

# *Las Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina*

## *Lower Paleozoic Orogenies at the proto-andean margin of South America, Sierras Pampeanas, Argentina*

C. W. RAPELA<sup>1</sup>, C. CASQUET<sup>2</sup>, E. BALDO<sup>3</sup>, J. DAHLQUIST<sup>4</sup>, R. J. PANKHURST<sup>5</sup>,  
C. GALINDO<sup>2</sup>, J. SAAVEDRA<sup>6</sup>

### RESUMEN

El margen proto-andino de Gondwana ha sido el escenario de al menos dos orogénesis desde el desmembramiento del supercontinente Rodinia al final del Neoproterozoico, hasta el reagrupamiento de las masas continentales en Pangea al final del Carbonífero. Ambas orogénesis van precedidas de un periodo de apertura oceánica y sedimentación en márgenes pasivos y culminan en subducción oceánica con desarrollo de arcos-magmáticos de tipo cordillerano y colisión de tipo continente-continente. La primera, orogénesis Pampeana, tiene lugar en el Cámbrico, en un intervalo de tiempo relativamente pequeño (535-520 Ma: etapas de subducción-arco magmático y colisión), y culmina con la acreción ortogonal de un pequeño terreno continental (terreno Pampeano) de naturaleza semiautóctona. Por el contrario, la orogénesis Famatiniana, tiene lugar en un periodo de

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, Calle 1, n° 644, 1900 La Plata, Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

<sup>3</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

<sup>4</sup> Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas La Rioja (CRILAR). Entre Ríos y Mendoza (5301), Anillaco, La Rioja, Argentina.

<sup>5</sup> British Antarctic Survey, Isotope Geosciences Laboratory, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, Gran Bretaña

<sup>6</sup> CSIC, Instituto de Agrobiología y Recursos Naturales, Salamanca, España.

tiempo más dilatado, durante el Ordovícico y Silúrico (499-435 Ma). Durante esta orogénesis tuvo lugar la acreción de un terreno exótico a Gondwana, el terreno Precordillera (460 Ma). Este terreno está constituido por un basamento grenvilliano (aprox. 1.1Ga) y una cubierta sedimentaria de plataforma carbonatada de edad Cámbrico-Ordovícico. La acreción al margen de Gondwana fue probablemente oblicua, y el margen oriental del terreno Precordillera fue afectado por fuerte deformación y metamorfismo regional. El basamento de los cinturones andinos del Paleozoico Superior y Mesozoico situados al oeste de la Precordillera, parece estar constituido también por rocas metamórficas grenvillianas; con lo cual, gran parte de los Andes centrales entre los 26°S y 34°S se encuentra asentado sobre terrenos alóctonos. En cualquier caso, la paleogeografía de las masas continentales involucradas en la colisión de los terrenos exóticos durante el Paleozoico Inferior no se conoce bien todavía.

**Palabras clave:** Orogénesis Pampeana, orogénesis Famatiniana, terreno Precordillera, Sierras Pampeanas, Argentina

## ABSTRACT

The proto-Andean margin of Gondwana was the site of at least two orogenies between the break-up of the Rodinia supercontinent, at the end of the Neoproterozoic, and the new continental amalgamation of Pangea at the end of the Carboniferous. Both orogenies were preceded by a period of ocean opening and passive margin sedimentation and ended with ocean subduction, development of cordilleran-type magmatic arcs and continent-continent collision. The Pampean orogeny took place in a relatively short period of time in the early Cambrian (535-520 Ma; subduction – magmatic arc stage and continental collision), and ended with the orthogonal accretion of a semiautochthonous microcontinental fragment - the Pampean Terrane- to the Gondwana margin. On the other hand, the Famatinian orogeny spanned a longer period of time in the Ordovician and Silurian (499-435 Ma). During this orogeny the exotic Precordillera Terrane was accreted to the margin of Gondwana (460 Ma). This terrane, probably of Laurentian provenance, consists of a Grenvillian basement (1.1 Ga) and a Lower Paleozoic sedimentary cover of the carbonate platform type. Accretion was probably oblique to the Gondwana margin, and the eastern margin of the Precordillera Terrane was thoroughly affected by Famatinian deformation and regional metamorphism. The basement to the Upper Paleozoic and Mesozoic Andean belts, situated to the west of the Precordillera, also appears to be formed by Grenvillian metamorphic rocks, so that the greater part of the Central Andes between 26°S and 34°S are established upon allochthonous terranes. The Lower Paleozoic paleogeography of continental masses involved in the collision is not still fully understood.

**Keywords:** Pampean orogeny, Famatinian orogeny, Precordillera Terrane, Sierras Pampeanas, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

En el noroeste de Argentina, sur de Bolivia, noreste de Chile y suroeste de Perú afloran restos de un basamento ígneo-metamórfico sobre el que se apoya una cobertera de rocas de edad mesozoica y cenozoica, afectadas intensamente por la orogénesis Andina. La geología de este basamento es el resultado, a su vez, de al menos dos episodios tectonotermales superpuestos de edad Paleozoico Inferior, las orogénesis Pampeana y Famatiniana respectivamente, consecuencia de una compleja historia de subducciones y acrecciones continentales en el margen Pacífico de Gondwana.

La provincia geológica de las Sierras Pampeanas, ubicada en el sector central y noroeste de Argentina (Fig. 1), constituye un extenso afloramiento de basamento pre-andino en el que desde hace tiempo se han reconocido y definido las dos orogénesis mencionadas anteriormente (Aceñolaza y Toselli, 1973). Estas sierras deben su elevación actual al funcionamiento de grandes fallas inversas de gran ángulo activadas durante el Terciario, en el antepaís del cinturón andino. El margen de subducción andino coincide en este sector (entre los 27° 30' y 33° 00' S) con una notable horizontalización de la placa de Nazca, que provoca una mayor compresión en el antepaís y el desarrollo de una actividad volcánica a más de 700 km de la actual fosa submarina, ubicada en la costa de Chile (Isacks, 1988; Jordan y Allmendinger, 1986; Kay y Gordillo, 1994) (Fig. 1).

Los trabajos de cartografía geológica, petrografía, química mineral, geoquímica y geocronología isotópica, realizados por diferentes grupos de trabajo e investigadores en los últimos diez años, han permitido precisar la localización geográfica de los dos orógenos así como su edad, historia tectonotermal, y contexto geodinámico de los mismos. Parte de estos trabajos han sido compilados en Pankhurst y Rapela (eds.), (1998), y en diversas publicaciones posteriores (Baldo *et al.*, 1999, Varela *et al.*, 2000, Sato *et al.*, 1999, Pankhurst *et al.*, 2000, Casquet *et al.*, 2001a, entre otras). Estos estudios confirman que durante el período Neoproterozoico a Paleozoico Inferior-Medio, tuvieron lugar dos importantes episodios orogénicos: (a) Orogéno Pampeano, 535-520 Ma (Cámbrico Inferior); (b) Orogéno Famatiniano, 499-435 Ma (Cámbrico Superior a Silúrico Inferior; escala cronoestratigráfica de Gradstein y Ogg, 1996). Una contribución importante ha sido el reconocimiento del terreno exótico Precordillera, un probable fragmento de Laurentia con un basamento de edad Grenville (aprox 1.1 Ga), ubicado actualmente entre la Cordillera Frontal y las Sierras Pampeanas Orientales (Dalla Salda *et al.*, 1992, Astini *et al.*, 1995) (Fig. 1). Este terreno jugó un papel relevante en la evolución del margen proto-andino de Gondwana, ya que él mismo se habría aproximado y finalmente acrecionado al continente de Gondwana, durante la orogénesis famatiniana.

