la pared del bloque superior de la falla, indican que en ocasiones, la cizalla fue previa a la fracturación extensional-hidráulica.

El principio de esfuerzo efectivo (Hubbert y Rubey, 1959) indica que los fluidos colaboraron en la disminución del esfuerzo efectivo normal, reduciendo de esta manera la resistencia a la deformación frágil de las rocas. En el Flanco Norte de la cuenca, solamente una baja proporción de las fallas normales originadas en los episodios extensionales mesozoicos alcanzan por propagación a las rocas del Neógeno, y la sobrepresión de fluidos en el acuitardo Sarmiento podría

haber constituido un parámetro clave en la propagación de las fallas hacia niveles estratigráficos más jóvenes.

La mineralogía de las vetas y zonas de alteración (calcedonia, ópalo, alunita, cristobalita, tridimita jarosita, yeso) indica condiciones de alteración sulfato-ácida o acidificación de rocas silicatadas (Hemley *et al.*, 1969; Heald *et al.*, 1987). La presencia de vetillas de calcita masiva suele indicar en los sistemas hidrotermales, la deposición a partir de aguas en estado vapor, calientes y ricas en CO<sub>2</sub> (Simmons *et al.*, 2000). Por otra parte, la pirita asociada a la calcita en las vetillas podría ser el sulfuro que da origen a la alteración y acidificación de las aguas. Sin embargo, la falta de estudios más detallados impide por el momento sugerir una fuente posible para los fluidos mineralizantes. Una génesis de la alunita del cerro 128, relacionada con la presencia de hidrocarburos en el subsuelo fue propuesta por Beros y Barbosa (1988), quienes estiman poco probable un origen relacionado con aguas meteóricas acidificadas por alteración de minerales sulfurosos o por soluciones hidrotermales o solfatáricas.

En los tramos de las fallas donde hay desplazamiento, predomina ampliamente la componente vertical (*pitch* > 80°), aunque la presencia constante de rellenos minerales finos y continuos indica una componente de desplazamiento normal al plano de falla, que corresponden a la contribución minoritaria de la fracturación extensional. Esta característica es extensible a una parte considerable de las fallas mesoscópicas. Tanto el alto ángulo de inclinación como la forma de desplazamiento-apertura, permiten caracterizar el modo de fracturación como de tipo cizallante-extensional (Sibson, 1990). Las fallas producidas de este modo tienen valores de inclinación mayores a los teóricos para fracturas de cizallas en materiales no deformados ( $\approx 60^\circ$ ;  $\sigma_v = \sigma_1$ ; Anderson, 1951) y menores a los 90° de inclinación teórica de las fracturas de extensión típicas ( $\sigma_3 = F_{ex}$ ), asociadas a un campo de esfuerzo extensional sobre rocas no deformadas. Desde el punto de vista mecánico, estas fallas requieren condiciones particulares de esfuerzo diferencial comprendidas entre 4 y 6 veces la resistencia tensional de la roca (Sibson, 1990).

En cuanto a su origen, las fallas neógenas corresponden a la parte más somera del sistema extensional que, durante el Mesozoico y el Cenozoico, originó la Cuenca del Golfo San Jorge. Las fallas de rumbo O-E que limitan al norte y al sur la parte más profunda de la cuenca representan una progresiva deformación extensional en dirección N-S, casi transversal al borde del margen pasivo.

A nivel regional las mayores fallas estudiadas

representan (Fig. 8a): a) la posición más somera de sistemas de fallas profundas que alcanzan el "basamento pre-Neocomiano" (fallas C y Cañadón Perdido; Giacosa *et al.*, 2003), conformando semigrabenes durante el episodio de sinrift del Cretácico basal o; b) la parte más superficial de fallas originadas durante la deposición del Grupo Chubut, y que conforman sistemas sintéticos y antitéticos no siempre espacialmente vinculados con los sistemas de fallas que generaron las cubetas "neocomianas". Estas fallas atraviesan la Formación Sarmiento, produciendo flexuras suaves en la Formación Chenque, aunque ocasionalmente algunos segmentos atraviesan parcial (falla Viteau) o completamente a la Formación Chenque (falla Escalante), con saltos de 30-35 metros (Paredes, 2003b).

