

# INFLUENCIA DE LA TECTÓNICA PREANDINA SOBRE LA TECTÓNICA ANDINA: EL CASO DE LA FALLA DE LA SIERRA CHICA, SIERRAS PAMPEANAS DE CÓRDOBA

Roberto D. MARTINO<sup>1</sup>, Alina B. GUERESCHI<sup>1</sup> y Claudio C. CARIGNANO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA, CONICET-UNC) y Departamento de Geología Básica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. E-mail: rdmartino@com.uncor.edu

## RESUMEN

La falla de la Sierra Chica es una de las fallas inversas terciarias más importantes de las Sierras Pampeanas de Córdoba. La deformación frágil andina habría sido controlada parcialmente por estructuras previas como la foliación regional del basamento metamórfico proterozoico tardío-cámbrico. Otro control importante está dado por la tectónica extensional cretácica que produjo la apertura del océano Atlántico. La traza actual de la falla presenta tramos rectos, de alto ángulo (~50°-60°) y vinculados con depósitos cretácicos, que son interpretados como resultado de la reactivación de fallas directas previas, y tramos curvos de bajo ángulo (~30°), que no se asocian a ningún depósito en particular, que serían nuevas fallas inversas originadas por la tectónica terciaria. Una serie de fajas miloníticas antiguas, oblicuas al rumbo general, denominadas lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho, producen la segmentación general de la falla de la Sierra Chica en tres grandes láminas de corrimiento. Durante la compresión terciaria, dichos lineamientos fueron reactivados como fallas de deslizamiento de rumbo dextral, que actuaron como rampas laterales mientras las láminas de corrimiento se desplazaban en sentido NNO (~N 330°). La forma convexa hacia el oeste se debería al efecto del fallamiento inverso de bajo ángulo asociado a la expansión de la parte frontal de la lámina de corrimiento. Las diferencias geobarométricas actuales (~5000 m) entre los bloques exhumados a ambos lados de la falla de la Sierra Chica, a la latitud de Alta Gracia (31° 36' S), todavía reflejarían los efectos de la tectónica extensional cretácica, no compensados por la inversión terciaria.

**Palabras clave:** *Fallamiento, gneises, geobarometría, Cretácico, Terciario.*

## ABSTRACT

*Influence of the pre-Andean tectonics on the Andean tectonics: the case of the Sierra Chica fault, Sierras Pampeanas of Córdoba, Argentina.*

The Sierra Chica fault is one of the most important Tertiary reverse faults of the Sierras Pampeanas of Córdoba. The Andean fragile deformation would have been partially controlled by previous structures as the regional foliation of the late Proterozoic-Cambrian metamorphic basement. Another important control is given by the Cretaceous extensional tectonics that produced the opening of the Atlantic Ocean. The present-day trace of the fault shows straight tracts of high angle (~50°-60°) linked with Cretaceous deposits, which are interpreted as reactivation of previous normal faults, and curved tracts of low angle (~30°) that do not associate in particular with any specific deposit, which would be new reverse faults originated by the Tertiary tectonics. A series of ancient shear belts, oblique to the main direction, named the Carapé, Quebrada Honda and Soconcho lineaments, produce the segmentation of the Sierra Chica fault in three large thrust sheets. During the Tertiary compression, these lineaments were reactivated as dextral slip faults, which acted as lateral ramps while the thrust sheets moved towards NNW (~N 330°). The west-directed convex form would be due to the effect of the low angle inverse faulting together with the expansion of the frontal part of the thrust sheet. The present-day geobarometric difference (~5000 m) between the blocks exhumed at both sides of the Sierra Chica fault, at the latitude of Alta Gracia (31° 36' S), would still reflect the effects of the Cretaceous extensional tectonics that were not compensated by the Tertiary inversion.

**Keywords:** *Faulting, gneisses, geobarometry, Cretaceous, Tertiary.*

## INTRODUCCIÓN

La litósfera continental del sudoeste de Gondwana fue estructurada hacia el final del Proterozoico. Esta estructuración introdujo anisotropías planares en el basamento que controlaron el desarrollo de las

cuenas fanerozoicas. La acreción de terrenos en el margen pacífico de Gondwana durante el Paleozoico temprano reactivó esas anisotropías y creó otras, principalmente durante la orogenia Oclóyica. Las cuencas mesozoicas, con dos estilos extensionales conocidos, fueron acomoda-

das por fábricas estructurales planares de rumbos noreste y noroeste que afectaron al basamento metamórfico en el ámbito pampeano y en el extrapampeano, tanto hacia el margen continental atlántico como pacífico. El ámbito extrapampeano ha sido denominado aquí Rioplatense (Fig. 1)



El complejo metamórfico está organizado en una serie de dominios litológicos y estructurales separados por zonas de cizalla dúctil y por rocas máficas y ultramáficas. Esta disposición permite esbozar una evolución general que se habría iniciado en el Proterozoico tardío con el desarrollo de una cuenca de margen pasivo, instalada en el margen gondwánico, luego de la dispersión del supercontinente Rodinia. Dicha cuenca habría tenido sedimentación psamítico-pelítica, con intercalaciones de rocas calcáreas-margasas y emplazamiento de rocas básicas y ácidas. La petrología, el análisis estructural y las dataciones radiométricas disponibles permiten establecer que los dominios mencionados formaron parte de un complejo polimetamórfico que evolucionó fundamentalmente entre los 800 (?) y 520-530 Ma durante el ciclo orogénico Pampeano. Edades de 900-1200 Ma no permiten descartar la presencia de núcleos más antiguos prepampeanos. La exhumación y cierre definitivo se produjo durante la fase Oclóyica del ciclo orogénico Famatiniano. Esta tectónica contraccional está caracterizada por el desarrollo de importantes fajas de deformación dúctil y es coincidente con la colisión y acreción del terreno Cuyania al margen pacífico de Gondwana.

Los dominios litológicos y estructurales han sido interpretados: (a) en un contexto de una faja móvil ensiálica (Dalla Salda 1987); (b) como parte de orógenos accionales por colisión de terrenos alóctonos sobre un margen convergente de disposición occidental al cratón del Río de La Plata (Ramos 1988, 1995, Kraemer *et al.* 1995, 1996, Demange *et al.* 1993, Escayola *et al.* 1996, Rapela *et al.* 1998); (c) como componentes de un arco continental y un prisma de acreción (Nothrup *et al.* 1998); (d) como un ambiente extensional producido por subducción de una dorsal y advección de calor por yuxtaposición de la astenósfera sobre la base de un prisma de acreción (Simpson *et al.* 2001, Gromet *et al.* 2005). Martino y Guerreschi (2006), usando el modelo (d) pero considerando la ocurrencia de ciclos de contracción-extensión, propusieron un orógeno tipo

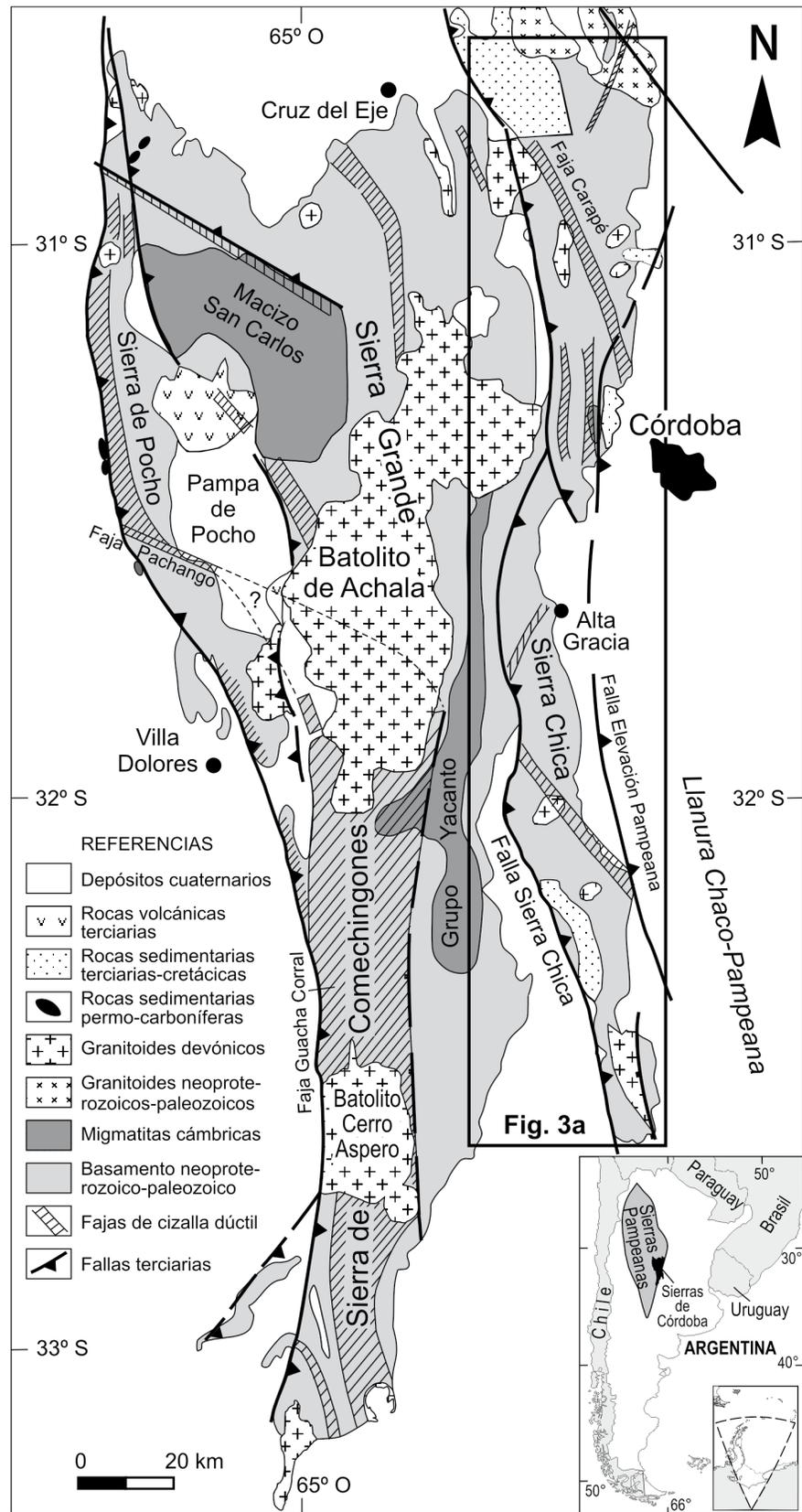


Figura 2: Mapa geológico de las sierras de Córdoba, donde se ubica la Sierra Chica al este. El rectángulo corresponde al área del mapa estructural de la figura 3a.