En este artículo se describen de manera sintética las características principales de las dos mencionadas orogénesis, en una transversal comprendida entre las latitudes 22° S y 33° S, así como las características esenciales del terreno Precordillera y de su acreción al borde de Gondwana (Fig. 1). Es importante mencionar que en el basamento de los cinturones orogénicos del Paleozoico Superior

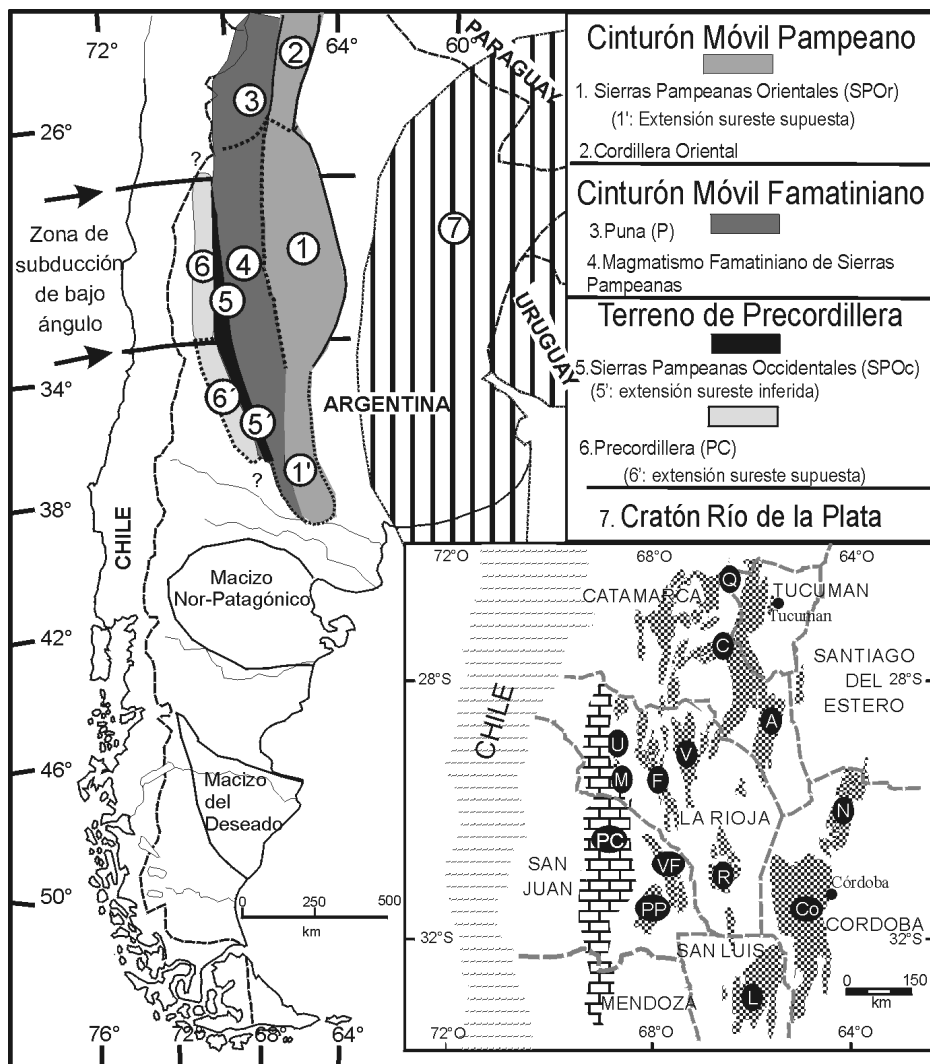


FIG. 1. Provincias geológicas del Paleozoico Inferior ubicada al este de los Andes del sur, elevada durante el Mioceno por efecto de la subducción a bajo ángulo de la placa de Nazca (Rapela *et al.*, 1998b). Acrónimos de las Sierras: A = Ancasti; C = Capillitas; Co = Córdoba; F = Famatina; L = San Luis; M = Maz; N = Norte de Córdoba; PP = Pié de Palo; PC = Precordillera; Q = Quilmes; R = Llanos de La Rioja y Chepes; U = Umango; V = Velasco; VF = Valle Fértil

FIG. 1. Early Paleozoic geological provinces in southern Andes, uplifted by back-thrusting during Miocene "flat-slab" Nazca plate subduction (Rapela *et al.*, 1998b). Main "Sierras" in this segment are: A = Ancasti; C = Capillitas; Co = Córdoba; F = Famatina; L = San Luis; M = Maz; N = Norte de Córdoba; PP = Pié de Palo; PC = Precordillera; Q = Quilmes; R = Llanos de La Rioja y Chepes; U = Umango; V = Velasco; VF = Valle Fértil

y Mesozoicos situados al oeste de la Precordillera, también se han encontrado edades grenvillianas (Ramos y Basei, 1997). Sin embargo, no se sabe todavía si este basamento fue un terreno exótico independiente acrecionado en tiempos siluro-devónicos al margen gondwánico (terreno Chilena), tal como han propuesto Ramos *et al.* (1996) y Ramos y Basei (1997), o bien se trata de un segmento o segmentos paratúctonos del propio terreno Precordillera amalgamados a posteriori durante la prolongada y compleja colisión de este último (Rapela *et al.*, 1998b).

En el Devónico se emplazan en las Sierras Pampeanas orientales, grandes batolitos post-famatinianos constituidos por granitos ricos en K (Batolitos de Achala y Cerro Áspero) que marcan una nueva etapa de reciclado cortical (orogénesis Achaliana en la terminología de Sims *et al.* 1998). Este evento tectono-termal no va a ser considerado en este trabajo pues todavía se dispone de poca información geológica y geocronológica sobre el mismo.

## EL ORÓGENO PAMPEANO

Este orógeno se localiza en las Sierras Pampeanas Orientales y Cordillera Oriental. Los afloramientos de rocas sedimentarias, metamórficas y magmáticas correspondientes a este ciclo (con edades comprendidas entre los 560-520 Ma) Se localizan en una franja de aproximadamente 250 km de ancho, que se pierde bajo los depósitos cenozoicos de la llanura pampeana (Figs. 1 y 2).

Entre los 22° S y 27° S, el Cinturón Pampeano está representado por la Formación Puncoviscana (Aceñolaza y Toselli 1973), una potente secuencia de turbiditas (pelítico-samítica) con cantidades subordinadas de carbonatos y vulcanitas, afectadas por un metamorfismo de muy bajo grado, (Jezek, 1990). A partir del contenido en trazas fósiles se ha podido determinar que la edad de esta formación es Precámbrico Superior (Vendiense) a Cámbrico Inferior basal (Tommotiense) (Durand, 1996). La geocronología K-Ar de filosilicatos (Adams *et al.*, 1990) y U-Pb de circones detríticos (Lork *et al.*, 1990) ha permitido precisar que la sedimentación tuvo lugar entre 530 y 560 Ma. Los depósitos de la Formación Puncoviscana representan la sedimentación proximal de margen pasivo en el borde sur occidental del Gondwana. Esta serie metasedimentaria, muy deformada, es intruída por granitos cámbricos y cubierta en discordancia por sedimentos de plataforma de edad Cámbrico Medio a Superior, lo cual sugiere el desarrollo de un evento tectotermal durante el Cámbrico Medio (Rossi *et al.*, 1992; Durand, 1996).

Desde los 27° y hasta los 33°S solamente afloran rocas metamórficas posiblemente equivalentes a las Formación Puncoviscana. Predominan los metasedimentos de bajo grado, mientras que rocas metamórficas de alto grado (neises y migmatitas) y diversos tipos de granitoides de edad Cámbrico Inferior a Medio, se hacen más frecuentes hacia el sur y el este, caracterizando al basamento pampeano de las Sierras de Córdoba.