En las argilitas de la 1ª secuencia deposicional de la ladera sur del cerro Chenque (Giacosa, 1994) y en el bloque inferior de la falla C sobre la ladera norte del cerro Hermitte, se encontraron diversas pruebas de sedimentación sintectónica con el fallamiento. Esto sugiere la naturaleza sintectónica de la sedimentación en los primeros episodios de la transgresión miocena. Esta actividad no ha podido aún ser reconocida en las fallas mayores, debido a que en niveles estratigráficamente tan someros las secciones sísmicas tienen baja resolución y no se reconocen saltos con magnitudes <10 metros.

No se conoce que las fallas normales afecten a la Formación Santa Cruz, unidad del Mioceno medio, que sobreyace y que hacia el oeste, pasa lateralmente a la parte superior de la Formación Chenque (Feruglio, 1938; Belloso y Jalfin, 1996). Esto permite fechar la finalización de la actividad extensional en este sector de la cuenca, cercano a su depocentro, en las proximidades del límite entre el Mioceno inferior y en Mioceno medio. La Formación Santa Cruz y sus equivalentes en la Patagonia, como la Formación Río Mayo (González, 1978) Formación Galera (Skarmeta, 1976), Grupo Río Zeballos (Ugarte, 1956), Formación Río Pinturas (Bown y Larriestra, 1990), Formación Collón Curá (Yrigoyen, 1969) y Formación La Mimosa (Turner, 1983) entre otras, representan rocas sedimentarias de ambiente continentales del Mioceno

