

# Metamorfismo y magmatismo del Paleozoico inferior en la zona central de las Sierras Pampeanas (SW de Gondwana)

*Lower Paleozoic metamorphism and plutonism in the Central Pampean Ranges (S. W. Gondwana)*

M. I. Pascua (\*), J. Saavedra (\*\*) y E. G. Baldo (\*\*\*)

(\*) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca. Desarrollo de Recursos Geológicos S. A., Plaza Mayor, 9, 2º, 37002 Salamanca, España.

(\*\*) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC, Cordel de Merinas 40-52, 37071 Salamanca, España.

(\*\*\*) Catedra de Petrología, Facultad de Cc. Exac. Fis. y Naturales, Univ. Nac. de Córdoba, 5000 Córdoba, Argentina

## ABSTRACT

*The Sierra de Los Llanos intrusion is a Lower Paleozoic pluton of meta-aluminous granites (with tholeiitic and calc-alkaline features) representative of batholiths of the Sierras Pampeanas, here associated to small bodies of cordieritic granite and metamorphic septa that upgrade from weak contact to strong grade of metamorphism, emplaced at low depth. The first data (spatial and temporal associations, etc.) suggest a genetic relation to a heterogeneous source, with contamination, by crustal materials and other processes, of mantelic arc magmas.*

**Key words:** *Plutonism, Metamorphism, Lower Paleozoic, Pampean Ranges, Los Llanos batholith*

*Geogaceta, 20 (7) (1996), 1672-1675*

*ISSN: 0213683X*

## Introducción

Al iniciarse el Proyecto 345 del PICG (Andean Lithospheric Evolution), actualmente en curso, el grupo español, en colaboración con los geólogos argentinos y de otros países, concentró sus investigaciones sobre el plutono- metamorfismo del basamento. Se han realizado varias campañas con el fin de seleccionar las áreas de estudio más adecuadas, según una larga transversal aproximada E-W que va desde la inmediaciones de Córdoba a las de San Juan, pasando por la provincia de La Rioja (Fig. 1). Las razones de tal preferencia estriban en que se corta al conjunto de las Sierras Pampeanas (muy representativo del SW gondwánico) por su parte más amplia, en donde las hipótesis más recientes discuten las posibilidades de procesos de colisión de terrenos más o menos alóctonos durante el Paleozoico y, en general, los mecanismos tecto- magmáticos que han actuado durante un periodo que manifiesta una historia geológica pre-pérmica de más de 200 m.a. (síntesis de Rapela *et al.*, 1992).

Como es obvio, resulta absolutamente clave para esta finalidad determinar edades por diversos métodos en materiales ígneos y metamórficos (objetivo prin-

cipal) y las caracterizaciones petrológica y geoquímica de ambos tipos endógenos, actualmente en curso de realización. Ya en trabajos anteriores se indicaban las relaciones entre las asociaciones plutónicas y las secuencias de metamorfismo y deformación en el ámbito regional, pero los trabajos son mucho más complicados de lo supuesto inicialmente. En esta primera elaboración se presentan los resultados obtenidos en una zona elegida por su representatividad, a pesar de que los trabajos previos eran casi inexistentes. Se da una asociación espacial (y, teniendo en cuenta los datos preliminares, parece que también temporal) entre los granitoides meta-aluminosos con otros fuertemente peraluminicos, siendo los primeros plutones típicos de arco magmático. Los rasgos ígneos texturales, junto a las características del metamorfismo de contacto, son potencialmente valiosos en orden a establecer condiciones de cristalización y emplazamiento que se coordinen en el entorno geológico circundante.

## Antecedentes y aspectos generales

La zona seleccionada, Sierra de Los Llanos (Fig. 1), no ha sido objeto de estudios específicos sobre los temas aquí tratados. Caminos (1979) trató los aspectos

regionales y Zuzek (1978) incluyó parte del área en la descripción de la hoja de Chamical (E.=1:200.000). Dahlquist (1995), para su trabajo final de Licenciatura, realizó un corte más al Sur, centrado en los aspectos petrográficos y de campo.