En el borde oriental de las Sierras de Córdoba se emplazaron granitoides cal-

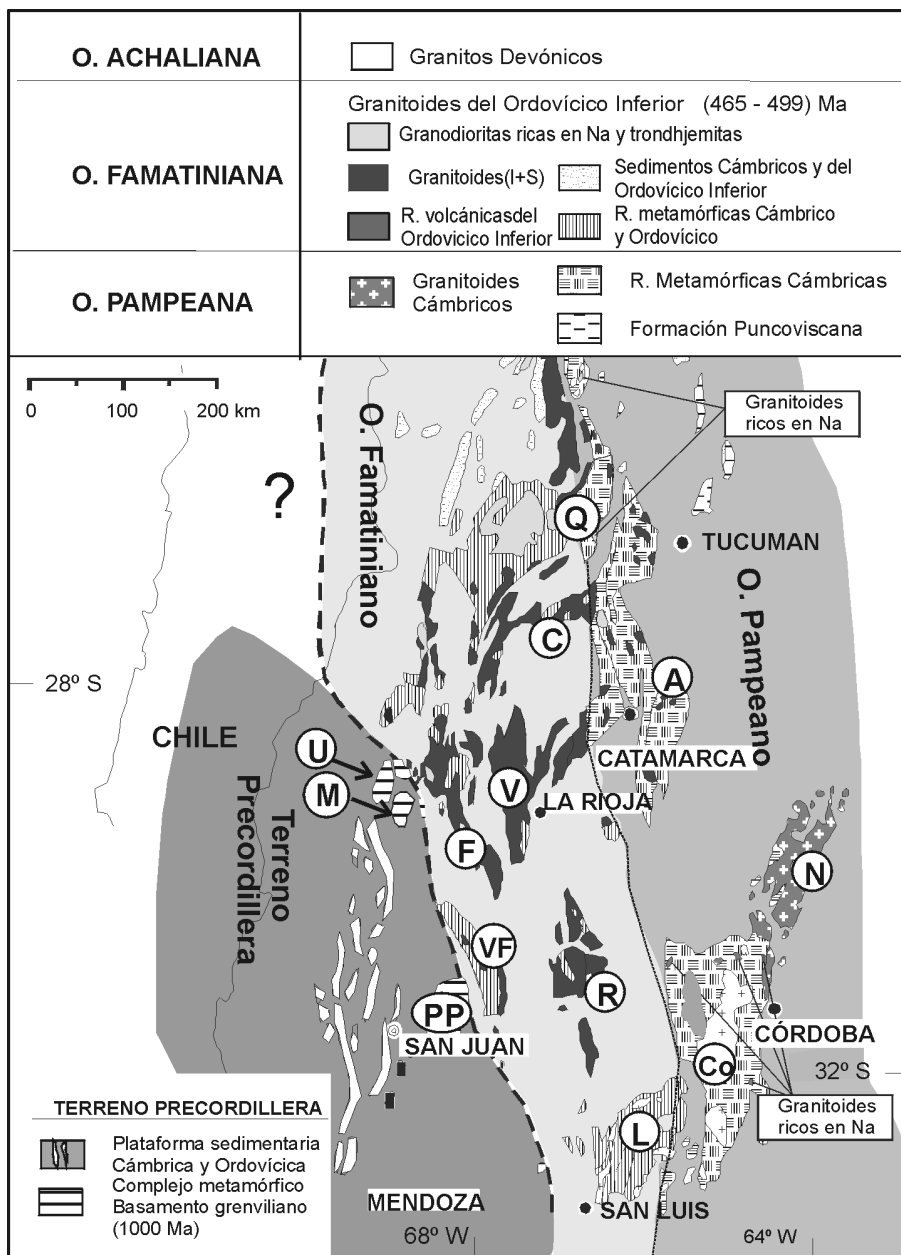


FIG. 2. Disposición relativa de los orógenos Famatiniano y Pampeano y del Terreno Precordillera. Acrónimos: como en Fig. 1

FIG.2. Relative position of the Famatinian and Pampean orogens and the Precordillera Terrane. Acronyms as in figure 1.

coalcalinos y lavas dacítico-riolíticas (Lira *et al.*, 1996), para los que se ha determinado una edad de  $530 \pm 4$  Ma (método convencional U-Pb sobre circones, a partir de tres plutones; Rapela *et al.*, 1998a). Este magmatismo se continúa hacia el sur, en el ámbito de las Sierras Chicas de Córdoba, representado aquí por ortogneises de grado alto (Rapela *et al.*, 1998a), definiendo en conjunto un arco magmático ligado a subducción que representa la finalización de la etapa de sedimentación de margen pasivo y el cierre del océano puscoviscano.

Posteriormente a la etapa del magmatismo de arco, tiene lugar un engrosamiento cortical, resultado de una colisión continental, que lleva a los sedimentos puncoviscanos y granitoides en algunos sectores, a condiciones de la facies de las granulitas ( $P = 8,6 \pm 0,8$  kb,  $T = 810 \pm 50$  °C; Baldo *et al.*, 1998) y a la formación de migmatitas regionales, (datadas en  $522 \pm 8$  Ma, U-Pb SHRIMP en monacita, Rapela *et al.*, 1998a), generadas en gran medida durante la etapa de descompresión post-engrosamiento ( $P = 5,7 \pm 0,4$  kb,  $T = 820 \pm 25$  °C), que culminan con la formación de granitos anatécicos, fuertemente peraluminosos, (con cordierita + sillimanita) como los observados en la Sierra de Córdoba (Rapela *et al.*, 1998a).

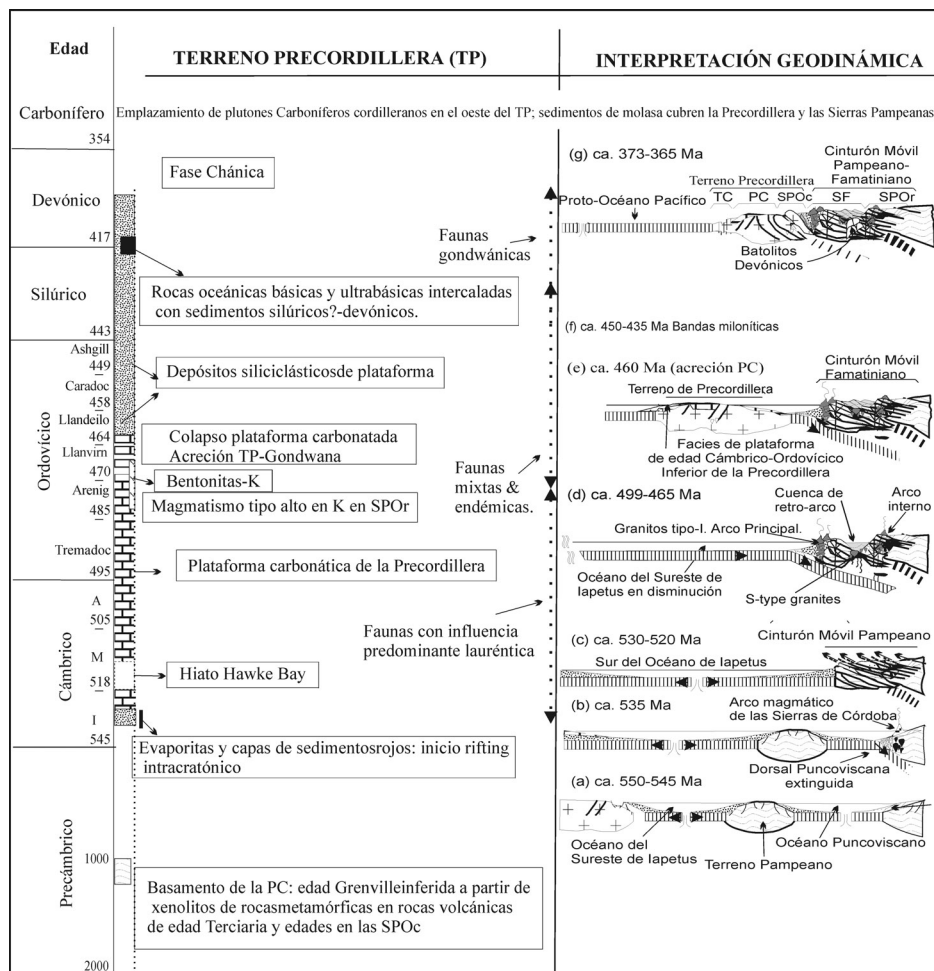
Edades herencia U-Pb SHRIMP, de 600 a 1400 Ma reconocidas en los núcleos detríticos de circones provenientes de metapelitas de bajo grado, migmatitas y granitoides anatécicos pampeanos, indican que las cuencas sedimentarias recibieron un aporte detrítico de una fuente de edad Proterozoico Medio a Superior de afinidades gondwánicas (Sims *et al.*, 1998, Rapela *et al.*, 1998a).