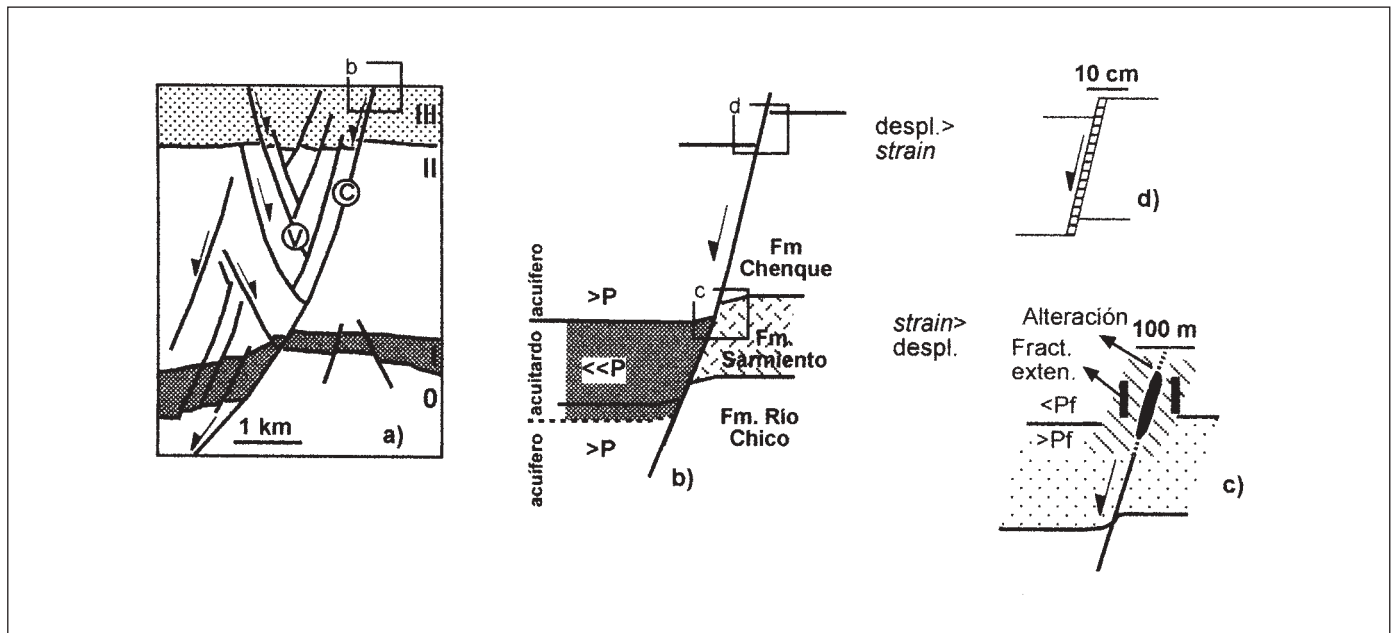


Fig. 8. Modelo conceptual sintético de las fallas neógenas. a. Corte estructural N-S en cercanías de Comodoro Rivadavia mostrando la situación de las fallas Viteau (V) y C (C) y su relación con las diferentes megasecuencias deposicionales de la cuenca (modificado de Giacosa *et al.*, 2003). b. Se observa la barrera de muy baja permeabilidad (<<P, acuitardo) y las de mayor permeabilidad (>P, acuíferos) y sus equivalentes estratigráficos, y el predominio de desplazamiento o deformación. c. Bosquejo de la zona de alta deformación y fracturación hidráulica en cercanías de la interfase con diferentes presiones de fluidos (Pf). d. Bosquejo de la zona de baja deformación y alto desplazamiento con un modo mixto de fracturación

Fig. 8. Conceptual synthetic model of the Neogene faults. a. Structural section N-S near Comodoro Rivadavia town showing the situation of the Viteau (V) and C (C) faults and their relationship with the different depositional megasequences of the basin (Giacosa *et al.*, 2003, modified). b. The very low permeability barrier is observed (<<P, aquitard) and those of more permeability (>P, aquifer) and its stratigraphic equivalents, and the predominance of displacement or strain. c. Sketch of the high strain and hydraulic fracturación area located near the interface with different pressure of fluids (Pf). d. Sketch of the low strain and high displacement area with a mixed way of fracturing

medio a superior. Existe acuerdo en asociar este relleno sedimentario continental a una cuenca de antepaís relacionada con el levantamiento de la cordillera patagónica durante la fase compresiva ándica miocena y cuyo efecto más notorio en la cuenca del Golfo San Jorge, es la formación de la faja plegada de San Bernardo (Peroni et al., 1995; Homovic et al., 1995).

En la zona de estudio no se han observado fallas normales con evidencias de inversión tectónica, situación que atribuimos principalmente a que la orientación O-E de las fallas, es poco favorable, al situarse en la misma dirección que el campo de esfuerzos compresivos ándicos (Letouzey et al., 1990). Aún si el rumbo fuese favorable, planos de falla con altas inclinaciones resultan también desfavorables para su reactivación (Sibson, 1995). Dado que las evidencias conocidas de inversión tectónica son cercanas a la zona de estudio, sugerimos que las numerosas fallas de rumbos NO o N-S que actúan como zonas de transferencia de saltos de las fallas normales O-E, son las únicas que podrían presentar evidencias de inversión positiva en este sector de la cuenca.

Finalmente es necesario señalar la notable influencia que las fallas mayores tienen en la configuración fisiográfica regional, en especial sobre la morfología costera y la ubicación de los valles principales de la región. En la morfología costera, su influencia está determinada por la presencia alternante a lo largo de la línea de costa, de afloramientos de estratos de diferente dureza que originan notables entrantes y salientes fisiográficos (Ferello, 1965).

## Conclusiones

Las fallas neógenas de los alrededores de Comodoro Rivadavia, representan un notable ejemplo de la permanencia de un régimen extensional intracontinental, que comenzó en el Jurásico medio-superior y que, de manera intermitente, perduró hasta fines del Mioceno inferior donde fue reemplazado regionalmente por inversión positiva asociada a la compresión andina.

Los atributos geométricos, mecánicos y físicos que se reconocen en afloramiento son consistentes con su ubicación en la parte más somera de la corteza superior.

Las componentes de la deformación en las fallas (desplazamiento Vs fracturación hidráulica), varían de acuerdo a la influencia que las permeabilidades estratales ejercen sobre el movimiento de los fluidos.