La gran mayoría de los materiales son granitoides, con una foliación marcada y típica del entorno regional (320-340°E, con buzamiento 40-70°E); son frecuentes las milonitas, con una dirección análoga. Esta sierra tiene una morfología característica del NW argentino: son bloques de basamento, rodeados por una cubierta arenosa horizontal y reciente, que destacan en el paisaje. Aquí, el basamento, está constituido esencialmente por rocas plutónicas que engloban septos metamórficos muy subordinados, desde filitas de grado bajo (con deformaciones, estratificación, etc., bien visibles) hasta corneanas de alto grado (Fig. 2). El clima árido favorece la conservación, pero la cubierta vegetal impide el acceso a partes muy importantes del cuerpo. Por este motivo, se han realizado numerosos cortes geológicos menores; en la figura 2 se indican, mediante líneas de trazos, los más importantes. El bloque está basculado hacia el W (su parte oriental es muy abrupta y casi inaccesible), por lo que la erosión en valles es notoria y facilita las observaciones. En

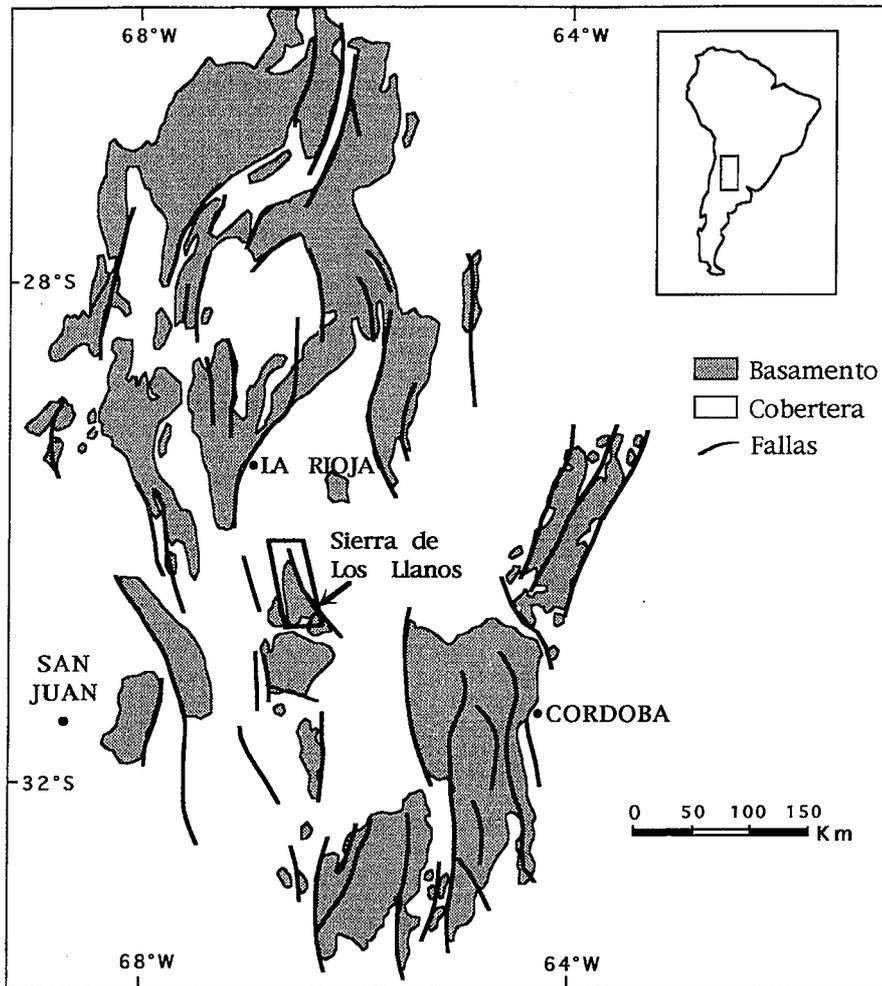


Fig. 1.- Mapa geológico del basamento de las Sierras Pampeanas (simplificado de Rapela et al., 1992).

Fig. 1.- Geological map of the Sierras Pampeanas basement (simplified after Rapela et al., 1992).

resumen, puede asegurarse que la visión del cuerpo es suficientemente representativa.

### Metamorfismo

Las observaciones de campo, junto con las relaciones texturales, permiten caracterizarlo. Existe un primer evento metamórfico (M1), regional de grado medio-bajo ligado a una primera deformación, al que sigue otro, M2, ya térmico, para concluir con un tercero (M3) en relación con una segunda deformación, observables en todo el afloramiento. El dinamometamorfismo, manifestado por cataclasis y milonitización, afecta a todos ellos. Este conjunto se puede coordinar con el esquema general para las Sierras Pampeanas sintetizado por Rapela et al., (1992), con matices.

Las rocas metamórficas masivas están dispersas en el batolito. Las que se sitúan en las partes central y meridional son filitas con biotita y moscovita que, en alguna ocasión, muestran un moteado incipiente, alter-

nantes con niveles de meta-arenisca. Sin embargo, en el septa más occidental (Fig. 2) ya hay esquistos biotíticos, biotíticos-sillimaníticos (alternantes con niveles más cuarzosos y, a veces, calcosilicatados) que, hacia el W pasan a corneanas de más alto grado, de grano medio con cordierita, andalucita, sillimanita y feldespato potásico. En contacto con los cuerpos más básicos, la recrystalización es total, el grano es muy fino de cordierita, cuarzo, biotita, andalucita, feldespato potásico y alguna plagioclasa.