La etapa orogénica pampeana ha sido interpretada como el resultado de una colisión de edad Cámbrico Inferior a Medio, entre el comparativamente pequeño terreno Pampeano semi-autóctono y el margen de Gondwana (Rapela *et al.*, 1998 a,b) (Fig. 3).

## EL ORÓGENO FAMATINIANO

Después de la acreción del terreno Pampeano, el margen proto-Pacífico se convierte en un margen pasivo hasta el Ordovícico Inferior. Durante el período comprendido entre los 520 y 499 Ma., no se registra ninguna evidencia tectotermal importante.

El cinturón orogénico Famatiniano se extiende desde la Puna en el norte, hasta la Sierra de San Luis en el sur, incluyendo Sierras Pampeanas orientales tan importantes como el Sistema de Famatina, la Sierra de Valle Fértil y las del Velasco, los Llanos, Chepes y Ulapes, ubicadas en buena parte en las provincias de San Juan y de la Rioja. También las Sierras Pampeanas occidentales (Sierras de Pie de Palo, Maz y Umango) muestran evidencias de esta orogénesis. Es por lo tanto el famatiniano, el orógeno mejor expuesto de los dos, aunque los desplazamientos a favor de las grandes fallas, en buena parte andinas, que lo compartimentan, hacen difícil la reconstrucción precisa de su arquitectura original. El orógeno Famatiniano se ubica al oeste del Pampeano (Fig. 2), aunque la evidencia geológica y las edades herencia en los núcleos de circones indican que



este último orógeno se encuentra probablemente presente como basamento del primero en todas las Sierras Pampeanas orientales en las que la orogénesis Famatiniana es patente. Sin embargo en las Sierras Pampeanas occidentales correspondientes al terreno Precordillera, el basamento es significativamente distinto y de edad Grenville (aprox. 1,1 Ga). Entre ambos dominios del orógeno famatiniano discurre una sutura críptica cuya ubicación precisa es todavía desconocida, aunque en base a determinaciones recientes U-Pb SHRIMP en circones (Baldo *et al.*, 2001) tendría que situarse bajo los sedimentos cenozoicos de la cuenca de San Juan y del Bermejo, entre las sierras de Pie de Palo y de Valle Fértil.



Edad	MARGEN PACÍFICO DE GONDWANA		
Carbonífero 354	- Intrusiones del Carbonífero Inferior. Plutones de intra-placa enriquecidos en Tierras Raras (grupo G3b).		O. A C H A L A L I A N A
Devónico 417	- Bandas miloníticas y plutonismo granítico dominado por facies porfídicas ricas en K (grupo G3a: p.ej., Batolitos de Achala y Cerro Aspero)		
Silúrico	<b>Cinturón móvil Famatiniano</b>	<b>Antepais Pampeano</b>	
443	<b>Fase compresional Oclóyica</b>		
Ashgill 449	<b>f-</b> Cierre de la cuenca de retroarco (P) y colisión del Terreno Precordillera.	<b>e, f.</b> Pliegues verticales, D3- foliación S3 y zona de cizalla dextral en las SPOr. Metamorfismo de grado bajo	O.
Caradoc 458	<b>e-</b> Zonas de cizalla ( inversas y desgarres dextrales)		F A M A T I N I A N A
Ordovícico	<b>d-</b> Subducción Famatiniana:		
Llandeiló 464	- Turbiditas volcanoclásticas (P)	- Arco magmático interno (Magmatismo TTG) (en CO y SPOr) Metamorfismo de grado bajo	
Llanvirn 470	- Arco magmático externo (magmatismo tipo I)(P, SF y SPOr)		
Arenig 485	- Apertura cuenca de retroarco		
Tremadoc 495	- Estructuras transpresivas asociadas con metamorfismo de baja-P/T.		
Cámbrico	- Sedimentos de edad Cámbrico Superior cubren la Fm. Puncovisca. Vulcanismo alcalino (SPOr y P) Colapso extensional		O.
A 505			
M 518	<b>c-</b> Colisión del Terreno Pampeano: anaxis generalizada y granitos tipo-S (grupo G1b) en las SPOr. Deformación sin-metamórfica D2, foliación regional S2. Metamorfismo de grado bajo (CO, SF) a grado alto (SPOr).		P A M P E A N A
I 545	<b>b-</b> Subducción Pampeana: Arco magmático tipo I <b>a-</b> Apertura de los océanos Puncoviscano y Iapetus SE: turbiditas de margen pasivo en la CO y Puna oriental (Formación Puncoviscana); equivalentes meridionales en SF y SPOr.		
Precámbrico	<b>Cratón del Río de la Plata (2 Ga)</b>		
1000			
2000			

FIG. 3. (esta página y la precedente) Secuencia de eventos orogénicos de edad Paleozoica en el margen protoandino de Gondwana (modificado de Rapela *et al.*, 1998b). Evolución tectono-magmática y geocronología de Gondwana (Pankhurst *et al.*, 1998; Rapela *et al.*, 1998a, 1999); escala temporal propuesta por Gradstein y Ogg (1996). La secuencia sedimentaria, fauna y fases tectónicas en la Precordillera ha sido simplificada a partir de datos de Astini *et al.* (1995), Benedetto (1998) y Keller *et al.* (1998); estadios del Terreno Precordillera (Keller *et al.*, 1998). Acrónimos: CO =Sierras de Córdoba; P = Puna; PC = Precordillera; SF = Sierra de Famatina; SPOc = Sierras Pampeanas Occidentales; SPOr = Sierras Pampeanas Orientales; TC = Terreno de Chilenia; TP = Terreno Precordillera

FIG. 3. (this page and the previous one) Sequence of Paleozoic orogenic events in proto-Andean margin of Gondwana (Rapela *et al.*, 1998b, modified) Tectono-magmatic evolution and geochronological control for Gondwana are from Pankhurst *et al.*, 1998; Rapela *et al.*, 1998a, 1999); time scale of Gradstein and Ogg (1996). Sedimentary sequences, faunas, and tectonic phases in Precordillera are simplified from Astini *et al.* (1995), Benedetto (1998) and Keller *et al.* (1998); plate tectonic stages of Precordillera terrane are after Keller *et al.* (1998). Acronyms: CO =Sierras de Córdoba; P = Puna; PC = Precordillera; SF = Sierra de Famatina; SPOc = Sierras Pampeanas Occidentales; SPOr = Sierras Pampeanas Orientales; TC = Terreno de Chilenia; TP = Terreno Precordillera

