

# Fabrica magnética y emplazamiento del plutón Alpa Corral (Sierras de Córdoba, Argentina)

*Magnetic fabric and emplacement of the Alpa Corral plutón (Sierras de Córdoba, Argentina)*

L. Pinotti<sup>(1) (2)</sup>, F. D'Eramo<sup>(2)</sup>, J. Coniglio<sup>(2)</sup>, A. Aranguren<sup>(1)</sup> y J. M. Tubía<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Geodinámica, Fac. de Ciencias. Universidad del País Vasco. A.P. 644, 48080 Bilbao.

<sup>(2)</sup> Dpto. de Geología. Facultad de CEFQyNat. Universidad Nacional de Río Cuarto (5800) Río Cuarto, Argentina. CONICET

## ABSTRACT

Nearly circular in outcrop, the Alpa Corral pluton is one of the post-tectonic monzogranitic plutons of the Sierras Pampeanas, in Córdoba (Argentina). This pluton intrudes the Early Paleozoic basement of the Sierras Pampeanas during Late Devonian times. This concentrically zoned pluton is made up by inequigranular to porphyritic monzogranites, distributed in two units: a internal unit formed by coarse to porphyritic granite and a external unit represented by inequigranular leucogranite. Bulk magnetic susceptibility (*K*) shows bimodal distribution, reflecting magnetite-rich granites for the internal unit and magnetite-poor to paramagnetic granites within external unit.

Microstructural evidence indicates that magnetic fabrics are entirely magmatic in origin and reflect the internal magma dynamics. From structural and Anisotropy of Magnetic Susceptibility measurements, the internal structure of this pluton has been inferred. According to the AMS and structural data from the country rocks, the emplacement of the Alpa Corral pluton took place after the vanishment of the compressional stress field responsible for the main structures recorded in the country rocks. However, some control by a far field stress can be deduced from the NNW-SSE alignment of the post-tectonic plutons of the Sierras Pampeanas. This suggests that granite emplacement was controlled by a set of early master fractures related to the extensional collapse in this sector of the Sierras Pampeanas.

**Key words:** granite, magnetic fabric, emplacement, Sierras Pampeanas, Argentina

Geogaceta, 34 (2003), 67-70  
ISSN:0213683X

## Introducción

Los estudios estructurales en cuerpos graníticos son una importante fuente de datos para inferir sus condiciones de emplazamiento y su relación con la evolución tectónica de las fajas orogénicas donde intruyen (Bouchez, 1997; Hutton, 1998).

Los cuerpos graníticos sintectónicos han sido ampliamente estudiados desde el punto de vista estructural. En comparación, los estudios sobre cuerpos graníticos tardíos o postectónicos son escasos debido a que resulta más complejo relacionar sus estructuras internas con el contexto tectónico regional. En las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis (Argentina) los batolitos postectónicos (Fig.1) presentan características geológicas comunes que incluyen: intrusiones de gran volumen, desarrollo de texturas porfídicas con grandes fenocristales de feldespato potásico,

conspicua forma circular de los plutones que componen los batolitos y cristalización de magma en altos niveles corticales (Pinotti, 1998; Pinotti *et al.*, 2002). Los grandes batolitos se han emplazado después de los episodios metamórficos y deformacionales que tuvieron lugar desde el Precámbrico superior hasta el Silúrico (Gordillo y Lencinas, 1979; Ortiz Suárez *et al.* 1992; Rapela, 1998).

En las Sierras de Córdoba los cuerpos de mayor volumen, el batolito de Achala y el de Cerro Aspero (Fig.1), presentan contactos netos y discordantes con la roca encajante, aureolas de contacto y están compuestos por la agregación de plutones circulares.

Debido a las características mencionadas, estos plutones han sido descritos como postorogénicos en relación al pico metamórfico Cámbrico para las Sierras de Córdoba (Aceñolaza y Toselli, 1976; González Bonorino y Llambías, 1996; Rapela *et al.*, 1999). A pesar del gran vo-

lumen de estos batolitos y de su importancia en la estructuración del basamento Paleozoico su estructura interna y mecanismos de emplazamiento han recibido escasa atención.