“pull-push” (Lister *et al.* 2001, Forster y Lister 2006).

Durante el Devónico temprano y asociados con procesos convergentes en el margen de Gondwana, tuvo lugar una deformación compresiva general que reactivó y generó fajas de deformación dúctil. Durante esta etapa, se produjo la intrusión de importantes batolitos graníticos como el de Achala (Fig. 2).

Durante el Carbonífero-Triásico, las Sierras Pampeanas fueron un retroarco con una tectónica extensional que generó cuencas en las cuales se depositó el Grupo Paganzo. En las sierras de Córdoba, está representado por escasos sedimentos continentales a lo largo del margen occidental de la sierra de Pocho (Fig. 2).

Durante el Cretácico temprano y asociado con la fragmentación inicial de Gondwana, se desarrolló un *rifting* general en la placa Sudamericana. Esto produjo un fallamiento extensional penetrativo y la reactivación de rasgos estructurales previos a lo largo del margen oriental de las Sierras Pampeanas. Se formaron una serie de hemigrábenes asimétricos hacia el este (Schmidt *et al.* 1995), que fueron rellenados por sedimentitas continentales rojas, asociadas a derrames y diques de composición basáltica del Cretácico temprano (Gordillo y Lencinas 1979, Poiré *et al.* 1988, Sánchez *et al.* 1990, Kay y Ramos 1996). El sistema de rift habría sido controlado por fallas directas, parcialmente coincidentes con las actuales fallas de la Elevación Pampeana y de la Sierra Chica (Fig. 3a).

La compresión andina terciaria, al momento del arribo de la placa Nazca subducida con bajo ángulo, produjo la inversión de las cuencas cretácicas (Schmidt *et al.* 1995), el fallamiento en bloques y su basculamiento horario (mirando hacia el norte). Así quedó configurado el paisaje actual que llamó la atención de los primeros geólogos que estudiaron las Sierras Pampeanas (Stelzner 1875). El alzamiento de los bloques del basamento habría comenzado hace unos 10 Ma (Jordan y Allmendinger 1986), a través de: (a) fallas inversas de bajo ángulo (corrimientos, Kraemer *et al.* 1988, 1995), modificadas localmen-

te a ángulos mayores por apilamiento de cuña bajocorrida (Kraemer y Martino 1993), y (b) reactivación por inversión de fallas directas de alto ángulo del rift cretácico. Otras fallas más antiguas, oblicuas al rumbo dominante actual, también habrían sido reactivadas. Para el fallamiento descrito, se establecieron dos eventos deformacionales importantes (Martino *et al.* 1995) que habrían ocurrido a los 2 Ma (evento B) y a los 0,8 Ma (evento A). Asociado al ciclo Andino, se produjo un magmatismo representado por las volcanitas de Pocho (7,9-4,5 Ma), en el margen occidental-central de las sierras de Córdoba (Fig. 2), y por volcanitas de la Sierra de San Luis, como por ejemplo en la Sierra del Morro (2,6 ± 0,7 y Ma 1,9 ± 0,2 Ma; Ramos *et al.* 1991).

## GEOLOGÍA DE LA SIERRA CHICA

La Sierra Chica es el cordón más oriental de las denominadas Sierras Pampeanas de Córdoba. Se extiende desde el extremo norte de las sierras del Pajarillo, Copacabana y Masa (30° 36' S) hasta el sur de la Sierra de Las Peñas (32° 38' S), ocupando una franja meridional entre los 64° 38' O y 64° 13' O (Fig. 2). La mayor elevación es el cerro Uritorco (1.950 m s.n.m.).

La Sierra Chica está conformada por un bloque de basamento ígneo-metamórfico de sección asimétrica, con pendiente pronunciada al oeste y suave al este, alargado en dirección norte-sur. Dicho bloque está limitado al oeste por la falla de la Sierra Chica, que lo levanta por encima de los valles de Punilla y Calamuchita, que contienen rellenos sedimentarios del Terciario (Eoceno-Mioceno) y Cuaternario (Pastore 1932, Lencinas y Timonieri 1968, Gordillo y Lencinas 1979). Hacia el este, se adosan al flanco tendido del bloque, sedimentitas continentales cretácicas y pliocenas, las que se hunden suavemente bajo los sedimentos del Holoceno pertenecientes a la llanura Chaco-Pampeana. Este flanco tendido se ve interrumpido por un pequeño cordón denominado Elevación Pampeana (Bodenbender 1929). Otra característica del bloque levantado la cons-

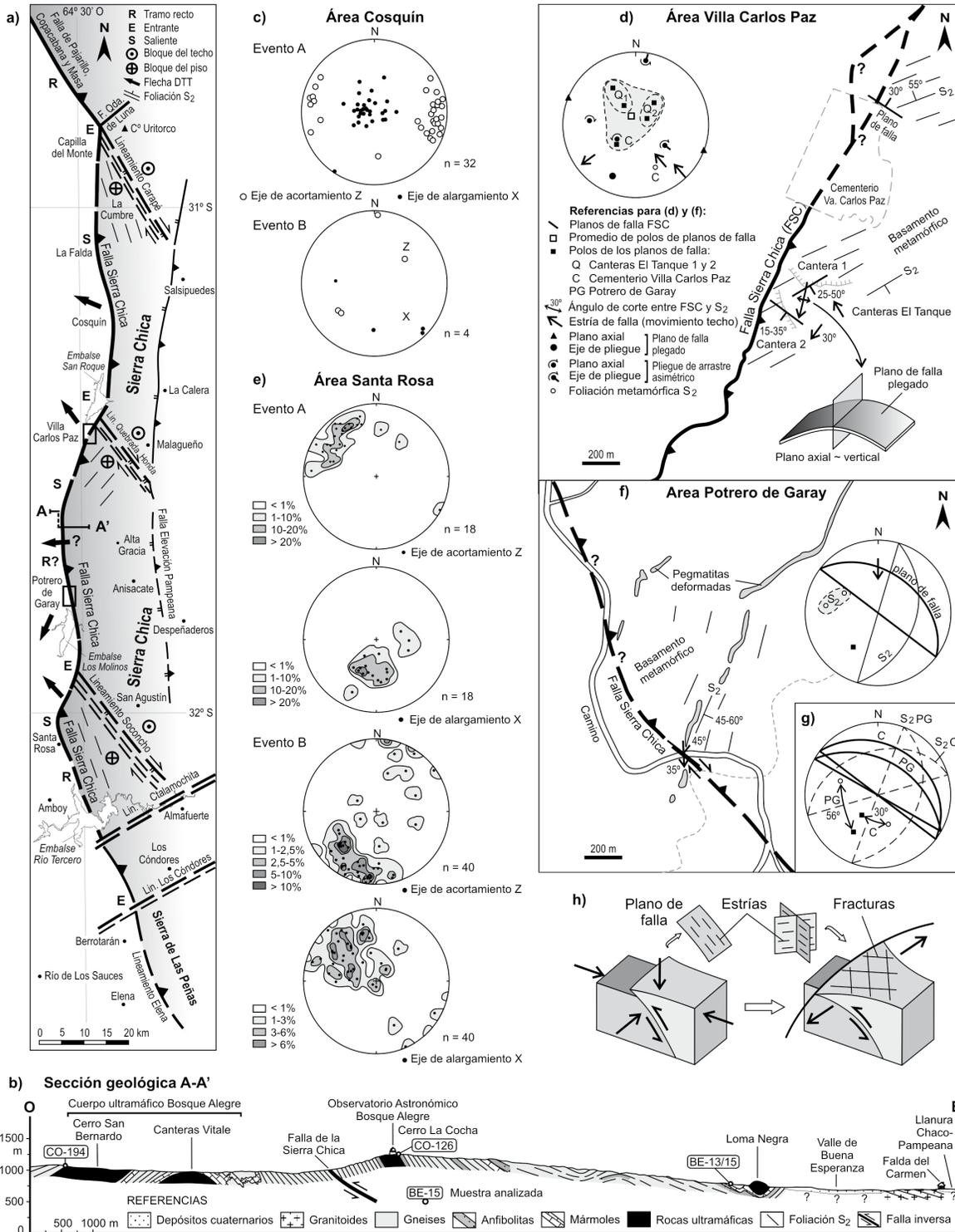
tituye una serie de estructuras oblicuas al rumbo general, que lo segmentan en dirección norte-sur, como los lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho, entre los más importantes (Fig. 3a).

La secuencia estratigráfica es difícil de establecer, ya que no hay fósiles ni indicadores relictos de polaridad y las litologías aflorantes han sido intensamente afectadas por el metamorfismo y la deformación. Sin embargo, las unidades litológicas que conforman los distintos afloramientos pueden ser ordenadas en una columna estratigráfica representada por: (a) metamorfitas del Proterozoico tardío-Paleozoico temprano (migmatitas y gneises con venas de cuarzo, aplíticas y pegmatíticas ácidas, intercalaciones de mármoles y anfíbolitas, ortogneises de distintos tipos y granitoides epidóticos foliados); (b) granitoides del Paleozoico temprano, (c) un complejo sedimentario-volcánico del Cretácico; y (d) sedimentitas de piedemonte y relleno de valles del Terciario, y sedimentos limoarcillosos y loésicos del Cuaternario.

La estructura interna del basamento de la Sierra Chica ha sido caracterizada con cierto detalle en su sector central a lo largo de la quebrada del río Suquía (ex Primero) por Dalla Salda (1984), Demange *et al.* (1993) y Martino *et al.* (2010). Hacia el sur, a lo largo de la quebrada del río Anisacate por Garzón (1992) y Zuásquita (1992), y entre Santa Rosa, Calmayo y la Sierra de Las Peñas por Martino *et al.* (1995) y Bonalumi *et al.* (2005). Al norte, la foliación de los granitoides y las fajas de cizalla asociadas han sido descritas por Pérez *et al.* (1996). Martino (2003) realiza una descripción detallada de las fajas de deformación de las sierras de Córdoba. Las estructuras, sedimentación y volcanismo cretácicos fueron estudiados por Gordillo y Lencinas (1967, 1979), Poiré *et al.* (1988), Sánchez *et al.* (1990), Sisto *et al.* (1993, 1994), Schmidt *et al.* (1995) y Kay y Ramos (1996).