## EL ORÓGENO FAMATINIANO SOBRE BASAMENTO PAMPEANO (MARGEN DE GONDWANA)

El orógeno Famatiniano instalado sobre basamento pampeano (proto-margen de Gondwana) muestra dos arcos magmáticos: el interno, localizado en el propio antepaís pampeano, en las Sierras de Córdoba, y consistente en una alineación de pequeñas intrusiones de trondhjemitas, tonalitas y granodioritas ricas en Al (grupo "TTG") de emplazamiento temprano ( $499\pm 5$  y  $478\pm 8$  Ma), y el externo, al oeste del anterior, de tipo "I" cordillerano, calcoalcalino metaluminoso (principalmente granodioritas y monzogranitos), representado por abundantes plutones emplazados entre los  $484\pm 5$  Ma y los aproximadamente  $465\pm 3$  Ma (Rapela *et al.*, 1998b, Pankhurst *et al.*, 2000) que se extienden por las provincias de Catamarca, La Rioja y San Luis. Los datos isotópicos demuestran que los magmas ascendieron a través de una corteza continental madura, por lo que Pankhurst *et al.* (1998) concluyen que el arco magmático externo fue de tipo continental, y no un arco de islas. El volumen de granitoides del arco cordillerano famatiniano es comparable por su volumen al del Lachland Fold Belt (Silúrico-Devónico del sureste de Australia). Los estudios isotópicos de Sr y Nd sugieren que aparte de algunos plutones del grupo TTG con filiación astenosférica, todos los demás granitoides famatinianos se derivaron de una sección corteza-manto litosférico de edad proterozoica (Pankhurst *et al.*, 2000). Los modelos de elementos traza indican a su vez que el grupo TTG se formó con bajo grado de fusión a partir de una fuente gabroide empobrecida, a una profundidad equivalente a 10-12 kb, en tanto que las tonalitas-granodioritas de tipo "I" se originaron a partir de una fuente litosférica enriquecida, aproximadamente a 5 kb.

Una característica de los granitoides famatinianos y, más concretamente, de los del arco externo cordillerano es la presencia de una foliación ígnea más o menos acusada, debida a la orientación de minerales y enclaves microgranulares, que varía entre NNE-SSO y NNO-SSE, que es el resultado del emplazamiento magmático durante una prolongada etapa de deformación regional de tipo probablemente transcurrente (por ej., Sierra de Chepes, Dahlquist, 2000).

En la región de la Puna existen sedimentos que ponen en evidencia la existencia de una amplia cuenca de retro-arco, entre el arco magmático interno y el arco principal, que fue rellenada con sedimentos marinos de poca profundidad, depósitos volcanosedimentarios y volcánicos de edad Tremadoc - Llanvirn (Bahlburg y Hervé, 1997). Además, en la Sierra de San Luis existen restos de corteza oceánica metamorfizada (Complejo Máfico-ultramáfico de las Águilas) asociados a los metasedimentos de retro-arco (Sims *et al.*, 1998), que sugieren que la apertura y oceanización de éste llegó a ser importante hacia el sur. El metamorfismo alcanzó aquí localmente la facies de las granulitas generada por la intrusión de los cuerpos básicos y ultrabásicos ( $P = 5,7-6,4$  kbar,  $T = 740-790$  °C, Hauzenberger *et al.*, 2001)

Un rasgo muy interesante del orógeno famatiniano que podría guardar relación con el retro-arco, es el representado por los enormes batolitos de granitos peraluminicos (tipo "S") del Velasco y Capillitas ubicados mayoritariamente en las provincias de la Rioja y Catamarca (Fig. 2), considerados hasta hace poco como

intrusiones de edad Silúrico-Devónica y por lo tanto, posteriores a la orogénesis famatiniana. Dataciones U-Pb SHRIMP en circones de estos granitoides (Rapela *et al.*, 1999; Pankhurst *et al.*, 2000), han proporcionado edades de cristalización comprendidas entre  $484 \pm 3$  Ma y  $469 \pm 3$  Ma, correspondientes al Ordovícico Inferior, por lo que este magmatismo es famatiniano y coincidente por su edad con el magmatismo del arco externo cordillerano. El dominio donde afloran estos batolitos corresponde aparentemente en la actualidad a la región comprendida entre el arco externo famatiniano y el antepaís pampeano. Precisamente Rapela *et al.*, (1999) relacionan la génesis de este magmatismo con la propia formación del retro-arco famatiniano. La evidencia proporcionada por la geoquímica isotópica (Sr y Nd) sugiere para estos grandes cuerpos intrusivos un origen híbrido (fusión de protolitos supracrustales e hibridización con magmas granodioríticos de tipo "I") (Pankhurst *et al.*, 2000).

El cierre de la cuenca de retro-arco durante el Ordovícico Medio a Superior genera cabalgamientos sinmetamórficos de vergencia por lo general hacia el oeste. Durante este evento, al final del metamorfismo, se emplazan extensos complejos pegmatíticos (pegmatitas peraluminicas) en Sierra de Valle Fértil y Sierras de San Luis, entre otras, que han arrojado edades Rb-Sr de  $455 \pm 3$  Ma (Galindo *et al.*, 1996)

Otro rasgo destacable del orógeno famatiniano es la presencia generalizada de fajas de rocas miloníticas de rumbo sub-meridional y gran recorrido, superpuestas a las metamorfitas y a todas las rocas ígneas descritas, tanto dentro del propio orógeno (por ej., Sierra de Chepes, Pankhurst *et al.*, 1998; Sierra de Velasco, López *et al.*, 1996, Rossi *et al.*, 2000; Sierra de Famatina, Saal *et al.*, 1996, Durand y López, 1996), como en el antepaís pampeano (Sierras de Córdoba, Kraemer *et al.*, 1995). Estas zonas de cizalla con fábricas dúctiles y dúctil-frágiles y cinemática variable (principalmente fallas inversas hacia el oeste y en menor medida desgarres dextrales) parecen haber funcionado repetidamente, después del emplazamiento de los complejos pegmatíticos tardi-metamórficos. Los datos radiométricos (K-Ar y Ar-Ar) sugieren dos períodos de actividad de estas fajas miloníticas, uno esencialmente durante el Silúrico (entre los 450 y los 435 Ma) y otro posterior, el el Devónico Medio a Superior, entre los 365 y 373 Ma, este último coincidente con el emplazamiento de los plutones graníticos ricos en K post-famatinianos (Rapela *et al.*, 1998a ; Sims *et al.*, 1998).

#### EL ORÓGENO FAMATINIANO EN SIERRAS PAMPEANAS OCCIDENTALES. EL MARGEN ORIENTAL DEL TERRENO PRECORDILLERA

La Precordillera Argentina es una alineación orográfica situada entre las Sierras Pampeanas por el Este y la Cordillera Frontal andina por el oeste. En ella, aflora una potente secuencia sedimentaria exótica de edad Cámbrico a Devónico con características de plataforma carbonatada de margen pasivo hasta el Ordovícico Medio (p.ej., Astini, 1998). Esta secuencia está muy imbricada tectónicamente al ser parte de un cinturón de cabalgamientos y pliegues ("fold and thrust belt") desarrollado en el Terciario, durante la orogénesis Andina, y no aflo-

ra su basamento. Sin embargo, la edad de éste basamento se ha podido establecer a partir de la datación de los xenolitos contenidos en las rocas volcánicas del Mioceno que la atraviesa, resultando ser mesoproterozoicas y equiparables a las de la orogénesis Grenville (aprox. 1,1 Ga; Kay *et al.*, 1996). Trabajos posteriores demostraron que este basamento aflora extensamente en las Sierras Pampeanas Occidentales, Sierras de Pie de Palo y Umango (McDonough *et al.*, 1993; Varela *et al.*, 1996; Vujovich y Kay, 1998, Pankhurst y Rapela, 1998) que, por lo tanto, se han integrado junto con la Precordillera en el denominado terreno Precordillera Argentina, elemento exótico de la geología del margen andino suramericano. Este terreno tiene unos 1000 km de longitud, incluyendo su probable extensión meridional, comprendida entre las latitudes 29° a 37°S.