El batolito de Cerro Aspero ha sido construido mediante el emplazamiento sucesivo de tres plutones principales, alineados en sentido NNO-SSE. El evento magmático se inicia con una intrusión de pequeño volumen, el plutón Alpa Corral (50 km<sup>2</sup>), seguida por una de mayor volumen, El Talita (390 km<sup>2</sup>) y finaliza con el emplazamiento del plutón Los Cerros (5 km<sup>2</sup>) (Fig.2A). El objetivo del presente estudio es caracterizar el emplazamiento y evolución estructural de uno de los plutones del batolito Cerro Aspero, el plutón Alpa Corral (Fig. 2B). Para ello, se han combinado el estudio estructural clásico de campo y la técnica de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) para obtener la estructura interna del plutón Alpa Corral.

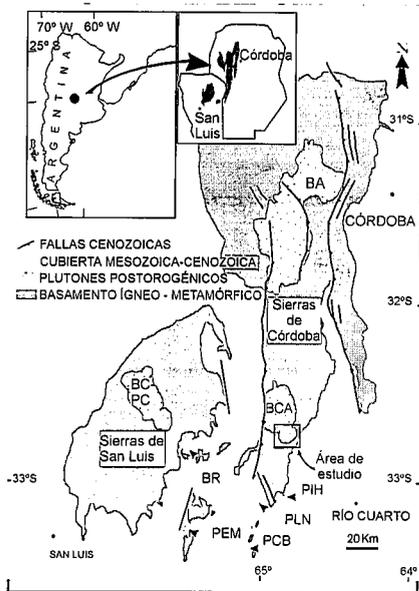


Fig.1.- Localización del área de estudio dentro de las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Distribución de los batolitos postectónicos: BA (batolito de Achala), BCA (batolito Cerro Aspero), PIH (plutón Inti Huasi), PLN (plutón Los Nogales), PCB (plutón Cerro Blanco), PEM (plutón El Morro), BR (batolito de Renca), BC-PC (batolito Las Chacras-Piedra Colorada)

Fig.1.- Location of the area studied within the Sierras Pampeanas of Córdoba and San Luis. Distribution of postectonic batholiths: BA (Achala batholith), BCA (Cerro Aspero batholith), PIH (Inti Huasi pluton), PLN (Los Nogales pluton), PCB (Cerro Blanco pluton), PEM (El Morro pluton), BR (Renca batholith), BC-PC (Las Chacras-Piedra Colorada)

**Estructuras de campo**

El basamento metamórfico que intruye el batolito de Cerro Aspero está constituido en su mayor parte por migmatitas con intercalaciones de grandes cuerpos de anfibolitas y, en menor proporción, de ortogneises y rocas ultrabásicas (Fagiano *et al.*, 2002), que fueron retrabajados textural y mineralógicamente por la zona de cizalla Guacha Corral, de edad Paleozoica inferior.

En líneas generales la estructura desarrollada durante el metamorfismo regional del basamento metamórfico, se caracteriza por una foliación penetrativa de rumbo NNO-SSE truncada por una foliación milonítica, de orientación submeridiana y buzamiento (25° a 45°) hacia el este, ligada a la zona de cizalla Guacha Corral (Fig.2B). Dicha zona de cizalla está compuesta de protomilonitas a ultramilonitas; en las que los indicadores cinemáticos revelan una cinemática inversa con transporte tectónico

hacia el oeste (Pinotti, 1998; Fagiano *et al.*, 2002).

El plutón Alpa Corral trunca todas las estructuras mencionadas anteriormente, incluyendo la zona de cizalla Guacha Corral, de la que se encuentran xenolitos en el granito (Pinotti, 1998).