### El basamento metamórfico de la Sierra Chica a los 31° 36' de latitud sur

El basamento metamórfico cámbrico a esta latitud está afectado por la falla terciaria de la Sierra Chica, de rumbo norte-



**Figura 3:** a) Mapa compilatorio e interpretativo de la estructura frágil de la Sierra Chica que muestra las áreas de afloramientos de la falla de la Sierra Chica (FSC). Flechas DTT: dirección de transporte tectónico. Recuadros: indican las áreas de las figuras 3d (área Carlos Paz) y 3f (área Potrero de Garay). b) Sección geológica de la Sierra Chica a la latitud de Alta Gracia (31° 36' S) que abarca los bloques del techo y del piso de la falla de la Sierra Chica, con ubicación de las muestras analizadas para geobarometría (modificada de Martino *et al.* 2010). c) Direcciones de acortamiento y alargamiento deducidas para los eventos de deformación A y B en el área de Cosquín (tomado de Kraemer y Martino 1993). d) Mapa de detalle de la estructura y diagrama de datos estructurales (hemisferio inferior de la red de Schmidt) para el área de Villa Carlos Paz. e) Direcciones de acortamiento y alargamiento deducidas para los eventos de deformación A y B en el área de Santa Rosa (tomado de Kraemer *et al.* 1988). f) Mapa de detalle de la estructura y diagrama de datos estructurales en el área de Potrero de Garay. g) Relación de corte de la foliación metamórfica S<sub>2</sub> con los planos de falla en las áreas de Villa Carlos Paz y Potrero de Garay. h) Esquema de la expansión de la parte frontal de la lámina de corrimiento de basamento de la falla de la Sierra Chica, con fracturamiento menor asociado (no marcado en el mapa), como ocurre entre los lineamientos Quebrada Honda y Soconcho, los que habrían actuado como rampas laterales.

sur, donde el bloque del techo de la falla se encuentra en el margen oriental y corresponde a la Sierra Chica propiamente dicha, mientras que el bloque del piso se ubica en el margen occidental. Anzil (2009) y Martino *et al.* (2010) realizan un estudio detallado de la petrología y estructura de esta área, a lo largo de una sección geológica ubicada entre los 31° 33'-31° 40' de latitud sur y los 64° 27'-64° 37' de longitud oeste (Fig. 3b), al noroeste de la ciudad de Alta Gracia.

Las rocas metamórficas que afloran en el bloque del techo de la falla en este sector están dominadas por gneises granatíferos sillimaníticos, con manifestaciones menores de gneises granatíferos leucocráticos. Hay intercalaciones de cuerpos tabulares de anfibolitas y mármoles, y afloran los cuerpos ultramáficos Loma Negra y La Cocha. También hay intrusiones leucocráticas menores y cuerpos de pegmatitas. A escala del afloramiento, se reconocen localmente fajas de cizalla decimétricas.

En el bloque del piso de la falla, se encuentra el cuerpo ultramáfico Bosque Alegre y las rocas metamórficas están dominadas por ortogneises granatíferos, gneises granatíferos y gneises granatíferos leucocráticos. Los mármoles son litologías abundantes, en afloramientos de gran potencia, y hay escasas intercalaciones de cuerpos tabulares menores de anfibolitas y de gneises calcosilicáticos. El basamento está intruido por pegmatitas verticales discordantes, generalmente de grandes dimensiones.

### Geobarometría de los gneises de alto grado a los 31° 36' de latitud sur

Anzil (2009) y Martino *et al.* (2010) realizaron análisis de química mineral y termobarometría en muestras seleccionadas de gneises granatíferos sillimaníticos y gneises granatíferos leucocráticos. Estas rocas desarrollan texturas de reacción metamórficas y las paragénesis de más alto grado reconocidas en el área estudiada son: cuarzo + plagioclasa + biotita + granate + sillimanita ( $\pm$  cianita)  $\pm$  feldspato potásico + rutilo. Tomando como referencia la falla de la Sierra Chica, las

muestras BE-13, BE-15 y CO-126 pertenecen al bloque del techo y la CO-194 al bloque del piso de la falla (ver ubicación en Fig. 3b).

Estos autores emplearon el programa *Thermobarometry* (versión 2.1) para computadoras Macintosh de Spear y Kohn (1999). Para los cálculos de la presión, utilizaron el barómetro granate-plagioclasa-silicato de aluminio-cuarzo (GASP), con sillimanita con la calibración de Koziol (1989), y el barómetro granate-rutilo-silicato de aluminio-ilmenita-cuarzo (GRAIL) calibrado por Bohlen *et al.* (1983). Para la muestra CO-194 que sólo contiene escasa sillimanita incluida en granate, emplearon el barómetro granate-rutilo-ilmenita-plagioclasa-cuarzo (GRIPS) calibrado por Bohlen y Liotta (1986). Dado que todas las muestras analizadas poseen rutilo en la matriz en equilibrio con biotita y granate, los valores obtenidos con los barómetros GRAIL y GRIPS serían indicadores de presión mínima.

Considerando el conjunto de datos publicados por Martino *et al.* (2010) con los distintos geobarómetros utilizados, a fin de minimizar los errores, se calcularon los valores medios de presión para las distintas muestras de cada bloque para cada evento metamórfico. Se obtuvieron valores medios de presión de 7,4 kb durante el pico metamórfico M2 para los gneises pertenecientes al bloque del techo de la falla de la Sierra Chica, con temperaturas de 765-840 °C. Para la muestra ubicada en el bloque del piso, se obtuvo una presión de 7,8 kb para el evento M2, con temperaturas de 775-781 °C. Para el evento retrógrado M3, los valores medios de presión para las tres muestras ubicadas en el bloque del techo de la falla de la Sierra Chica son de 6,0 kb, con temperaturas de 598-710 °C. Para la muestra situada en el bloque del piso, se obtuvo una presión de 7,3 kb para el evento M3, con temperaturas de 693-707 °C.

### ESTRUCTURA FRÁGIL DE LA SIERRA CHICA

Se describirán brevemente las principales estructuras cartografiadas en la región

como la falla Elevación Pampeana y los lineamientos oblicuos a la Sierra Chica, ordenados de norte a sur (Fig. 3a). Luego se hará una descripción detallada de la falla de la Sierra Chica y de sus principales afloramientos.

### Falla Elevación Pampeana

Se trataría de una falla directa de rumbo meridiano, probablemente invertida durante la orogenia terciaria. Da lugar a la formación de una pequeña cadena de cerros denominada Elevación Pampeana (Bodenbender 1929, Gordillo y Lencinas 1979), entre las localidades de Salsipuedes, La Calera, Malagueño y Despeñaderos (Fig. 3a). Se percibe aquí, casi localmente, el estilo predominante de pendiente occidental empinado y pendiente oriental suave que presentan las Sierras Pampeanas. También se aprecia su hundimiento hacia el sur, desde los 700 m s.n.m. (La Calera) hasta los 590 m s.n.m. (Alta Gracia-Anisacate). Esta pequeña cadena está compuesta esencialmente por gneises biotíticos, anfibolitas y mármoles cálcicos intruidos por material ácido aplítico y pegmatítico. En La Calera, se reconoce un espesor de 50 m de gneises triturados que pasan a materiales más finos hasta hacerse una harina de falla color pardo, que presenta inclusiones redondeadas y pulidas de rocas de distinto tamaño. En algunas canteras se observan bloques rotados de mármol, intensamente brechados y con extensos espejos de fricción.

El movimiento de la falla ha permitido el basculamiento del bloque oriental hacia el ESE, con un valor de 10° a 12° en las cercanías de la fractura para disminuir a 4° a 5° en la zona de la quebrada Martino-lli (entrada de la quebrada: 31° 20' 44,04" S; 64° 17' 24,04" O), valor que se mantiene hasta la ciudad de Córdoba.

La inclinación regional del basamento determina la pendiente topográfica general de la región anteserrana a la altura de la ciudad de Córdoba, siguiendo una dirección más o menos paralela al recorrido del río Suquia (ex Primero) desde la sierra a la ciudad (ESE).

Esta fractura, al igual que las restantes

fracturas morfogénicas de las Sierras Pampeanas, es una falla inversa que buza al este. Según Gross (1948), en este sector aparecen dos fallas, la ya mencionada de La Calera-Salsipuedes y otra más oriental, no marcada en el mapa de la figura 3a (esta última carece de importancia regional).

#### Fallamiento oblicuo a la Sierra Chica

*Falla Quebrada de Lina:* Esta falla tiene rumbo noreste (Fig. 3a) y buza hacia el noroeste con alto ángulo (~80° NO). Se trataría de una falla directa que habría sido reactivada durante la compresión terciaria. Levanta el basamento ígneo metamórfico de la Sierra Chica por encima de la cuenca cretácica, quedando los relictos de esta última protegidos en el bloque bajo. Esta falla directa podría haberse nucleado en la no concordancia del contacto de las sedimentitas con el basamento.

*Lineamiento Carapé:* Se asocia a la faja de deformación dúctil Carapé, que separa los granitoides del sector austral de la Sierra Norte de las metamorfitas de la Sierra Chica, afectando a ambas rocas (Pérez *et al.* 1996, Lyons *et al.* 1997, Martino 2003). Esta faja se extiende con rumbo noroeste por ~40 km de largo, con un espesor de 0,5 a 2 km. El límite noreste es transicional mientras que el límite suroeste es neto, donde se nuclea el lineamiento Carapé de naturaleza frágil. Este lineamiento y la faja de deformación dúctil se extenderían hacia el noroeste conformando la falla de Pajarillo, Copacabana y Masa (Fig. 3a), continuación norte de la falla de la Sierra Chica.

*Lineamiento Quebrada Honda:* En el lugar por donde se ha construido la autopista Córdoba-Villa Carlos Paz, se encuentra la quebrada Honda. Se reconoce aquí una falla transversal a la Sierra Chica (Fig. 3a), con rumbo NNO y traza vertical, que ha elevado el bloque norte con respecto al bloque sur. Probablemente esté asociada a fajas de milonitas con reactivaciones frágiles posteriores como ocurre con los otros lineamientos de la Sierra Chica. A la altura de la entrada de la autopista a Villa Carlos Paz, se reconoce una franja de filonitas y rocas verdes con aspecto de es-

quistos, posiblemente retrabajadas por la actividad de la falla de la Sierra Chica. La foliación de estas rocas está orientada N 10°/50° E y poseen la geometría de un caballo de falla. Se reconoce un arrastre y rotación de la fábrica S2, la que pasa a N 35°/70° SE. En general, esta zona se encuentra muy cubierta, lo que impide realizar mejores observaciones.