En los estratos marinos, con una gran cantidad de fluido intersticial y alta permeabilidad, la deforma-

ción es por desplazamiento, con una componente vertical predominante y con saltos que varían entre decenas de centímetros a 50 metros. En las tobas y chonitas de la Formación Sarmiento, de baja permeabilidad y escaso contenido en fluidos, y especialmente en el contacto entre las Formaciones Sarmiento y Chenque, el desplazamiento, aunque generalmente menor va acompañado de una intensa fracturación con la presencia de vetas rellenas de fluidos hidrotermales de baja temperatura, sugiriendo una relación causa-efecto entre fluidos y fallamiento.

La detección de niveles impermeables de extensión regional en niveles correspondientes a los estratos cretácicos que constituyen los reservorios petroleros de la región, permitiría contrastar el modelo propuesto a los efectos de detectar, tanto zonas de alta fracturación a modo de reservorios fracturados como sectores "sellados" de baja permeabilidad.

## Agradecimientos

Se agradece a las empresas Repsol-YPF S.A. y Tecpetrol S.A., el acceso a la información de subsuelo. Este trabajo ha recibido financiación parcial del Proyecto de Investigación BTE2002-04316-C03-01 de la DGI del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, y del Grup de Qualitat del Comissionat de Universitats i Recerca, Generalitat de Catalunya, 2001SGR-00074.

## Referencias

- Anderson, E.M. 1951. *The Dynamics of Faulting*. (2.<sup>nd</sup> ed.) Oliver & Boyd, Edinburgh, 191 pp.
- Barcat, C., Cortiñas, J., Nevistic, V. y Zucchi, H. 1989. Cuenca Golfo San Jorge. En: Chebli, G. y Spalletti, L. (eds.), *Cuenca Sedimentarias Argentinas*. Serie Correlación Geológica, 6: 319-345.
- Barreda, V. y Palamarzuck, S. 2000. Palinoestratigrafía de depósitos del Oligoceno tardío-Mioceno, en el área sur del Golfo San Jorge, provincia de Santa Cruz. *Ameghiniana*, 37:103-117.
- Bellosi, E. 1987. *Litoestratigrafía y sedimentación del Patagoniano en la Cuenca del Golfo San Jorge, Terciario de las provincias de Chubut y Santa Cruz*. Tesis Doctoral 252p, Universidad de Buenos Aires (Inédito).
- Bellosi, E. 1990. Formación Chenque: registro de la transgresión patagónica en el Golfo San Jorge. *XI Congreso Geológico Argentino*, II:57-60. San Juan.
- Bellosi, E. y Jalfin, G. 1996. Sedimentación en la planicie costera Santacrucense-Superpatagónica (Mioceno inferior-medio), Cuenca San Jorge. *VI Reunión Argentina de Sedimentología*: 181-186.
- Beros, C. y Barbosa, C. 1988. Alunita en Comodoro