La secuencia de plataforma carbonatada de margen pasivo de la Precordillera Argentina es similar a la de los Appalachés meridionales, donde también los sedimentos recubren rocas metamórficas de edad Grenville pertenecientes a Laurentia, el cratón ancestral del continente norteamericano (Dalla Salda *et al.*, 1992, 1998; Astini *et al.*, 1995; Keller *et al.*, 1998). También, la presencia de faunas laurénticas en la Precordillera (Benedetto, 1998 y referencias) y la compatibilidad paleomagnética de la presencia de Laurentia frente al borde proto-andino de Gondwana en el Cámbrico (Dalziel, 1997, y referencias), sugerían que la Precordillera Argentina fuera un fragmento de Laurentia acreccionado al margen proto-andino de Gondwana en el Paleozoico Inferior.

Aunque el origen lauréntico del terreno Precordillera es aceptado actualmente por la mayoría de investigadores, la geometría de la acreción a Gondwana y edad precisa de la misma, resultan todavía controvertidas (e.g. Dalla Salda *et al.*, 1992, 1998; Astini *et al.*, 1995; Dalziel, 1997; Benedetto, 1998; Rapela *et al.*, 1998b).

Una interpretación alternativa a la del origen lauréntico de Precordillera es la defendida por Aceñolaza y Toselli (1999). Según estos autores el terreno Precordillera habría sido parte de Gondwana, teniendo su origen en el margen Neoproterozoico de Suráfrica – Sudamérica – Antártida y desplazándose hasta su posición actual mediante transcurrancia dextral, subparalela al margen del supercontinente.

En cuanto al basamento del terreno Precordillera, donde mejor se conoce es en la Sierra de Pie de Palo (Fig.s 1 y 2), que muestra una elevada complejidad estructural. La deformación asociada a la colisión famatiniana ha provocado una superposición de unidades tectónicas imbricadas separadas por cabalgamientos dúctiles de vergencia Oeste (Ramos *et al.*, 1996; Casquet *et al.*, 2001a). Estas unidades contienen componentes desmembrados del basamento grenvilliano y además una cobertera sedimentaria de plataforma carbonatada post-grenvilliana (secuencia Difunta Correa; Baldo *et al.*, 1998), que podría ser equivalente a la secuencia cambro-ordovícica de la Precordillera, ambos fuertemente deformados y metamorfizados (Casquet *et al.*, 2001a). Los componentes del basamento grenvilliano reconocidos hasta el momento son: un complejo ofiolítico con afinidades geoquímicas de arco-isla y retro-arco y una edad proxima a 1.1Ga (Vujovich y Kay, 1998), una potente secuencia de sedimentos esencialmente siliciclástica y diversos ortogneises metalumínicos y peralumínicos. Hay además evidencias de meta-

morfismo regional grenvilliano tanto en la unidad ofiolítica como en los metasedimentos siliciclásticos (McDonough *et al.*, 1993; Pankhurst y Rapela, 1998; Casquet *et al.*, 2001a).

La hipótesis Lauréntica de la procedencia del terreno Precordillera ha dado lugar a tres interpretaciones paleogeográficas distintas, resumidas recientemente por Dalziel (1997). Dalla Salda *et al.* (1992) concluyen que el terreno Precordillera es un fragmento desmembrado de Laurentia, con posterioridad a la colisión de ésta con el margen de Gondwana para dar lugar a la orogénesis Famatiniana. Astini *et al.* (1995), por el contrario, sostienen que el terreno Precordillera es un microcontinente separado de Laurentia durante el Cámbrico Superior, y que terminó colisionando con Gondwana después de una larga deriva a través del océano Iapetus. Finalmente, Dalziel (1997) propone que el terreno Precordillera sea el relicto de una hipotética terminación triangular del extremo meridional del continente de Laurentia, semejante a la actual de Argentina con su prolongación submarina en el “plateau” de Las Malvinas. En esta hipótesis, Laurentia estaría derivando en sentido horario durante el Paleozoico Inferior, alrededor del margen suroccidental de Gondwana, a la vez que la litosfera oceánica del Iapetus subducía bajo éste continente. El saliente meridional de Laurentia terminaría colisionando con Gondwana en el Ordovícico Medio, en la posición que ocupa actualmente el terreno Precordillera. En todas estas hipótesis, el lugar de origen del terreno Precordillera es el “entrante de Ouachita”, una enigmática discontinuidad reconocida desde antiguo en el margen appalachiano de Laurentia, que discurre por los estados de Texas, Oklahoma, Arkansas y Mississippi (USA) (p.ej., Dickerson y Keller, 1998). Las semejanzas de índole estratigráfico y paleontológico así como el “timing” de los procesos geológicos acaecidos en el Cámbrico en ambas regiones avalan esta hipótesis.

#### LA ACRECIÓN DEL TERRENO DE PRECORDILLERA

El momento de la colisión del terreno Precordillera con Gondwana ha sido motivo de amplia controversia. Algunos autores, basándose principalmente en el análisis de la sucesión sedimentaria en la Precordillera, interpretan que la colisión tuvo lugar en el Ordovícico Medio, coincidiendo con el colapso de la plataforma carbonatada de la Precordillera (Dalla Salda *et al.*, 1992; Astini *et al.*, 1995; Dalziel, 1997; Ramos *et al.*, 1998). Otros autores argumentan que la colisión tuvo lugar después del Ordovícico Superior (ver resumen en Rapela *et al.*, 1998b).

Recientemente se ha datado el metamorfismo famatiniano en la Sierra de Pie de Palo (edad U-Pb SHRIMP de recrecimientos metamórficos en circones detríticos de la Secuencia Difunta Correa) (Casquet *et al.*, 2001a). La edad obtenida, aprox. 460 Ma, demuestra que la acreción del terreno Precordillera tuvo lugar en el Ordovícico Medio, confirmando así la primera de las dos hipótesis mencionadas.

Los datos termocronológicos en Sierra de Pie de Palo, sugieren que la subducción-colisión del terreno Precordillera con el margen de Laurentia fue probablemente oblicua y de bajo ángulo (Casquet *et al.*, 2001b). En la Sierra de Pie de Palo, que corresponde al margen oriental del terreno Precordillera, se ha reconocido un

metamorfismo de relaciones P/T altas ( $600\pm 50$  °C y  $13\pm 1$  kb; Baldo *et al.*, 1998) que indica la existencia de una cuña orogénica con fuerte engrosamiento cortical. Esta etapa fue seguida por exhumación a favor de cabalgamientos dúctiles con vergencia hacia el oeste. La datación U-Pb SHRIMP a la que se ha hecho referencia más arriba (460Ma) correspondería a esta etapa de exhumación precisamente. En el margen Gondwánico, por el contrario, el gradiente P/T del metamorfismo, parece disminuir hacia el Este ( $770\pm 20$  °C y  $12\pm 1$  kb; Baldo *et al.*, 2001 en prensa), llegando a ser de relaciones P/T bajas (400 a 700°C y P = 2 a 3 kb) en el dominio del arco magmático, en las Sierras de Chepes y Malanzán (Dahlquist y Baldo 1996; Pascua, 1998; Pankhurst *et al.*, 1998; Dahlquist, 2000).

## CONCLUSIONES

El margen proto-andino de Gondwana ha sido el escenario de al menos dos orogénesis desde el desmembramiento del supercontinente Rodinia, al final del Neoproterozoico, hasta el reagrupamiento de las masas continentales en Pangea al final del Carbonífero. Ambas orogénesis van precedidas de un periodo de apertura oceánica y sedimentación en márgenes pasivos y culminan en subducción oceánica con desarrollo de arcos-magmáticos de tipo cordillerano y colisión de tipo continente-continente. La evolución durante el Paleozoico Inferior del margen proto-andino de Gondwana se ha resumido en el cuadro en la Fig. 3.