*Lineamiento Soconcho:* Es una extensa faja con deformación frágil penetrativa que atraviesa la Sierra Chica con rumbo N 320°-350° (Fig. 3a) y buzamiento de 52°-54° E, que se sobrepone a la faja de deformación dúctil previa (Martino *et al.* 1995, Martino 2003). El nombre lo da su límite noreste, donde se nuclea una fractura que se interna en la llanura Chaco-Pampeana, controlando el curso del arroyo del mismo nombre (Martino y Fagiano 1982). Hacia el oeste del lineamiento y abarcando en su extensión hasta la mitad oriental del cuerpo de la tonalita Calmayo, se sobrepone un clivaje de fractura en una faja de ~3 km de ancho. La orientación general de este clivaje es N 350° y buza 60° O a subvertical. Sobre el arroyo Calmayo, en el borde noreste del plutón, se reconocen pequeñas fajas centimétricas de pseudo-taquititas (Martino y Fagiano 1982) que indicarían una reactivación de la faja en un régimen sismogénico. Se desconoce la relación temporal del último movimiento de este lineamiento, pero es probable que constituya una fase relacionada con la falla de la Sierra Chica.

*Lineamientos Ctalamochita y Los Cóndores:* Se trata de dos lineamientos con rumbo general noreste (Fig. 3a). El primero de ellos controla el drenaje a la altura del río Ctalamochita y el segundo, de bloque hundido hacia el sudeste, hace de límite entre la Sierra Chica y la sierra de Las Peñas al sur. Probablemente sean estructuras tensionales antiguas, completamente erosionadas, de las que sólo queda su expresión morfológica.

#### La falla de la Sierra Chica

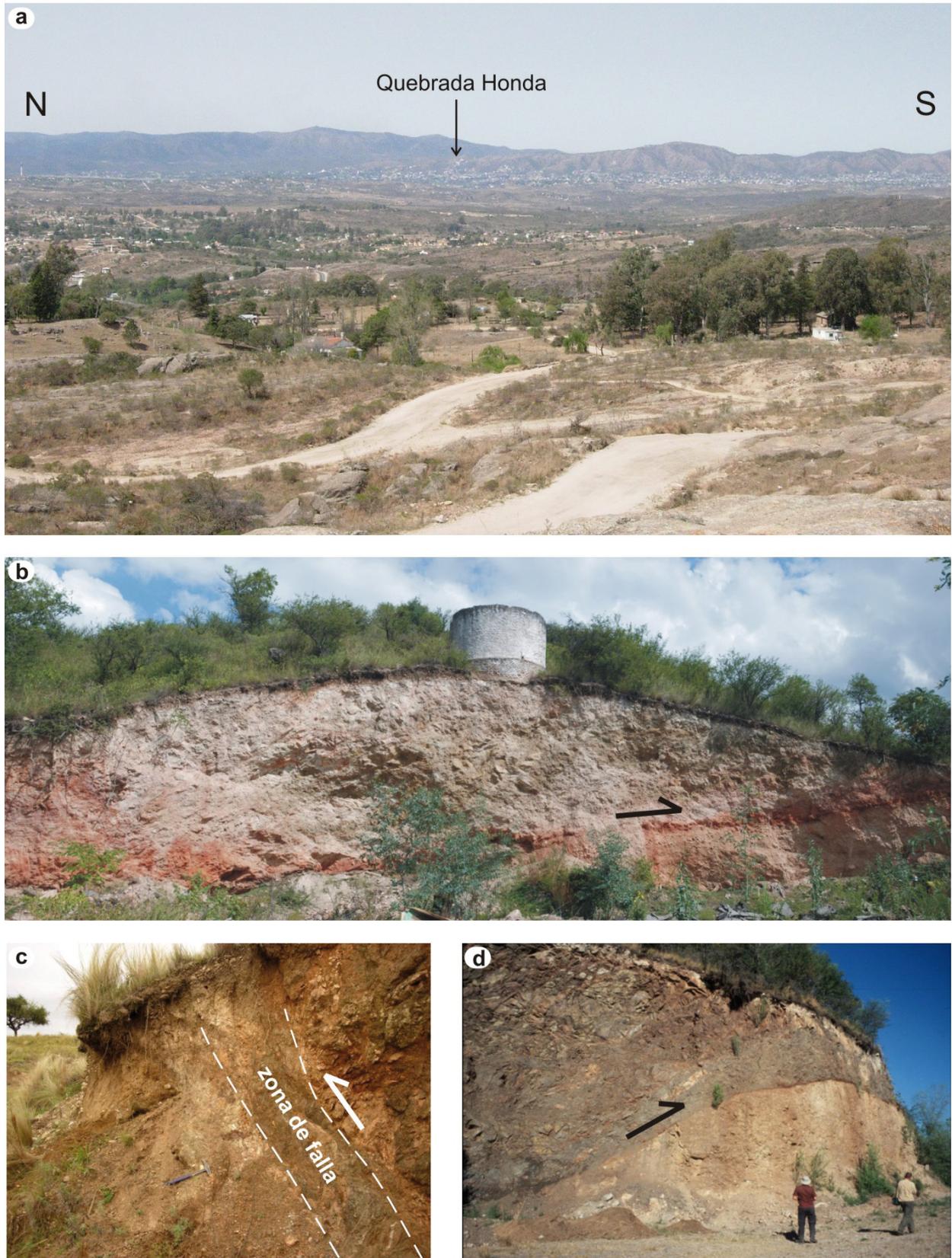
La falla de la Sierra Chica es una de las fallas inversas más extensas de las sierras de Córdoba (Fig. 2), ya que su escarpa de falla puede reconocerse por más de 200 km

de largo (Figs. 3a y 4a). Hacia el norte, a la latitud de Capilla del Monte, se continúa en la falla de Pajarillo, Copacabana y Masa. Hacia el sur, llega hasta el lineamiento Los Cóndores, a partir del cual se ramifica en una serie de lineamientos. Entre éstos se destaca el lineamiento Elena (de traza curva) que afecta a la sierra de Las Peñas en su margen occidental y que sería la continuación sur de la falla de la Sierra Chica.

En sentido regional, esta falla ha sido mencionada con distintos nombres en parte de la literatura geológica, como falla occidental de la Sierra Chica (Gordillo y Lencinas 1979) o falla Punilla (o zona de falla Punilla, Schmidt *et al.* 1995). También ha recibido distintos nombres en los tramos locales en los que se ha estudiado con mayor detalle, como falla Cosquín (Gross 1948, Lencinas y Timonieri 1968, Massabie 1976, 1987, Massabie y Szlafstein 1991), falla Carlos Paz (Massabie y Szlafstein 1991), falla Potrero de Garay (Schlagintweit 1954, Massabie 1987) y falla Santa Rosa (Massabie 1987, Wagner-Manslau 1988, Kraemer *et al.* 1988, Massabie y Szlafstein 1991). En general, estos segmentos o tramos locales de la falla de la Sierra Chica se encuentran delimitados por los lineamientos oblicuos oportunamente descriptos en este trabajo.

El rumbo predominante de la falla es meridiano, si bien localmente la traza presenta inflexiones con tramos rectos y curvos. Los tramos rectos (R en Fig. 3a) tienen orientación NNO, altos ángulos de buzamiento (50-60°) y se vinculan a depósitos cretácicos (Painceyra 1998), como por ejemplo en la falla de Pajarillo, Copacabana y Masa, y desde Santa Rosa hasta el lineamiento Los Cóndores. Los tramos curvos son cóncavos y convexos (salientes S y entrantes E en Fig. 3a), tienen bajos ángulos de buzamiento (~30°) y no se asocian a ningún depósito en particular. Estos últimos tramos fueron definidos como corrimientos de basamento (*bassment thrusts*) por Martino *et al.* (1995).

Asociadas a la zona de falla, se reconocen rocas cataclásticas con un ancho afectado que alcanza la decena a centena de metros, representadas por brechas y micro-



**Figura 4:** a) Perfil norte-sur de la escarpa de la falla de la Sierra Chica a la latitud de la quebrada Honda. En primer plano, la localidad de Tanti y al fondo, al pie de la escarpa, Villa Carlos Paz. b,c,d) Principales afloramientos de la falla de la Sierra Chica: b) Canteras El Tanque, área Villa Carlos Paz, perfil este-oeste (diámetro tanque: 5 m); c) Potrero de Garay, perfil oeste-este (largo piqueta: 30 cm); y d) Santa Rosa de Calamuchita, perfil este-oeste. Ver descripciones en el texto.

brechas con harina de falla de color rojo y verde, y rocas de aspecto filonítico, intensamente cloritizadas y muscovitizadas. También se observa una fuerte fracturación del bloque cabalgado, en un ancho del orden de los centenares de metros, con desferrización de biotita y generación de clorita-sericita.

En su recorrido, la falla de la Sierra Chica cabalga a conglomerados rojos cretácicos en la zona de La Cumbre, a los estratos terciarios del valle de Punilla en la zona de Cosquín y parcialmente a los fanglomerados pleistocénicos en Biale Massé y Villa Carlos Paz. En la zona de Potrero de Garay, cabalga a sedimentos aluviales cuaternarios con edafización, y en la zona de Santa Rosa, cabalga a cenoglomerados cuaternarios (Castellanos 1944, 1951, Gross 1948, Schlagintweit 1954, Lencinas y Timonieri 1968, Massabie 1976, 1987, Gordillo y Lencinas 1979, Kraemer *et al.* 1988, Massabie y Szlafstein 1991, Kraemer y Martino 1993, Martino *et al.* 1995, Schmidt *et al.* 1995).

### Principales afloramientos de la falla de la Sierra Chica

Se describirán los principales afloramientos donde se ha reconocido la falla de la Sierra Chica, considerando las rocas de falla, geometría, datos estructurales y cinemática, de acuerdo con la información disponible de trabajos previos más los datos nuevos aportados en este trabajo, principalmente para las áreas de Villa Carlos Paz y de Potrero de Garay. De norte a sur, las principales áreas de afloramiento son las siguientes:

*Área Cosquín* (Figs. 3a, c): En el valle de Punilla, a la latitud de Cosquín, se observa que el basamento proterozoico cabalga sobre una cuña sedimentaria imbricada (Gross 1948, Lencinas y Timonieri 1968, Massabie 1976, 1987, Massabie y Szlafstein 1991). Si bien éste ha sido el ejemplo típico de fallamiento de alto ángulo para las sierras de Córdoba (56°-60°), el ángulo de corte de los sedimentos es de 15° a 20° (Kraemer y Martino 1993). Dicho ángulo es similar al observado en afloramientos donde el basamento cabalga sedimentitas no deformadas con ángulos

entre 20° y 40° (Santa Rosa, Villa Carlos Paz, etc.). El análisis cinemático de fallas menores en el bloque del techo de la falla de la Sierra Chica (Fig. 3c, Kraemer y Martino 1993) muestra dos poblaciones de fallas, una bien desarrollada de tipo inverso, con una dirección de acortamiento oeste a NNO (evento A), y otra escasamente representada con componente de rumbo y dirección de acortamiento noreste (evento B). Se reconoce claramente un episodio de deformación posterior a los depósitos de piedemonte. Además, el registro sedimentario permite establecer al menos otros dos episodios de deformación previos, aún sin una ubicación temporal definida, lo que indica la compleja historia de esta estructura (Kraemer y Martino 1993).