- Rivadavia. *Revista Asociación Geológica Argentina*. 43 (3): 287-295. Buenos Aires.
- Bown, T.M. y Larriestra, C. 1990. Sedimentary paleoenvironments of fossil plathyrine localities, Miocene Pinturas Formation, Santa Cruz Province, Argentina. *Journal Human Evolution* 19: 87-119.
- Castrillo, E., Amoroso, A. y Grizinik, M. 1984. Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. *IX Congreso Geológico Argentino*, VI: 393-406. Buenos Aires.
- Chelotti, L. 1997. Evolución Tectónica de la Cuenca Golfo San Jorge en el Cretácico y Terciario: Algunas Observaciones desde la Interpretación Sísmica. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 49: 63-82. Buenos Aires.
- Chelotti, L., Czeplowodzki, R., Fortunato, G., Cercósimo, S. y Trincherro, E. 1999. Tectónica del Flanco Norte de la Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina: el Yacimiento El Tordillo desde la sísmica 3D. *XIV Congreso Geológico Argentino*, I: 235-238, Salta.
- Diraison, M., Cobbold, P., Rossello, E. y Amos, A. 1998. Neogene dextral transpression due to oblique convergence across the Andes of northwestern Patagonia. *Journal of South America Earth Sciences*, 11 (6): 519-532.
- Ferello, R. 1965. Contribución al estudio de líneas de costas en la zona de Comodoro Rivadavia. *Anales de la Sociedad Científica*: 17-34.
- Feruglio, E. 1930. Observaciones acerca de un trabajo del Ing. T. Serghiescu sobre la región petrolífera de Comodoro Rivadavia. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 7 (73): 833-862. Buenos Aires.
- Feruglio, E. 1938. Relaciones estratigráficas entre el Patagoniano y el Santacruciano en la Patagonia Austral. *Revista Museo La Plata (N.S.)* 1 Sec. Geol.: 129-159. La Plata.
- Feruglio, E. 1949. *Descripción Geológica de la Patagonia*. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Tomo 2, 349 pp, Buenos Aires.
- Feruglio, E. 1950. *Descripción Geológica de la Patagonia*. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Tomo 3, 431 pp, Buenos Aires.
- Figari, E., Strelkov, E., Laffitte, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martínez, R. y Villar, H. 1999. Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. *Cuarto Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, 197-237. Buenos Aires.
- Fitzgerald, M., Mitchum, R., Uliana, M. y Biddle, K. 1990. Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. *AAPG Bulletin* 74 (6): 879-920. Tulsa.
- Fossa-Mancini, E. 1931. Fallas y petróleo en la antigua Zona de Reserva Fiscal de 5.000 hectáreas de Comodoro Rivadavia. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 8 (84): 539-560. Buenos Aires.
- Fossa-Mancini, E. 1932. Faults in Comodoro Rivadavia oil field, Argentina. *AAPG Bulletin* 16 (6): 556-576. Tulsa.
- Fossa-Mancini, E. 1935. Las fallas de Comodoro Rivadavia en los estratos petrolíferos y en los afloramientos. *Boletín de Informaciones Petroleras* 12 (136): 65-95. Buenos Aires.
- Giacosa, R. 1994. Geometría de fracturas y fallas en sectores puntuales de la ladera del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia. Universidad Nacional de la Patagonia, Comodoro Rivadavia. (Inédito).
- Giacosa, R., Paredes, J., Nillni, A., Ledesma, M. y Colombo, F. 2003. Fallamiento normal terciario en la Cuenca del Golfo San Jorge. Margen sudatlántico, Patagonia Argentina. *Geotemas* 5: 89-94.
- González, R. 1978. *Descripción Geológica de las Hojas 49a, Lago Blanco y 49b, Paso Río Mayo, provincia de Chubut*. Boletín Servicio Geológico Nacional, 154-155, Buenos Aires.
- Heald, P., Foley, N.K. y Hayba, D.O. 1987. Comparative Anatomy of Volcanic-Hosted Epithermal Deposits: Acid-Sulfate and Adularia-Sericite Types. *Economic Geology* 82, 1: 2-26.
- Hechem, J., Homovc, J. y Figari, E. 1990. Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la sierra de San Bernardo, cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. *XI Congreso Geológico Argentino*, III: 173-176, San Juan.
- Hechem, J. y Strelkov, E. 2002. Secuencia sedimentaria mesozoica del Golfo San Jorge. En: Haller, M. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*. El Calafate, I: 129-147. Buenos Aires.
- Hemley, J.J., Hostetler, P.B., Gude, A.J. y Mountjoy, W.T. 1969. Some Stability Relations of Alunite. *Economic Geology* 64, 6: 599-612.
- Homovc, J., Conforto, G., Lafourcade, P. y Chelotti, L. 1995. Fold Belt in the San Jorge Basin, Argentina: an Example of Tectonic Inversion. En: Buchanan, J. y Buchanan, P. (eds), *Basin Inversion. Geological Society Special Publication* N° 88: 235-248. London.
- Hubbard, R.J. 1988. Age and significance of sequence boundaries of Jurassic and early Cretaceous rifted continental margins. *AAPG Bulletin* 72 (1): 49-72. Tulsa.
- Hubbert, M. y Rubey, W. 1959. Role of fluid pressure in the mechanics of overthrust faulting. *Geological Society of America Bulletin*, 70: 115-205.
- Legarreta L., Uliana, M. y Torres, M. 1990. Secuencias deposicionales cenozoicas de Patagonia Central: sus relaciones con las asociaciones de mamíferos terrestres y episodios marinos epicontinentales. Evaluación preliminar. *II Simposio del Terciario de Chile*: 135-176. Concepción.
- Leidhold, C. 1934. La tectónica del subsuelo del Campamento Central de Comodoro Rivadavia. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 113: 71-77.
- Letouzey, J., Werner, P. y Marty, A. 1990. Fault reactivation and structural inversion. Backarc and intraplate compressive deformations. Example of the eastern Sunda (Indonesia). *Tectonophysics*, 183, 341-362.
- Lombard, E. y Ferello, R. 1965. Evidencias de escalonamientos en el zócalo Cristalino y su influencia sobre la cubierta sedimentaria al norte de Comodoro Rivadavia. *Acta Geológica Lilloana*, VII: 271-284.
- Paredes, J. 2002. Asociaciones de facies y correlación de los sedimentos de la Formación Chenque (Oligoceno-