El plutón Alpa Corral tiene una forma cartográfica circular. Está formado por dos unidades; denominadas interna y externa, separadas por un contacto neto y generalmente bien expuesto. Los análisis modales muestran que la unidad interna está enriquecida en minerales máficos en comparación con la unidad externa. La unidad interna consiste en un monzogranito biotítico de grano grueso y con textura porfídica, con fenocristales de microclina perfitica de hasta 5 cm de longitud; son comunes los enclaves microgranulares máficos y schlierens biotíticos. La unidad interna tiene biotita como la principal fase mineral máfica. Los minerales accesorios incluyen apatito, circón, epidota y fluorita.

La unidad externa está concentrada en los sectores más elevados del plutón y en un prominente anillo entre la caja metamórfica y la unidad interna. La unidad externa está compuesta por un leucogranito inequigranular, estando la mayoría de sus afloramientos afectados por intensos procesos de greisenización. El tamaño de grano es medio a grueso, con fenocristales de feldespato potásico en una matriz de minerales félsicos y biotita. Circón y apatito son los accesorios más frecuentes. Los feldespatos alcalinos son reemplazados frecuentemente por moscovita y sericita.

A escala cartográfica las estructuras internas más destacables asociadas al emplazamiento del plutón Alpa Corral son el conjunto de fracturas anulares y radiales que afectan a las rocas metamórficas encajantes. El sector noroeste del plutón está intruído por un enjambre de diques anulares micrograníticos, que pueden alcanzar longitudes de hasta 5 km. El espesor de esos diques varía desde pocos centímetros hasta 5m. Están ubicados en un sistema de fracturas anulares a lo largo del contacto entre el plutón El Talita y Alpa Corral.

La organización interna del plutón Alpa Corral es el resultado de dos grupos principales de estructuras: las de origen magmático y las producidas por deformación en estado sólido de alta temperatura. Las estructuras magmáticas predominan en la unidad interna del plutón, mientras que las originadas por deformación en estado sólido se concentran en la periferia y sectores cuspidales del plutón. Entre

las características microestructurales que avalan el carácter magmático de las estructuras podemos mencionar: a) La presencia generalizada de cristales idiomorfos de microclina, plagioclasa y biotita rodeados por granos de cuarzo, redondeados y carentes de deformación interna. b) fenómenos de sineusis (Vernon, 1986) y la imbricación de cristales idiomorfos de microclina (Blumenfeld, 1983). En cambio, en la unidad externa se observan con frecuencia granos de cuarzo con subgranos y cristales de biotita con kink-bands, lo que indica la transición de estructuras magmática a las del estado sólido de alta temperatura (Paterson *et al.*, 1989; Bouchez *et al.*, 1992).

**Datos magnéticos**

Los datos sobre la fábrica magnética del plutón Alpa Corral proceden del estudio de 140 muestras orientadas correspondientes a 33 estaciones de muestreo regularmente repartidas (Fig.2B). Las medidas se han realizado mediante un susceptómetro Kappabridge KLY-2, que trabaja en campo magnético débil, con una intensidad de  $4 \times 10^{-4}$  T y una frecuencia de 920 Hz. Cada muestra se midió en 15 posiciones distintas para calcular la magnitud y orientación del elipsoide magnético. Los valores de susceptibilidad magnética (K) obtenidos oscilan entre 20  $\mu$ SI y 3700  $\mu$ SI y presentan una distribución bimodal (Fig.3A). La unidad interna presenta valores de K entre 810  $\mu$ SI y 3700  $\mu$ SI, que sugieren que los minerales ferromagnéticos contribuyen significativamente a la susceptibilidad magnética (Rochette, 1987; Bouchez, 1997). Los valores más bajos ( $20 < K < 800$   $\mu$ SI) corresponden a la unidad externa del plutón.