*Área Villa Carlos Paz*: en Quebrada Honda (Figs. 3a, d y 4a), se reconocen cataclásitas asociadas a la zona de falla de la Sierra Chica, 2-4 m de microbrechas con harina de falla de color rojo y verde, seguida hacia arriba por 10-30 m de brechas. Hacia el este, en una faja de 200-400 m de espesor, la falla retrabaja las metamorfitas regionales, principalmente la foliación  $S_2$  de los gneises, retrogradando la biotita a clorita  $\pm$  muscovita. A la salida oeste de la quebrada Honda, se ha reconocido un caballo de falla (*horse*) de centenares de metros de largo y decenas de metros de ancho, actualmente en estudio. Está compuesto por milonitas clorítico-sericíticas, con el plano de foliación  $S_2$  orientado N 10°/50° E y una lineación N 80°/30°, ligadas posiblemente a un evento anterior de deformación dúctil, posiblemente retrabajado durante el Terciario.

Hacia el sur de Quebrada Honda, a la latitud de Villa Carlos Paz, en la zona de falla afloran rocas de aspecto filonítico, intensamente cloritizadas y muscovitizadas, con una fuerte orientación que define una lineación (N 70°/45°) sobre el plano de foliación  $S_2$  (N 345°/30° E). Se intercala material ígneo ácido con tres patrones: (a) deformado, paralelo al plano  $S_2$ , con formas de lentes; (b) formando pliegues asimétricos, y (c) pegmatitas desplazadas de modo directo. Hacia el oeste de la faja

influenciada por la deformación, afloran gneises de dos micas con granate. El análisis cinemático y dinámico de fallas menores asociadas al fallamiento principal de la Sierra Chica permitió establecer dos eventos compresivos mutuamente ortogonales. Para el evento A, el eje de acortamiento es  $Z = N 106^\circ/11^\circ$  y para el evento B es  $Z = N 15^\circ/3^\circ$  (Painceyra 1998). Estos eventos son correlacionables con los establecidos por Martino *et al.* (1995).

En el sector del cementerio de Villa Carlos Paz (Figs. 3a, d), el bloque del techo de la falla de la Sierra Chica está compuesto por ortogneises graníticos, muy cloritizados y fracturados, con plano de foliación  $S_2 = N 74^\circ/55^\circ$  NO. Se reconocen intercalaciones de granitos boudinados y venas de cuarzo lechoso (espesor < 10 cm), orientadas N 140°/35° NE. Un plano transgresivo al resto, orientado N 350°/80° O, está relleno con venillas milimétricas de calcita. Otro plano poco desarrollado, de geometría  $C'$  con respecto a la foliación de los ortogneises, corta a todo el conjunto. Otro rasgo que presentan los ortogneises deformados es un plegamiento asimétrico tipo S, combinado localmente con pliegues en caja, con eje N 10°/15° y plano axial paralelo a la falla orientada aquí N 310°/30° NE (Fig. 3d). En el bloque del piso de la falla se observa un cenoglomerado fango-soportado, poco consolidado, de material cuaternario con un plano sedimentario grosero subhorizontal (Massabie y Szlafstein 1991).

En las dos canteras de áridos El Tanque (Fig. 3d), situadas unas cuadras al sur del cementerio de Villa Carlos Paz, el bloque del techo de la falla de la Sierra Chica está compuesto por un granitoide de textura pegmatítica, con lentes de gneises, completamente triturados. Este bloque sobreyace, luego de conectarse a través de una zona cataclástica de color rojo, al bloque del piso de la falla compuesto por areniscas poco consolidadas de color gris, de abanico aluvial cuaternario (Fig. 4b). La orientación de la falla en ambas canteras es variable (Fig. 3d): en la cantera 1 (afloramiento norte) es N 58°-60°/25°-50° SE, con estrías N 138°-150°/25°-50°; en

la cantera 2 (afloramiento sur) es N 308°-330°/15°-35° SO, con estrías N 234°/30°. En conjunto, el plano de falla es curvo localmente y el bloque del techo está plegado suavemente alrededor de un eje N 202°/25°, con plano axial subvertical (ver esquema en Fig. 3d). En la cantera 1, se reconocen también pliegues asimétricos tipo Z, con ejes orientados N 130°/50°, con plano axial N 4°/50° E.

La foliación metamórfica  $S_2$  del basamento cabalgado (N 74°/55° NO) es cortada con un ángulo de 30° por la falla de la Sierra Chica a la latitud del cementerio de Villa Carlos Paz (Fig. 3g). Los pliegues de arrastre, clastos rotados y estrías permiten deducir movimientos inversos de la falla hacia ~N 330°.

*Área Potrero de Garay* (Figs. 3a, f): al norte del lago Los Molinos, la falla de la Sierra Chica fue denominada Potrero de Garay por Schlagintweit (1954) y estudiada también por Costa *et al.* (2001). En un corte del camino con rumbo N 70°, se observa una lámina triturada de basamento metamórfico intruido por material granitoide (Fig. 4c), que cabalga sobre sedimentos aluviales del Pleistoceno medio-tardío con edafización (edades según Castellanos 1944, 1951). Un suelo representado por un horizonte B textural está totalmente desmembrado en el bloque del piso de la falla, y en el paisaje, en general, se ve una fuerte disturbación del horizonte mencionado en el resto de los suelos. En el contacto, se identifica una capa de espesor decimétrico de *gouge* foliado y con estrías bien marcadas orientadas N 0°/35°. El plano de falla está orientado N 302°-310°/45°-50° NE (Fig. 3f). La foliación metamórfica  $S_2$  del basamento cabalgado tiene una orientación variable N 10°-30°/45°-60° SE y estaría seccionada por la falla con un ángulo de ~56° (Fig. 3g). Los estrías permiten deducir movimientos inversos de la falla hacia ~N 180° (Fig. 3f).

*Área Santa Rosa*: Particularmente de interés es la falla de la Sierra Chica a la latitud de la localidad de Santa Rosa de Calamuchita, en el corte de la ruta provincial N° 5. Aquí se observa claramente cómo el basamento metamórfico cabalga sobre sedimentitas cuaternarias con un plano

buzante al este (Fig. 4d). Esta estructura, denominada localmente falla de Santa Rosa, fue descrita por primera vez por Massabie (1987) y Wagner-Manslau (1988), en tanto Kraemer *et al.* (1988) realizan el primer estudio cinemático y dinámico. La foliación  $S_2$  actuó aquí como plano principal de la falla de la Sierra Chica. El rumbo general de la falla es N 340°, con buzamientos variables entre 30° y 40° al este. El bloque del techo de la falla está constituido por gneises cuarzo-feldespáticos fuertemente alterados, de tono verdoso oscuro. La textura brechosa y fracturación divide la roca en poliedros irregulares, habiéndose perdido en general la estructura metamórfica primaria. El bloque del piso de la falla está constituido por una roca sedimentaria de tonos amarillentos blanquecinos, con estratificación grosera, compuesta por clastos de rocas metamórficas de tamaño variable (de 13 a 120 cm de diámetro), sostenidos por una matriz arenosa a conglomerádica. Esta roca es interpretada como cenoglomerados (depósitos por remoción en masa) de piedemonte producidos por flujo de detritos procedentes del este. Sobre el plano de falla se encuentra un nivel de arcilla rojiza, con espesores variables entre 10 y 80 cm. Se reconoce una foliación cataclástica con estrías y marcas de punzamiento que permiten establecer claramente el movimiento relativo inverso entre los bloques. Por encima del plano de falla, el basamento se encuentra intensamente fracturado y con abundantes fallas menores e indicadores cinemáticos como estrías de falla. La roca sedimentaria por debajo del plano de falla está escasamente deformada, en un espesor de no más de 20 cm, con cemento carbonático, donde los clastos se reorientan haciéndose paralelos al plano de falla. El análisis de fallas menores permitió determinar dos eventos de deformación (Fig. 3e, Kraemer *et al.* 1988): el evento A, con dirección Z de acortamiento noroeste (N 288°) y dirección X de alargamiento subvertical, y el evento B, con dirección Z de acortamiento noreste (N 53°) y dirección X de alargamiento cercana a la horizontal.

## INTERPRETACIÓN REGIONAL DE LA FALLA DE LA SIERRA CHICA

La deformación frágil en la Sierra Chica produjo una serie de fallas y lineamientos de relaciones complejas entre sí (Fig. 3a). Esta complejidad se debe al control ejercido por las fábricas previas como la foliación  $S_2$ , y a la presencia de dos tectónicas frágiles superpuestas: la tectónica extensional cretácica y la tectónica compresional terciaria.

La deformación frágil afectó a un conjunto de metamorfitas de edad proterozoica tardía-cámbrica (Rapela *et al.* 1998, Siegesmund *et al.* 2010), con una fuerte anisotropía planar muy penetrativa a nivel regional (foliación metamórfica principal  $S_2$ ). La foliación  $S_2$  posee una orientación general N 310°-340°/30°-50° NE dentro del ámbito de la Sierra Chica. La foliación  $S_2$  es un plano de debilidad que, en algunos casos, actuó como plano principal de la falla de la Sierra Chica (área Santa Rosa, Figs. 3a, e). El fuerte control de la fábrica  $S_2$  de las metamorfitas en la orientación de las estructuras frágiles terciarias en el borde más oriental de las Sierras Pampeanas ha sido destacado por numerosos autores (Gordillo y Lencinas 1979, Kraemer *et al.* 1988, Massabie y Szlafsztein 1991, Kraemer y Martino 1993, Simpson *et al.* 2001). Schmidt *et al.* (1995) extienden ese control hasta las serranías occidentales en la provincia de San Luis. Sin embargo, en otros casos se reconoce que el plano  $S_2$  es cortado con bajo ángulo por la falla de la Sierra Chica (por ejemplo, áreas de Villa Carlos Paz y Potrero de Garay, Fig. 3g).