La primera orogénesis (Pampeana), tuvo lugar durante el Cámbrico Inferior – Medio y fue de duración breve: unos 15 millones de años para las etapas de subducción y colisión continente-continente. El ciclo se inició con la apertura del océano puncoviscano (560 Ma) acompañando al “drifting” de un microcontinente de probables afinidades gondwánicas.

El ciclo Famatiniano se inicia con una nueva apertura oceánica, reiniciándose la subducción alrededor de los 499 Ma (Cámbrico Superior) que va acompañada por la construcción de un extenso arco magmático cordillerano (granitoides de tipo “I”) y la apertura de una cuenca de retroarco, con corteza oceánica bien documentada hacia el sur (Sierra de San Luís). La presencia regional en los granitoides Famatinianos de una foliación magmática meridional, subparalela a la foliación externa, sugiere que el emplazamiento fue sintectónico y posiblemente en un régimen de deformación regional de tipo transcurrente. Es de destacar que en posible coincidencia con la fase de retroarco existe un importante plutonismo de granitos peraluminicos (tipo “S”) que da lugar a los enormes batolitos del Velasco y Capillitas, entre otros.

La acreción del terreno de Precordillera a Gondwana fue probablemente oblicua y de pequeño ángulo. La colisión tuvo lugar en el Ordovícico Medio al haberse datado el metamorfismo asociado a la misma en 460 Ma. El metamorfismo famatiniano asociado a la colisión muestra un descenso del gradiente medio P/T desde el margen oriental del terreno Precordillera al margen occidental de Gondwana. La deformación famatiniana se prolongó hasta los 435 Ma en forma de bandas de cizalla regionales, localizadas sobretudo en el lado gondwánico del orógeno y en el antepaís pampeano.

En cuanto a la procedencia del terreno Precordillera, parece claro su origen lauréntico; sin embargo el marco paleogeográfico de Gondwana y Laurentia durante el Cámbrico y el Ordovícico Inferior sigue siendo motivo de controversia.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos PICT98-4189 argentino y PB97-1246 español. Este trabajo es una contribución al proyecto IGCP-436: "Tectonic Evolution of the Pacific Gondwana Margin. Structure, Assembly and Break-up Events".

## REFERENCIAS

- ACEÑOLAZA, F. G., TOSSELLI, A. J. (1973): Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste argentino. *II Congreso Latinoamericano de Geología (Caracas)*, Tomo 2: 755-763.
- ACEÑOLAZA, F. G., TOSSELLI, A. J. (1999): Argentine Precordillera: Allochthonous or autochthonous Gondwanic?, 1: 7-8. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil I, Heft 7/8: 743-756.
- ADAMS, C., MILLER, H., TOSSELLI, A. J. (1990): Nuevas edades de metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NW de Argentina. En: F.G. Aceñolaza, H. Miller y A. Toselli (eds.). *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie Correlación Geológica, 4: 199-208.
- ASTINI, R. A., BENEDETTO, J. L., VACCARI, N. E. (1995): The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted and collided terrane: A geodynamic model. *Geological Society of America Bulletin*, 107: 253-273.
- ASTINI, R. A. (1998): Stratigraphical evidence supporting the rifting, drifting and collision of the Laurentian Precordillera terrane of western Argentina. En: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 11-33.
- BAHLBURG, H., HERVÉ, F. (1997). Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 869-884.
- BALDO, E. G., CASQUET, C., GALINDO, C. (1998): Datos preliminares sobre el metamorfismo de las Sierras de Pie de Palo, Sierras Pampeanas Occidentales (Argentina). *Geogaceta*, 24: 39-42.
- BALDO, E. G., SAAVEDRA, J., RAPELA, C.W., PANKHURST, R.J., CASQUET, C., GALINDO, C. (1999): Síntesis geocronológica de la evolución paleozoica inferior del borde sur occidental de Gondwana en las Sierras Pampeanas, Argentina. *Acta Geologica Hispanica*, 32: 17-28.
- BALDO, E., CASQUET, C., RAPELA, R., PANKHURST, R.J., GALINDO, C., FANNING, C., SAAVEDRA, J. (2001): Ordovician metamorphism at the south-western margin of Gondwana: P-T conditions and U-Pb SHRIMP ages from Loma de las Chacras, Sierras Pampeanas. *South American Symposium on isotope III Geology*, Pucón, Chile (en prensa).

- BENEDETTO, J. P. (1998): Early Palaeozoic brachiopods and associated shelly faunas from western Gondwana: Its bearing on the geodynamic history of the pre-Andean margin. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds.) *The Proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society (London) Special Publication, 142: 57-83.
- CASQUET, C., BALDO, E., PANKHURST, R. J., RAPELA, C. W., GALINDO, C., FANNING, C.M., SAAVEDRA, J. (2001a): Involvement of the Argentine Precordillera Terrane in the Famatinian Mobile Belt: U-Pb SHRIMP and metamorphic evidence from the Sierra de Pie de Palo. *Geology* (en prensa).
- CASQUET, BALDO, E., PANKHURST, R. J., RAPELA, C., GALINDO, C., FANNING, M., SAAVEDRA, J. (2001b): Thermo-chronology of Famatinian metamorphism at the eastern margin of the Precordillera Terrane. *Resúmenes XI Congreso Latinoamericano de Geología, Montevideo, IGCP-436*, Uruguay (en prensa).
- DAHLQUIST, J. A. BALDO, G. E. (1996): Metamorfismo y deformación Famatinianos en la Sierra de Chepes, La Rioja, Argentina. *Resúmenes XIII Congreso Geológico Argentino, Simposio Internacional Proto-Andean Margin of Gondwana (IGCP-345 y 376)*, Buenos Aires, 5: 393-409.
- DAHLQUIST, J. A. (2000): Geología, Petrología y Geoquímica de las rocas de la Sierra de Chepes, La Rioja, Argentina. Tesis Doctoral Universidad Nacional de Córdoba. 464 p.
- DALLA SALDA, L., CINGOLANI, C. A., VARELA, R. (1992). Early Paleozoic belt of the Andes and southwestern South America: Result of Laurentia-Gondwana collision? *Geology*, 20: 617-620.
- DALLA SALDA, L. H., LÓPEZ DE LUCHI, M. G., CINGOLANI, C. A., VARELA, R. (1998): Laurentia-Gondwana collision: the origin of the Famatinian-Appalachian orogenic belt (a review). In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds.) *The Proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society (London) Special Publication, 142: 219-234.
- DALZIEL, I. W. D. (1997): Overview. Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: Review, hypothesis, environmental speculation. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 16-42.
- DICKERSON, P. W. , KELLER, M. (1998): The Argentine Precordillera: its odyssey from the Laurentian Ouachita margin towards the Sierras Pampeanas of Gondwana. In: R. J., Pankhurst y C. W. Rapela (eds): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society Special Publication, 142: 85-105.
- DURAND, F. R. (1996): La transición Precámbrico-Cámbrico en el sur de Sudamérica. In: B. Baldis y F. Aceñolaza (eds) *Early Paleozoic evolution in NW Gondwana*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, Serie Correlación Geológica, 12: 195-205.
- DURAND, F. R., LÓPEZ, J. P. (1996): La deformación dúctil del flanco oriental del Sistema de Famatina. In: F.G. Miller y A. J. Toselli (eds) *Geología del Sistema de Famatina*. Münchner Geologische Hefte. Reihe A, 19: 319-323. München.
- GALINDO, C., PANKHURST, R.,J., CASQUET, C., BALDO, E., RAPELA, C. W., SAAVEDRA, J. (1996): Constraints on the age and genesis of the Sierra de Valle Fértil pegmatites (Western Sierras Pampeanas, Argentina). *Resúmenes XIII Congreso Geológico Argentino, Simposio Internacional Proto-Andean Margin of Gondwana (IGCP-345 y 376)*, Buenos Aires, 5: 333-334.
- GRADSTEIN, F. M. , OGG, J. (1996): A Phanerozoic time scale. *Episodes*, 19: 3-5.
- HAUZENBERGER, C. A., MOGESSIE, A., HOINKES, G., FELFERNIG, A., BJERG, E. A., KOSTADINOFF, J., DELPINO, S., DIMIERI, L. (2001): Metamorphic evolution of the Sierras de San Luis, Argentina: granulit facies metamorphism related to mafic intrusions. *Mineralogy and Petrology*, 71: 95-126.