La naturaleza de las fases magnéticas se investigó utilizando un equipo CS-2, combinado con el susceptómetro KLY-2, que mide las variaciones de susceptibilidad magnética con el aumento de la temperatura, desde 25°C a 700°C. Las medidas fueron realizadas en atmósfera de argón para evitar la oxidación durante el calentamiento. Se seleccionaron tres muestras para cubrir el rango de susceptibilidades presentes en el plutón Alpa Corral. Se incluyó una muestra de susceptibilidad alta correspondiente a la unidad interna (A-11,  $K= 3230$   $\mu$ SI) y dos muestras de la unidad externa (A-6,  $K= 200$   $\mu$ SI y A-23,  $K= 30$   $\mu$ SI). La muestra de la unidad interna refleja la presencia de magnetita, de acuerdo con el aumento de susceptibilidad al incrementar la temperatura (efecto Hopkinson) y con el descenso brusco de susceptibilidad alrededor

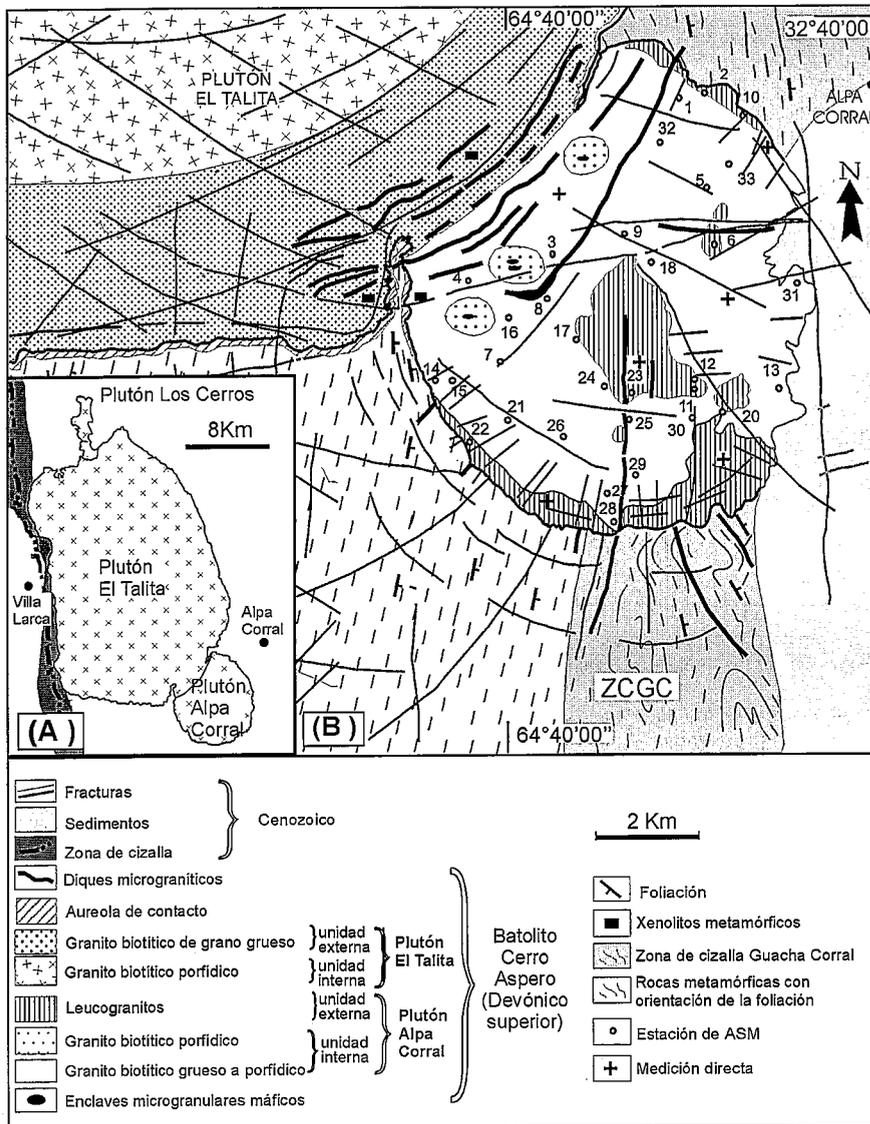


Fig.2.- (A) Distribución de los principales plutones que componen el batolito Cerro Aspero. (B) Mapa geológico simplificado del plutón Alpa Corral, con ubicación de los puntos de muestreo para el estudio de ASM. ZCGC (zona de cizalla Guacha Corral)