En la Sierra Chica, la fábrica  $S_2$  está cortada por tres lineamientos principales de rumbo N 330° denominados Carapé, Quebrada Honda y Soconcho (Fig. 3a). Éstos son subverticales, de traza recta en planta, e internamente se reconocen una fábrica milonítica antigua y una fábrica frágil sobrepuesta. La fábrica milonítica podría ser de edad devónica y se habría reactivado frágilmente durante el Cretácico y el Terciario. Cuando se produjo la compresión terciaria, dichos lineamientos fueron reactivados como fallas

de deslizamiento de rumbo dextral, con componente extensional (cizalla oblicua divergente = transtensiva), generando arrastre y rotación de la fábrica  $S_2$  en el lineamiento Quebrada Honda y formación de clivaje sobrepuesto a  $S_2$  en los lineamientos Carapé y Soconcho.

El extremo norte de la actual falla de la Sierra Chica se habría nucleado a lo largo de la prolongación noroeste del lineamiento y la faja de deformación Carapé, formando la falla de Pajarillo, Copacabana y Masa (Fig. 3a). Esta última habría sido uno de los principales controles de la cuenca cretácica, ya que se interpreta como la falla directa lítrica de despegue (*detachment* o *sole fault*), luego invertida durante la tectónica terciaria. La faja Carapé junto con la faja de deformación Guacha Corral-Pachango (Fig. 2) conformarían los dos límites corticales de mayor relevancia en las sierras de Córdoba, posteriores al pico metamórfico y al comienzo de la exhumación del orógeno Pampeano a esta latitud (Martino 2003).

Los altos ángulos de la falla de la Sierra Chica observados en algunos sectores, que se manifiestan como trazas rectas (como a la latitud de Cosquín, Fig. 3a), son consecuencia de un fenómeno de traslación y rotación progresivas del basamento a medida que se producía la imbricación de la cuña sedimentaria por debajo, lo que implicaría un comportamiento del basamento esencialmente no rígido y fuertemente condicionado por la geometría del bloque inferior (Kraemer y Martino 1993). Otros tramos rectos, tales como la continuación norte en la falla de Pajarillo, Copacabana y Masa y el tramo al sudoeste de Santa Rosa (latitud del embalse de Río Tercero, Fig. 3a), representarían fallas directas cretácicas hoy invertidas por la tectónica terciaria. En este sentido, los tramos curvos serían nuevas fallas inversas originadas por la tectónica terciaria, mientras que los tramos rectos serían reactivaciones inversas de fallas directas previas. En conjunto, todos los tramos estarían interconectados conformando la actual falla de la Sierra Chica.

En los tramos entre los lineamientos oblicuos, la actual falla de la Sierra Chica tie-

ne una traza curva convexa hacia el oeste (salientes: S en Fig. 3a), mientras que, a la latitud de los lineamientos, la falla invierte su curvatura adquiriendo una forma cóncava (entrantes: E en Fig. 3a). Los tramos convexos, limitados por los lineamientos oblicuos, producen la segmentación general de la falla de la Sierra Chica en al menos tres grandes láminas de corrimiento. Durante la compresión terciaria, esas láminas de corrimiento se habrían desplazado principalmente en sentido NNO ( $\sim N 330^\circ$ ), mientras los lineamientos actuaban como rampas laterales. La forma convexa se debería al efecto del fallamiento inverso de bajo ángulo asociado a la expansión de la parte frontal de la lámina de corrimiento, mecanismo análogo al que se reconoce en las *nappes* (*spreading nappes*, Fig. 3h). Como ejemplo de este último proceso y geometría, puede tomarse el tramo central entre los lineamientos Quebrada Honda y Soconcho. Aquí el plano del corrimiento es ligeramente ondulado, por lo que localmente la dirección de transporte tectónico (flechas DTT en Fig. 3a) se aparta de la dirección principal NNO y se dirige localmente hacia el oeste y sudoeste. Esta suave ondulación del plano de falla se observa también a la latitud de Villa Carlos Paz, donde puede interpretarse como un plano de falla plegado suavemente, con plano axial subvertical (Fig. 3d). La ondulación del plano de falla es otro factor que explica las distintas relaciones de corte observadas respecto del plano de foliación  $S_2$  (Fig. 3g).

El análisis cinemático de fallas menores para las áreas de Cosquín, Villa Carlos Paz y Santa Rosa (Kraemer *et al.* 1988, Kraemer y Martino 1993, Páinceyra 1998) indica que hay dos direcciones de acortamiento que son comunes y que pertenecerían a eventos de deformación diferentes: noroeste y noreste, correspondientes a los eventos A y B respectivamente (Figs. 3c, e). Es importante resaltar que mecanismos focales recientes, deducidos mediante ondas P y S, son coincidentes con el evento A: se determina una componente de acortamiento noroeste y alargamiento subvertical (Richardson *et al.* 2009). Esta dinámica coincide también con la di-

rección principal de transporte tectónico (flechas DTT, Fig. 3a) determinada para los distintos bloques de la Sierra Chica limitados por los lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho.

La falla inversa terciaria de la Sierra Chica se nuclea, reactiva e invierte una falla directa cretácica relacionada con la deformación que condujo a la apertura del océano Atlántico (Schmidt *et al.* 1995), coincidente con el lineamiento Pampeano Oriental (Fig. 1) que sería la sutura del ensamble del cratón del Río de la Plata con el terreno Pampia en tiempos precámbricos. Probablemente este último lineamiento y la falla actual sean la expresión superficial de la verdadera sutura que estaría en niveles estructurales más bajos de la litósfera, detectada geofísicamente (Booker *et al.* 2004, Gilbert *et al.* 2010).

## CONSIDERACIONES ACERCA DE LA EDAD DEL FALLAMIENTO

La edad de la última deformación andina en la falla de la Sierra Chica depende de la edad que se asigne a los cenoglomerados cabalgados por el basamento. Por correlación con rocas similares de las cercanías del dique Los Molinos (Castellanos 1944, 1951) y del valle de San Alberto ( $31^\circ 43' 10,64'' S$ ;  $65^\circ 00' 15,77'' O$ ), la edad sería Pleistoceno medio a tardío. No obstante, mediante observaciones geomorfológicas y por los horizontes de suelos que afecta en Potrero de Garay, se puede considerar que esta falla tendría desplazamientos muy recientes (Holoceno?).

Dado que el evento de deformación A se reconoce claramente en los niveles arcillosos del plano de falla en Santa Rosa, Kraemer *et al.* (1988) sugieren que sería el último episodio de movimiento de la estructura, por lo que su edad sería post Plioceno (Pleistoceno temprano?). El evento B aparece representado en el basamento cabalgante relativamente alejado del plano de falla y se considera como un evento previo de edad incierta (pre Plioceno tardío?). Según Schmidt *et al.* (1995) la actividad se habría desarrollado desde el Plioceno. Martino *et al.* (1995) propu-

sieron que estos dos eventos deformacionales habrían ocurrido a los  $\sim 0,8$  Ma (evento A) y a los  $\sim 2$  Ma (evento B).

A escala más regional, la intercepción de drenajes provenientes de la Sierra Grande (Fig. 2), por la Sierra Chica, ya sea desviándose o seccionándose (ríos antecedentes, p. ej.: Suquía y Anisacate), implica que el alzamiento de la Sierra Chica es posterior al alzamiento de la Sierra Grande (Gordillo y Lencinas 1979) y que la propagación de la deformación es hacia el este (*backward fault propagation*). Si bien se desconoce la edad del último movimiento de la Elevación Pampeana, se estima que su formación es un episodio que ha sido más reciente que la falla de la Sierra Chica. Otros autores (Costa y Vita Finzi 1996, Costa *et al.* 2001) opinan que se trataría de un levantamiento sincrónico holoceno pero con diferentes tasas de levantamiento.

Por otro lado, tomando en cuenta las diferentes edades que presentan los depósitos del bloque del piso de la falla de la Sierra Chica, que se hacen más jóvenes hacia el sur, se sugeriría una cierta propagación de la falla también en ese sentido. Sin embargo, es una cuestión abierta dado que en algunos lugares podrían estar erosionados los depósitos más nuevos, a lo que se suma una gran imprecisión en el fechado disponible para las unidades sedimentarias afectadas por la falla.

## DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN GEOBAROMÉTRICA DE LA SIERRA CHICA A LOS $31^{\circ} 36'$ DE LATITUD SUR

A la latitud de Alta Gracia ( $31^{\circ} 36'$  S, Fig. 3a), la traza de la falla de la Sierra Chica presenta una inflexión convexa hacia el oeste (saliente) que se continúa hacia el sur en un tramo que puede considerarse recto hasta el área de Potrero de Garay. En este sector, se interpreta que la dirección de transporte tectónico habría sido hacia el oeste y prácticamente ortogonal al plano de falla (Fig. 3a), por lo que las componentes de desplazamiento de rumbo serían despreciables. Los afloramientos

de rocas sedimentarias cretácicas más cercanos se encuentran hacia el este, en los alrededores de Despeñaderos.

El basamento metamórfico aflorante en los bloques exhumados a ambos lados de la falla de la Sierra Chica, a la latitud considerada, está compuesto por litologías similares y con el mismo estilo estructural, como se muestra en la sección geológica A-A' (Fig. 3b, Martino *et al.* 2010). Los valores medios de presión metamórfica calculados para los gneises de alto grado que afloran en ese sector son de 7,8 y 7,4 kb al oeste y este de la falla respectivamente para el pico metamórfico M2 (Fig. 5a) y de 7,3 y 6,0 kb respectivamente para el evento retrógrado M3 (Martino *et al.* 2010). El evento M2 se asigna regionalmente a una edad cámbrica temprana (Rapela *et al.* 1998, Siegesmund *et al.* 2010). Se desconoce la edad del evento M3, pero puede estimarse que la descompresión y enfriamiento hasta condiciones de grado medio habrían ocurrido inmediatamente después del pico metamórfico (post cámbrico temprano).

Los valores de presión calculados para los eventos M2 y M3 indican que la sección actualmente expuesta del bloque oriental se habría encontrado a menor profundidad cortical que aquella correspondiente al bloque occidental, alcanzando  $\sim 5$  km de diferencia para M3. El rechazo vertical (*throw*) actual de la falla de la Sierra Chica a la latitud considerada es de  $\sim 200$  m (Fig. 5b). Aproximadamente esa misma diferencia de altura se encuentra entre las distintas muestras consideradas en la sección ( $\pm 250$  m, Fig. 3b).