Todos estos rasgos sugieren un emplazamiento más bien somero, comparable al que se ha encontrado en áreas al N para plutones petrológicamente con semejanzas a éste que incluyen niveles del Ordovícico inferior fosilíferos y de rocas volcánicas (Toselli et al., 1990). Sin embargo, muy próximos aparecen cuerpos graníticos con rasgos que indican profundidades mucho mayores, valoradas por geotermobarometría de hornblenda (Sial et al.,

1995; Saavedra et al., 1992). Es evidente que han existido importantes movimientos de bloques en la vertical en todo el entorno.

Por otra parte, las corneanas del septa más occidental (Fig. 2) son compatibles sólo con una temperatura magmática alta. Como esto no ocurre en los casos restantes, hay que pensar en una heterogeneidad térmica para el batolito.

### Granitoides meta-aluminosos

Constituyen la casi totalidad del cuerpo ígneo. Presentan varias facies. Las más máficas están subordinadas, pero aparecen irregularmente por todas partes, en dimensiones deca-ahectométricas, en general, que no permiten una cartografía a escala de trabajo. La alineación regional puede dar una foliación, más claramente visible en los términos intermedios o félsicos, pero a veces orienta los minerales sin deformarlos mecánicamente, lo que sugiere un emplazamiento y cristalización durante esta fase. Hay un cortejo pegmatítico y aplítico, claramente diferenciado, con cuerpos de varias edades relativas; las pegmatitas son típicas de emplazamientos a poca profundidad: unas, anteriores, con cuarzo, feldespato potásico y turmalina (sin micas) y otras con cuarzo ahumado, feldespato alcalino, triplita, granate, molibdenita, mica ferrífera y minerales de U (tipos I y II de Ginzburg et al., 1979).

La roca regional es granodiorita-tonalita de grano medio, con biotita, en ocasiones con hornblenda, apatito, allanita, titanita, epidota, opacos y circón. Contiene numerosos enclaves microgranulares máficos, aislados, en agrupaciones irregulares o pasillos tabulares, con bordes más o menos netos.

Las dioritas aparecen a veces en los septa metamórficos, dando lugar a aureolas metamórficas de poco espesor. La hornblenda es muy abundante; en ocasiones, aparece en grandes cristales, en masas de grano muy grueso dispersas en la roca, indicando la presencia de una fase acuosa importante. Es muy común la presencia de magnetita y, en menor grado, ilmenita, allanita, pirrotina, pentlandita, pirita, calcopirita, circón y otros accesorios.

Finalmente, aparecen las rocas más evolucionadas (monzogranitos leucocráticos con feldespato potásico, plagioclasa, moscovita, algo de biotita y granate muy accesorio) en pequeños cuerpos intruidos en la granodiorita-tonalita regional.

Todos estos granitoides presentan el índice de aluminosidad de Shand típico de rocas meta-aluminosas. En las más diferenciadas, evidentemente, por cristalización y separación de hornblenda, dicho índice pue-

de ser algo mayor, sin sobrepasar el valor de 1,1. El quimismo de los elementos mayores (aplicado a los diagramas ordinarios, como los de Irvine y Baragar, 1971 y los usuales) indica que las facies más máficas, dioritoides, tienen características tholeiíticas, y calcoalcalinas las restantes, tal y como se ha citado en otras localidades de la Sierras Pampeanas, como típicos de sin-colisión, de arco (ver referencias anteriores).

**Granitoides peraluminicos**

Si bien se conocen granitos cordieríticos en la región, éstos aparecen en plutones bien diferenciados de los meta-aluminosos. Aquí se encuentran íntimamente asociados y englobados en ellos, como pequeños plutones de rango hectométrico a kilométrico (Fig. 2). Contienen cuarzo, cordierita, microclina, plagioclasa, micas y abundantes opacos (intercrecimiento de magnetita, hematites, e ilmenita). La cordierita suele tener rasgos magmáticos, pero a veces presenta inclusiones sillimaníticas de aparente herencia metamórfica. Muy escasa turmalina y calcopirita.

**Interpretación y discusión**

Hay varias alternativas para explicar la asociación encontrada de granitoides meta- (o pobremente) aluminosos, todas actualmente en consideración. Aquí se hace un avance provisional de posibilidades, sin que, hasta que no se concluya la fase de obtención de datos, pueda establecerse una determinada como la única. El mecanismo debe tener en cuenta que no se trata de un caso puntual, sino que muchos rasgos se repiten en otros plutones del entorno.