Fig.2.- (A) Plutons of the Cerro Aspero batholith. (B) Simplified geological map of the Alpa Corral pluton and ASM sampling stations. ZCGC (Guacha Corral shear zone)

de los 580°C, temperatura de Curie para este mineral (Fig.3B). La curva A-6 denota la presencia de magnetita pero en menor proporción, además se aprecia un descenso de la susceptibilidad alrededor de los 630°C, posiblemente debido a la presencia de hematites (Fig.3C). La curva A-23 presenta un trazado plano hasta los 620°C (Fig.3D), mostrando un carácter típicamente paramagnético. Es de destacar que importantes sectores de la unidad externa están afectados por procesos de alteración hidrotermal, lo que provoca la lixiviación y transformación de minerales tales como la magnetita.

De la forma cartográfica y la distribución de facies del plutón de Alpa Corral cabría esperar una estructuración

interna circular. En cambio, en el diagrama de la figura 4A se observa una clara distribución NO-SE de los polos de la foliación magnética.

Sobre el mapa, las foliaciones magnéticas muestran una orientación preferente en dirección NE-SO, con buzamientos generalmente altos, y se puede trazar una línea NE-SO ligeramente desplazada hacia el plutón El Talita que separa las foliaciones que buzcan hacia el NO o hacia el SE (Fig.4A).

La figura 4B muestra una gran dispersión en la orientación de las lineaciones magnéticas; no obstante, en la zona central predominan las lineaciones NE-SO que permiten definir, a grandes rasgos, una distribución simétrica.

Discusión

El contacto gradual y las estructuras circulares entre el plutón Alpa Corral y El Talita sugieren que la expansión de los plutones tuvo lugar por el aporte continuo de magma, lo que genera plutones

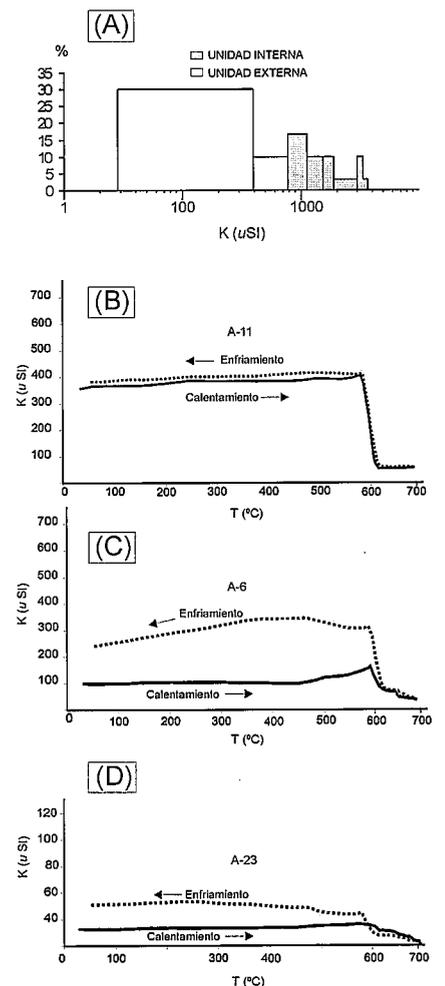


Fig.3.- (A) Histograma que muestra la distribución bimodal de los valores de K obtenidos en las unidades interna y externa del plutón. Las muestras con K>700 μSI son ricas en magnetita, mientras que los restantes valores poseen menor proporción de magnetita y se corresponden con rocas que presentan alteraciones hidrotermales. (B, C y D) Curvas termomagnéticas que muestran la variación de la susceptibilidad (K) respecto a la temperatura, para los ciclos de calentamiento/enfriamiento (desde 25°C hasta 700°C).