- Mioceno) de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología, Revista* 9 (1): 53-64.
- Paredes, J. 2003a. A sequence stratigraphy scheme in a tide-dominated estuary: The Chenque Formation, Miocene of the San Jorge Basin, Argentine. *3<sup>rd</sup> Latin American Congress of Sedimentology, Abstract Book*: 135-137, Belem, Brazil.
- Paredes, J. 2003b. *Análisis estratigráfico y evolutivo de la Formación Chenque en el Flanco Norte de la Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 137 pp (Inédito).
- Pascual, R. y Odreman Rivas, O. 1971. Evolución de las comunidades de los vertebrados del Terciario Argentino. Los aspectos paleozoogeográficos y paleoclimáticos relacionados. *Ameghiniana*, 8 (3-4): 372-412, Buenos Aires.
- Peroni, G., Hegedus, A., Cerdán, J., Legarreta, L., Uliana, M. y Laffitte, G. 1995. Hydrocarbon accumulation in a inverted segment of the Andean Foreland: San Bernardo Belt, Central Patagonia. En: Tankard, R. et al. (eds.) *Petroleum Basins of South America, AAPG Memoir* 62.
- Sciutto, J.C., Césari, O., Escribano, V. y Pezzuchi, H. 2000. *Hoja Geológica 4566-III Comodoro Rivadavia, Provincia del Chubut*. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 244, 53 pp, Buenos Aires.
- Sibson, R. 1990. Conditions for fault-valve behaviour. En: Knipe, R. y Rutter, E. (ed): *Deformations mechanisms, Rheology and Tectonics. Geological Society, Special Publication*, 54 : 15-28. London.
- Sibson, R. 1995. Selective fault reactivation during basin inversion: potential for fluid redistribution through fault-valve action. En: Buchanan, J. y Buchanan, P. (eds.), *Basin Inversion. Geological Society Special Publication*, 88: 3-19. London.
- Simmons, S.F., Arehart, G., Simpson, M.P. y Mauk, J.L. 2000. Origin of Massive Calcite Veins in the Golden Cross Low-Sulfidation, Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand. *Economic Geology* 95, 99-112.
- Skarmeta, M.J. 1976. Estratigrafía del Terciario sedimentario continental de la región central de la provincia de Aisen, Chile. *Revista Asociación Geológica Argentina*. 31 (2): 73-82.
- Turner, J.C. 1982. *Descripción Geológica de las Hoja 44c, Tecka, provincia de Chubut*. Boletín Servicio Geológico Nacional, 180, Buenos Aires.
- Ugarte, F. 1956. El Grupo de Río Zeballos en el flanco occidental de la Meseta Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina*. 11 (3): 202-216.
- Yrigoyen, M. 1969. Problemas estratigráficos del Terciario en la Argentina. *Ameghiniana*, 6 (4): 315-329.

Recibido: febrero 2004

Aceptado: junio 2004