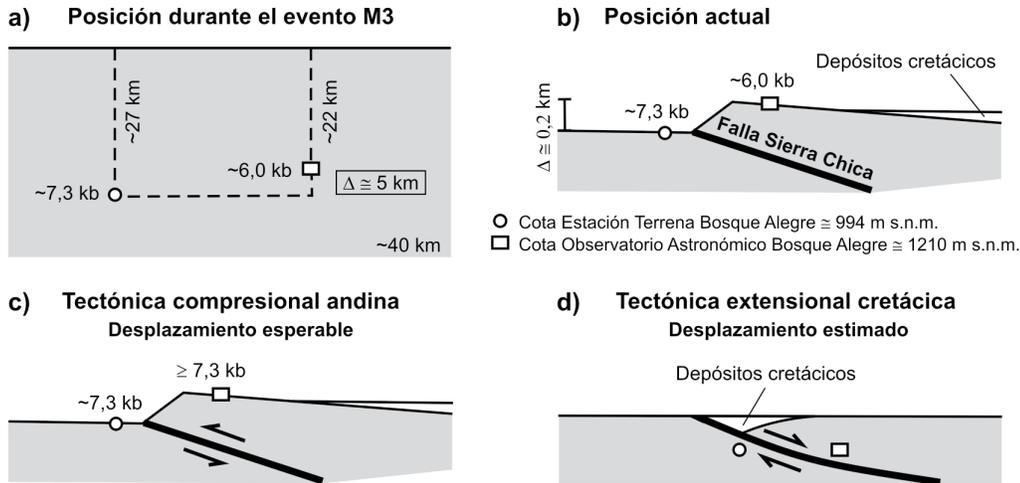
Por efectos únicamente de la compresión andina, sería esperable que el desplazamiento terciario de la falla de la Sierra Chica hubiera exhumado, en el techo de la falla, bloques con valores de presión mayor o igual a los del bloque del piso (Fig. 5c). Este sería el caso si no se consideraran los efectos de la tectónica extensional preandina.

En el área de la sección estudiada, luego de los eventos metamórficos, los efectos de deformación más importantes habrían sido producidos por la tectónica extensional cretácica. En las sierras de Córdo-

ba, la deformación Oclóyica habría invertido el sistema metamórfico poniendo bloques de mayor grado sobre bloques de menor grado (Martino 2003). Luego, se habría producido un largo proceso de exhumación iniciado en el Ordovícico tardío - Silúrico temprano (Steenken *et al.* 2010). Sin embargo, en el área de la sección estudiada, no se encuentran fajas de deformación dúctil o frágil que puedan asignarse al Paleozoico temprano a medio. En cuanto a la tectónica extensional del Carbonífero-Triásico, ésta solamente habría afectado el margen occidental de las sierras de Córdoba. Por estas razones, entre los efectos de la tectónica preandina, en este trabajo se han considerado primordialmente los producidos por la extensión cretácica.

Teniendo en cuenta que la cuenca cretácica habría estado formada por una serie de hemigrábenes abiertos hacia el este y que algunos tramos de la falla de la Sierra Chica habrían constituido la falla directa principal que controló dichos hemigrábenes (*detachment fault*), puede deducirse que la tectónica extensional preandina habría desplazado relativamente bloques más profundos al oeste, dejando los menos profundos hacia el este (Fig. 5d).

Según los datos geobarométricos de los bloques exhumados, habría valores de rechazo vertical de entre  $\sim 5$  km (latitud de Alta Gracia,  $31^{\circ} 36'$  S) y  $\sim 10$  km (latitud de La Calera,  $31^{\circ} 21'$  S, datos no publicados). Actualmente, a la latitud de Alta Gracia, a pesar de estar conectados los bloques del techo y del piso por la falla inversa de la Sierra Chica, todavía se mantiene una diferencia geobarométrica entre ambos bloques de  $\sim 5$  km. Se interpreta que esa diferencia sería un efecto de la deformación extensional cretácica (Martino *et al.* 2011, Fig. 5d), no compensado por la contracción andina. Los valores de rechazo calculados permiten estimar espesores sedimentarios cretácicos de  $\sim 5000$  m, valores similares a los encontrados a través de perforaciones en cuencas aledañas (Chebli *et al.* 2005, Webster *et al.* 2004). Esta es una estimación con los datos geológicos que se disponen hasta el momento.



**Figura 5:** Esquemas interpretativos. a) Posición cortical calculada para el evento metamórfico M3 post-cámbrico. b) Posición actual de los bloques exhumados a ambos lados de la falla de la Sierra Chica a la latitud de  $31^{\circ}36'S$ . c) Desplazamiento esperable de los bloques del piso y del techo de la falla por efectos de la tectónica compresional andina, sin considerar los efectos de la tectónica extensional previa. d) Desplazamiento estimado por efecto de la tectónica extensional cretácica. Ver explicación en el texto.

## CONCLUSIONES

La deformación frágil andina que produjo la falla de la Sierra Chica habría sido controlada parcialmente por estructuras previas como la foliación metamórfica pampeana  $S_2$ , penetrativa a escala regional en todos los bloques del basamento. La fábrica  $S_2$  actuó en algunos lugares como plano principal de la falla, mientras que en otros,  $S_2$  es cortada con bajo ángulo por la falla.

Otro control importante sobre la configuración de la falla de la Sierra Chica está dado por la tectónica extensional cretácica que produjo la apertura del océano Atlántico, ya que algunos tramos de la falla se nuclean, reactivan e invierten una falla directa previa.

La traza actual de la falla de la Sierra Chica presenta tramos rectos, de alto ángulo de buzamiento ( $\sim 50^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ) y vinculados con depósitos cretácicos, que son interpretados como el resultado de la reactivación de fallas directas previas, y tramos curvos de bajo ángulo ( $\sim 30^{\circ}$ ), que no se asocian a ningún depósito en particular, que serían nuevas fallas inversas originadas por la tectónica terciaria.

La falla de la Sierra Chica está afectada por una serie de fajas miloníticas antiguas, oblicuas al rumbo general. Cuando se produjo la compresión terciaria, dichas fajas fueron reactivadas como fallas de deslizamiento de rumbo dextral, con componente extensional (cizalla oblicua divergente = transtensiva) formando los

lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho.

Los tramos curvos, limitados por los lineamientos oblicuos, producen la segmentación general de la falla de la Sierra Chica en al menos tres grandes láminas de corrimiento. Durante la compresión terciaria, esas láminas de corrimiento se habrían desplazado en sentido NNO ( $\sim N 330^{\circ}$ ), mientras los lineamientos oblicuos actuaban como rampas laterales. La forma convexa se debería al efecto del fallamiento inverso de bajo ángulo asociado a la expansión de la parte frontal de la lámina de corrimiento.

Las diferencias geobarométricas actuales ( $\sim 5000$  m) entre los bloques exhumados a ambos lados de la falla de la Sierra Chica, a la latitud de Alta Gracia ( $31^{\circ} 36' S$ ), todavía reflejarían los efectos de la tectónica extensional cretácica, que no fueron compensados por la inversión terciaria.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado con aportes de los proyectos PICT-R N° 179 (FONCYT), PIP 6310 (CONICET) y I500 (SECYT-UNC). Los autores agradecen a Antonio Castro (Departamento de Geología, Universidad de Huelva, España) por facilitar el acceso a la microsonda de electrones. Se agradece también al árbitro Dr. Alejandro Demichelis y la revisión editorial de la Dra. Silvia Japas, por los valiosos comentarios y sugerencias que permitieron enriquecer y mejorar este trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Anzil, P.A. 2009. Metamorfismo, deformación y evolución tectónica de rocas ultramáficas y su encajonante metamórfico asociado en la Sierra Chica Central, Córdoba, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 336 p., Córdoba.
- Bodenbender, G. 1929. Triásico y Terciario de la falda oriental de la Sierra de Córdoba. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 31: 73-139, Córdoba.
- Bohlen, S.R. y Liotta, J.J. 1986. A barometer for garnet amphibolites and garnet granulites. *Journal of Petrology* 27: 1025-1034.
- Bohlen, S.R., Wall, V.J. y Boettcher, A.L. 1983. Experimental investigations and geological applications of equilibria in the system FeO-TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *American Mineralogist* 68: 1049-1058.
- Bonalumi, A., Martino, R., Sfragulla, J.A., Carignano, C. y Tauber, A. 2005. Hoja Geológica 3363-I Villa María, Provincia de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Boletín 347, 74 p., Buenos Aires.
- Booker, J., Favetto, A. y Pomposiello, C. 2004. Low electrical resistivity associated with plunging of the Nazca flat slab beneath Argentina. *Nature* 429: 399-403.
- Castellanos, A. 1944. Paleontología estratigráfica de los sedimentos neógenos de la provincia de Córdoba. Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional del Litoral 23: 5-47.
- Castellanos, A. 1951. Un nuevo género de Esclerocliptino ("Isolinia") descubierto en el arauciano del Valle de Los Reartes (Sierras de