Fig.3.- (A) Frequency of the mean magnetic susceptibility (K) showing a bimodal distribution. Specimens with K> 700 μSI are magnetite-rich while the others are magnetite-poor and correspond to hydrothermally altered rocks. (B, C and D). Thermomagnetic heating/cooling tests showing the variation of the mean susceptibility (K) with the temperature (from 25°C to 700°C).

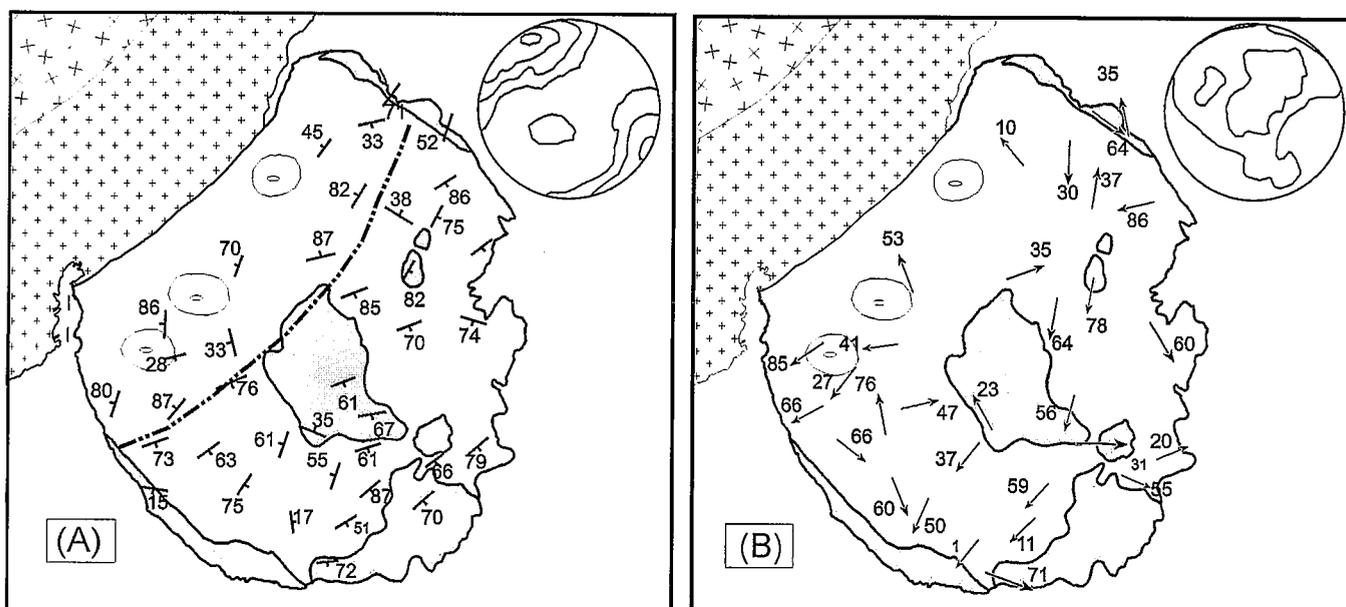


Fig.4.- Fábrica magnética del plutón Alpa Corral. (A) Mapa y diagrama estereográfico de las foliaciones magnéticas del plutón Alpa Corral. (B) Mapa y diagrama estereográfico de las lineaciones magnéticas en el plutón Alpa Corral.

Fig.4.- (4A) Map and stereonet of magnetic foliation in the Alpa Corral pluton. (4B) Map and stereonet of magnetic lineation in the Alpa Corral pluton.

zonados y asociados a estructuras internas circulares. La orientación dominante de la foliación magnética es paralela al contacto entre los plutones de Alpa Corral y El Talita. Esta aparente contradicción entre la forma cartográfica y la estructura interna se puede explicar por el aplastamiento que produciría el emplazamiento ligeramente posterior del plutón El Talita en el plutón Alpa Corral, cuando este aún conservaba su carácter magmático-viscoso. La fábrica magnética del plutón Alpa Corral refleja por lo tanto la deformación sinmagmática inducida por el emplazamiento de un gran volumen de magma en un cuerpo de dimensiones reducidas emplazado en la base de la zona de cizalla Guacha Corral.