- ISACKS, B. (1988): Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline. *Journal Geophysical Research*, 93: 3211-3231.
- JEZEK, P. (1990): Análisis sedimentológico de la Formación Puncoviscana. In: F.G. Aceñolaza, H. Miller y A.J. Toselli (eds) *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, Serie Correlación Geológica, 4: 9-36.
- JORDAN, T. E., ALLMENDINGER, R.O., (1986): The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue to the Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286: 737-768.
- KAY, S. M., GORDILLO, C. E., (1994): Pocho volcanic rocks and the melting of depleted continental lithosphere above shallowly dipping subduction zone in the central Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117: 25-44.
- KAY, S. M., ORRELL, S., ABRUZZI, J. M. (1996): Zircon and whole-rock Nd-Pb isotopic evidence for a Grenville age and Laurentian origin for the basement of the Precordillera in Argentina. *Journal of Geology*, 104: 637-648.
- KELLER, M., BUGGISCH, W., LEHNERT, O. (1998): The stratigraphical record of the Argentine Precordillera and its plate-tectonic background. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 35-56.
- KRAEMER, P. E., ESCAYOLA, M. P., MARTINO, R. D. (1995): Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30°40'-32°40'). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50: 47-59.
- LIRA, R., MILLONE, H. A., KIRSCHBAUM, A. M., MORENO, R. S. (1996): Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte-Ambargasta Ranges, central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10: 157-177.
- LÓPEZ, J. P., DURAND, F. R., TOSELLI, A. J. (1996): Zonas de cizalla en el flanco noroccidental de la Sierra de Velasco. La Rioja, Argentina. *Resúmenes XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Buenos Aires, 2: 179-185.
- LORK, A., MILLER, H. KRAMM, U., GRAUERT, B., (1990): Sistemática U-Pb de circones detríticos de la Formación Puncoviscana y su significado para la edad máxima de sedimentación en la Sierra de Cachi (provincia de Salta, Argentina). In: A. G. Aceñolaza, H. Miller y A. Toselli (eds.) *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 4: 209-219.
- MCDONOUGH, M. R., RAMOS, V. A., ISACHSEN, C. E., BOWRING, S. A., VUJOVICH, G. I. (1993): Edades preliminares de circones del basamento de la Sierra de Pie de Palo, Sierras Pampeanas Occidentales de San Juan: sus implicancias para el supercontinente Proterozoico de Rodinia. *Resúmenes XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Mendoza, 3: 340-342.
- PANKHURST, R. J., RAPELA, C. W. (1998): The proto-Andean margin of Gondwana: An introduction. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 1-9.
- PANKHURST, R. J., RAPELA, C. W., SAAVEDRA, J., BALDO, E., DAHLQUIST, J., PASCUA, I. AND FANNING, C. M. (1998): The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 343-367.

- PANKHURST, R. J., RAPELA, C. W. & FANNING, C. M. (2000): Age and origin of coeval TTG, I- and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91: 151-168.
- PASCUA, M. I. (1998): *Petrología y Geoquímica de la Sierra de Los Llanos, Provincia de La Rioja, República Argentina*. Tesis Doctoral Universidad de Salamanca, España: 236 p.
- RAMOS, V. A., VUJOVICH, G. I., DALLMEYER, R. D. (1996): Los Klippes y ventanas tectónicas prándicas de la Sierra de Pie de Palo (San Juan): edad e implicancias tectónicas. *Resúmenes XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Buenos Aires, 5: 377-391.
- RAMOS, V. A., BASEI, M. (1997): The basement of Chilenia: an exotic continental terrane to Gondwana during the early Paleozoic, in Bradshaw, J. D., and Weaver, S. D., eds., *Terrane Dynamics -97: International Conference on Terrane Geology, University of Canterbury, Christchurch, Conference Abstracts*: 140-143.
- RAMOS, V. A., DALLMEYER, R. D., VUJOVICH, G. I. (1998): Time constraints on the Early Palaeozoic docking of the Precordillera, central Argentina. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 143-158.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., CASQUET, C., BALDO, E., SAAVEDRA, J., GALINDO, C. AND FANNING, C.M. (1998a): The Pampean orogeny of the southern proto-Andes: evidence for Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 181-217.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., CASQUET, C., BALDO, E., SAAVEDRA, J., GALINDO, C. (1998b): Early evolution of the proto-Andean margin of South America. *Geology*, 26: 707-710.
- RAPELA, C. W., PANKHURST, R. J., DAHLQUIST, J., FANNING, C. M. (1999): U-Pb SHRIMP ages of Famatinian granites: new constraints on the timing and tectonic setting of I- and S-type magmas in an ensialic arc. *Resúmenes II South American Symposium on Isotope Geology*, Carlos Paz, Argentina: 264-267.
- ROSSI, J. N., TOSELLI, A. J., DURAND, F. R. (1992): Metamorfismo de baja presión, su relación con el desarrollo de la cuenca Puncoviscana, plutonismo y régimen tectónico. *Estudios Geológicos*, 48: 279-287.
- ROSSI, J. N., TOSELLI, A. J., BÁEZ, M. A., SARDI, F. G. (2000): Granitoides deformados y no deformados del norte de la Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. *Resúmenes extendidos XVII Simposio sobre la Geología de Latinoamérica*. Stuttgart, Alemania.
- SAAL, A., TOSELLI, A. J., ROSSI, J. N. (1996): Granitoides y rocas básicas de la Sierra de Paganzo. En: F.G. Aceñolaza, H. Miller y A.J. Toselli (eds) *Geología del Sistema de Famatina*. Münchner Geologische Hefte. Reihe A, 19: 199-210.
- SATO, A. M., TICKYI, H., LLAMBÍAS, E. J., SATO, K. (1999): Rb-Sr, Sm-Nd and K-Ar age constraints of the Grenvillian Las Matras pluton, central Argentina. *Resúmenes II South American Symposium on Isotope Geology*, Carlos Paz, Argentina: 122-126.
- SIMS, J. P., IRELAND, T. R., CAMACHO, A., LYONS, P., PIETERS, P. E., SKIRROW, R. G., AND STUART-SMITH, P. G. (1998): U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Palaeozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 259-281.

- VARELA, R., LÓPEZ DE LUCHI, M., CINGOLANI, C., AND DALLA SALDA, L. (1996): Geocronología de gneises y granitoides de la Sierra de Umango, La Rioja. Implicancias tectónicas. *Resúmenes XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Buenos Aires, 3: 519-528.
- VARELA R., ROVERANO D., SATO A. M. (2000): Granito El Peñon, Sierra de Umango: Descripción, edad Rb/Sr e implicancias geotectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (4): 407-413.
- VUJOVICH, G. I., KAY, S. M., (1998): A Laurentian? Grenville-age oceanic arc/back-arc terrane in the Sierra de Pie de Palo, Western Sierras Pampeanas, Argentina. In: R.J. Pankhurst y C.W. Rapela (eds) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society (London) Special Publication, 142: 159-179.