- Córdoba). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 6: 95-100.
- Chebli, G.A., Spalletti, L.A., Rivarola, D., de Elorriaga, E. y Webster, R.E. 2005. Cuencas cretácicas de la región central de la Argentina. En Chebli, G., Cortiñas, J., Spalletti, L., Legarreta, L. y Vallejo, E. (eds.) *Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina, 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Capítulo 9: 193-215, Buenos Aires.
- Costa, C.H. y Vita-Finzi, C. 1996. Late Holocene faulting in the southeast Sierras Pampeanas of Argentina. *Geology* 24: 1127-1130.
- Costa, C.H., Murillo, M.V., Sagripanti, G.L. y Gardini, C.E. 2001. Quaternary intraplate deformation in the southeastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Seismology* 5: 399-409.
- Dalla Salda, L.H. 1984. La estructura íntima de la Sierra de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39: 38-51.
- Dalla Salda, L.H. 1987. Basement tectonics of Southern Pampean Ranges. *Tectonics* 6 (3): 249-260.
- Demange, M., Baldo, E. y Martino, R. 1993. Structural evolution of the Sierra de Córdoba (Argentina). 2nd Symposium of Andean Geodynamic: 513-517, Oxford.
- Escayola, M., Ramé, G. y Kraemer, P. 1996. Caracterización y significado tectónico de las fajas ultramáficas de las Sierras Pampeanas de Córdoba. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 421-438, Buenos Aires.
- Forster, M. y Lister, G. 2006. Tectonic shuffle zones: lithosphere-scale movement zones that reverse their shear sense during orogenesis. Backbone of the Americas - Patagonia to Alaska, GSA Speciality Meetings, Abstracts with Programs 2: 113, Mendoza.
- Garzón, P. 1992. Petrografía y estructura metamórfica. Zona de La Bolsa y Embalse Los Molinos. Trabajo final, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 67 p., Córdoba.
- Gilbert, H.J., Richardson, T.J., Anderson, M.L., Alvarado, P.M., Martino, R.D., Beck, S.L., Zandt, G. y Gans, C. 2010. Active deformation in the Sierras de Córdoba: Observations from the Eastern Sierras Pampeanas seismic array. EOS Transactions AGU, The Meeting of the Americas 2010, Abstract S22A-05, Foz do Iguazu.
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1967. Geología y petrología del extremo norte de la Sierra de los Cóndores, Córdoba. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 46: 73-108, Córdoba.
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En Turner, J.C. (ed.) *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias: 577-650, Córdoba.
- Gromet, L.P., Otamendi, J.E., Miró, R.C., Demichelis, A.H., Schwartz, J.J. y Tibaldi, A.M. 2005. The Pampean orogeny: ridge subduction or continental collision? Gondwana 12 Conference, Academia Nacional de Ciencias, Abstracts: 185, Mendoza.
- Gross, W. 1948. Cuadro tectónico del valle de Punilla. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 3: 73-132.
- Jordan, T. y Allmendinger, R. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina. A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Kay, S.M. y Ramos, V.A. 1996. El magmatismo cretácico de las Sierras de Córdoba y sus implicancias tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 453-464, Buenos Aires.
- Koziol, A.M. 1989. Recalibration of the garnet-plagioclase-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>-quartz (GASP) geobarometer and applications to natural paragenesis. EOS Transactions, American Geophysical Union 70: 493.
- Kraemer, P. y Martino, R. 1993. La falla de la Sierra Chica, cabalgamiento de basamento sobre una cuña sedimentaria imbricada, Cosquín. 9° Reunión sobre Microtectónica, Actas: 13-14, Mendoza.
- Kraemer, P., Martino, R., Giambastiani, M. y Sfragulla, J. 1988. Análisis dinámico-cinemático preliminar de la Falla de Santa Rosa, Dpto. de Calamuchita, prov. de Córdoba. 5° Reunión de Microtectónica, Actas: 107-120, Córdoba.
- Kraemer, P., Escayola, M. y Martino, R. 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30° 40'LS - 32° 40'LS). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50: 47-59.
- Kraemer, P., Escayola, M. y Sfragulla, J. A. 1996. Dominios tectónicos Proterozoicos en las Sierras Pampeanas de Córdoba y su asociación a mineralización. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 239-248, Buenos Aires.
- Lencinas, A. y Timonieri, A. 1968. Algunas características estructurales del Valle de Punilla, Córdoba. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 195-208, Buenos Aires.
- Lister, G.S., Forster, M.A. y Rawling, T.J. 2001. Episodicity during orogenesis. *Geological Society of London, Special Publication* 184: 89-113.
- Lyons, P., Skirrow, R.G. y Stuart-Smith, P.G. 1997. Geology and metalogeny of the "Sierras Septentrionales de Córdoba". 1:250.000 map sheet. Geoscientific Mapping of the Sierras Pampeanas. Argentine-Australian Cooperative Project. Australian Geological Survey Organisation. Subsecretaría de Minería de la Nación (inédito), 132 p.
- Martino, R. 2003. Las fajas de deformación dúctil de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Una reseña general. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 549-571.
- Martino, R. y Fagiano, M. 1982. Los intrusivos menores de la Sierra Chica Sur de Córdoba. Trabajo Final, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 78 p., Córdoba.
- Martino, R.D. y Guerreschi, A.B. 2006. Extension-shortening cycles at San Carlos Massif (Sierras de Córdoba): a "pull-push" orogen at Eastern Pampean Ranges of Argentina? En Brown, M. y Piccoli, P.M. (eds.) *Granulites and Granulites 2006, Program and Abstracts*: 48, Brasilia.
- Martino, R., Kraemer, P., Escayola, M., Giambastiani, M. y Arnosio, M. 1995. Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba a los 32° LS. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50 (1-4): 60-77.
- Martino, R.D., Guerreschi, A.B. y Anzil, P.A. 2010. Metamorphic and tectonic evolution at the 31° 36' S across a deep crustal zone from the Sierra Chica of Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of South America Earth Sciences* 30: 12-18.
- Martino, R.D., Carignano, C.C. y Guerreschi, A.B. 2011. Influencia de la tectónica Preandina sobre la tectónica Andina: El caso de la falla de la Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas: 204-205, Neuquén.
- Massabie, A. 1976. Estructura cenozoica entre Charbonier y Cosquín, provincia de Córdoba. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 195-208, Tucumán.
- Massabie, A. 1987. Neotectónica y sismicidad en

- la región de las Sierras Pampeanas orientales, Sierras de Córdoba, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 271-274, Tucumán.
- Massabie, A. y Szlafsztein, C. 1991. Condiciones geomecánicas y edad del fallamiento neotectónico en las Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Actas 6: 154-168.
- Northrup, C.J., Simpson, C. y Gromet, P. 1998. Early paleozoic history of the eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Development of a Cambrian arc and accretionary prism along the margin of Gondwana. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 400-403, Buenos Aires.
- Painceyra, R. 1998. Estudio estructural de la Falla de Punilla en Villa Carlos Paz, Sierra Chica de Córdoba, Argentina. 10° Congreso Geológico Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 183-188, Buenos Aires.
- Pastore, F. 1932. Hoja 20i -Córdoba- del Mapa Geológico de la Argentina, región oriental y media de la Sierra de Córdoba. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 36, 67 p., Buenos Aires.
- Pérez, M.B., Rapela, C. y Baldo, E. 1996. Geología de los granitoides del sector septentrional de la Sierra Chica de Córdoba. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 493-505, Mendoza.
- Poiré, D., La Riestra, C., Villegas, M. y Sánchez, M.L. 1988. Análisis morfométrico de las psefitas basales del grupo Sierra de los Cóndores, en el área del Embalse de Río Tercero, prov. de Cba. 2° Reunión de Sedimentología, Actas: 217-221, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: a collisional history. Episodes 11: 168-174.
- Ramos, V.A. 1995. Sudamérica; un mosaico de continentes y océanos. Ciencia Hoy 6 (32): 24-29.
- Ramos, V., Munizaga, F. y Kay, S.M. 1991. El magmatismo cenozoico a los 33° S de latitud: geocronología y relaciones tectónicas. 6° Congreso Geológico Chileno, Actas: 892-896, Viña del Mar.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C.M. 1998. The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. En Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (eds.) The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, London, Special Publication 142: 181-217.
- Richardson, T., Ridgway, K., Martino, R.D., Gilbert, H.J., Anderson, M.L., Carignano, C. y Enkelmann, E. 2009. Flat-slab subduction and continental deformation: an integrated geophysical and geological investigation of basement uplifts within the eastern Sierras Pampeanas, Argentina. EOS, Transactions, American Geophysical Union, Fall Meeting Supplement, Abstract T42B-06, San Francisco, California.
- Rossello, E.A y Mozetic, M.E. 1999. Caracterización estructural y significado geotectónico de los depocentros cretácicos continentales del centro-oeste argentino. Boletim do 5° Simpósio o Cretáceo do Brasil: 107-113, UNESP - Campus de Rio Claro / São Paulo.
- Sánchez, M.L., Villegas, M.B. y Poiré, D.G. 1990. Paleogeografía del Cretácico inferior en el área de Sierra de los Cóndores, Provincia de Córdoba. 3° Reunión de Sedimentología, Actas: 235-246, San Juan.
- Schlagintweit, O. 1954. Una interesante dislocación en Potrero de Garay (Valle de Calamuchita), Sierra Chica y Grande de la Provincia de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 9: 135-154.
- Schmidt, C.J., Astini, R.A., Costa, C.H., Gardini, C.E. y Kraemer, P.E. 1995. Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation, and neogene inversion, Southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Tankard, A.J., Suárez, R. S., y Welsink, H.J. (eds.) Petroleum basins of South America. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 341-358.
- Siegesmund, S., Steenken, A., Martino, R., Wemmer, K., López de Luchi, M., Frei, R., Presnyakov, S. y Guerreschi, A. 2010. Time constraints on the tectonic evolution of the Eastern Sierras Pampeanas (Central Argentina). International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) 99: 1199-1226.
- Simpson, C., Whitmeyer, S., De Paor, D.G., Gromet, L.P., Miro, R., Krol, M.A. y Short, H. 2001. Sequential ductile through brittle reactivation of major fault zones along the accretionary margin of Gondwana in Central Argentina. Geological Society, London, Special Publications 186: 233-255.
- Sisto, F., Sánchez, M. y Pérez Posio, C. 1993. Dinámica y cinemática cenozoica del frente de fracturación Puesto Viejo - La Cantera, Sierra de Los Cóndores, Provincia de Córdoba, Argentina. 9° Reunión sobre Microtectónica, Actas: 15-16, Mendoza.
- Sisto, F., Sánchez, M., Pérez Posio, C. y Toro, E. 1994. La tectónica compresiva cenozoica en el extremo sur de la sierra Chica, Provincia de Córdoba, Argentina. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 174-178, Concepción.
- Spear, F. S. y Kohn, M. J. 1999. Program Thermobarometry, Version 2.1. GTB Program Manual, 42 p.
- Steenken, A., Wemmer, K., Martino, R.D., López de Luchi, M.G., Guerreschi, A.B. y Siegesmund, S. 2010. Post-Pampean cooling and the uplift of the Sierras Pampeanas in the west of Córdoba (Central Argentina). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen 256 (2): 235-255.
- Stelzner, A. 1875. Comunicaciones sobre la geología y mineralogía de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Boletín 1: 1-12.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T. y Cerdan, J. 1989. Mesozoic extension and deformation of Argentine sedimentary basins. En Tankard, A.J. y Balkwill, H.R. (eds.) Extensional tectonics and stratigraphy in the North Atlantic margin. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46: 599-614.
- Wagner-Manslau, A.F. 1988. Estudio geológico-estructural del Valle de Calamuchita entre Villa General Belgrano y Santa Rosa de Calamuchita. Trabajo final de licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 121 p., Buenos Aires.
- Webster, R.E., Chebli, G.A. y Fischer, J.F. 2004. General Levalle Basin, Argentina: a frontier lower cretaceous rift basin. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 88 (5): 627-652.
- Zuásqueta, J. 1992. Estructura y petrografía de un sector de la Sierra Chica de Córdoba, entre La Bolsa y el Embalse Los Molinos. Trabajo final, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 86 p., Córdoba.

Recibido: 20 de octubre, 2011  
Aceptado: 17 de febrero, 2012