Los análisis de campo en combinación con los de ASM y termomagnéticos han permitido establecer una distribución magnética bimodal para el plutón: 1. unidad interna, correspondiente a granitos ferromagnéticos (ricos en magnetita), 2. unidad externa, representada por granitos pobres en magnetita a paramagnéticos.

El alargamiento de los plutones que integran batolito Cerro Aspero según una trayectoria NNO-SSE sugiere que el emplazamiento de los plutones estuvo controlado por fracturas maestras asociadas al colapso extensional de las Sierras Pampeanas. La geometría circular del plutón es aparente, ya que en detalle el contacto tiene geometría poligonal, resultante de la alternancia de tramos

curvilineales concordantes con la roca de caja y de segmentos de falla desarrollados por el comportamiento frágil de la roca de caja.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a los aportes de los proyectos de investigación BTE2001-0634 (Ministerio de Ciencia y Tecnología de España) y 9/UPV00001.310-14478/2002 (UPV/EHU) y el financiamiento del Proj. 18/C002 de la SECYT- Universidad Nacional de Río Cuarto y FOMEC 554 (Dpto. de Geología de la UNRC). L. Pinotti agradece al CONICET, Argentina por la financiación de la beca posdoctoral desarrollada en el Dpto. de Geodinámica de la Universidad del País Vasco.

#### Referencias

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. J., (1976): Memoria II. *Congr. Latinoamericano de Geol.*, Actas 2, 755-764.
- Blumenfeld, Ph., (1983): *Bull. Soc. Geol. France*, (25), 309-318.
- Bouchez, J.L., (1997): In: *Granite is never isotropic: an introduction to ASM studies of granitic rocks*. Bouchez, J.L., Hutton, D.H.W., Stephens, W.E. (Eds.), Kluwer, Dordrecht, 95-112.
- Bouchez, J.L., Delas, C., Gleizes, G., Nédelec, A. y Cuney, M., (1992): *Geology*, (20), 35-38.
- Fagiano, M., Pinotti, L., Esparza, A.M. y Martino R., (2002): In: *Actas del XV Congr. Geol. Arg.* El Calafate, Argentina (in CD).
- González Bonorino, G. y Llambías E. J., (1996): In: *The Phanerozoic Geology of the World I. The Paleozoic*, B. Moullade M., Nairn A.E.M., 265-338.
- Gordillo, C. y Lencinas, A., (1979): II Simp. de Geol. Reg. Arg., *Academia Nacional de Ciencias*, Córdoba, I, 577-650.
- Hutton, D.H.W., (1998): *Trans. Roy. Soc. Edin.*, (79), 245-255.
- Ortiz Suárez, O.A., Prozzi C. y Llambías E. J., (1992): *Rev. Est. Geol.*, (48), 269-277.
- Paterson, S. R., Vernon, R. H. y Tobisch, O. T., (1989): *Jour. Struct. Geol.*, (11), 349-363.
- Pinotti, L. P. (1998): *Tesis Doctoral* Univ. Nac. de Río Cuarto. Argentina. 203pp.
- Pinotti, L. P., Coniglio, J.E., Esparza, A. M., D'Eramo, F. G. y Llambías, E. J., (2002): *Jour. South Amer. Earth Sci.*, (15), 251-265.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J. y Galindo C., (1998): *Geology*, 26 (8), 707-710.
- Rapela, C.W., Coira B., Toselli, A. y Llambías, E. J., (1999): In Caminos R. (Ed.), *Geol. Arg.*. Segemar, An. 29, 145-158.
- Rochette, P., (1987): *Jour. Struct. Geol.*, (9), 1015-1020.
- Vernon, R. H., (1986): *Earth Sci. Reviews*, (23), 1-63.