Una diferenciación (o fusión parcial) de una fuente homogénea para generar las rocas tholeiíticas (las menos) y calcoalcalinas (dominantes de forma abrumadora), teniendo en cuenta su forma de presentación en masas que, aunque manifiestan a veces una clara interacción, se diferencian con claridad, resulta difícil de explicar en principio.

La procedencia de una fuente heterogénea, debida a la asimilación diferenciada de materiales corticales (génesis de magma calcoalcalino por contaminación del tholeiítico) es más discutible. Desde luego, no se tienen evidencias de campo del material metamórfico visible regionalmente. Parece lógico que un magma que ha atravesado un espesor cortical tan considerable (emplazamiento somero) tenga que haber sufrido en mayor o menor grado este proceso, pero a nivel inaccesible a la observación directa. Sin embargo, el magma de origen más profundo, tholeiítico, en el terreno se ve inyectado

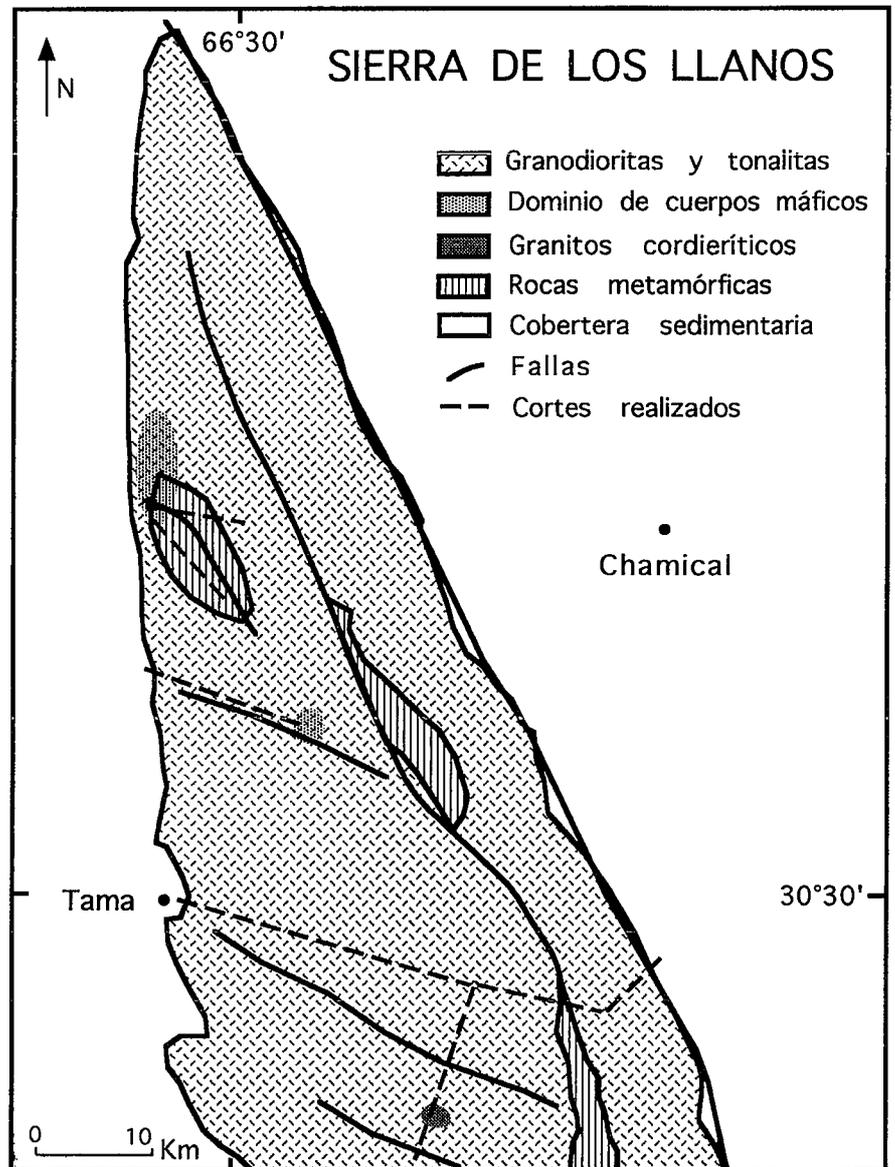


Fig. 2.- Esquema geológico de la Sierra de Los Llanos.

Fig.2.- Geological sketch of the Sierra de Los Llanos.

y desmembrado en el calcoalcalino; no se excluye una génesis por cierta contaminación de éste último, pero es evidente que hay dos magmas, que pueden tener un origen vinculado por su asociación espacio-temporal.

Otra forma de adquirir el caracter heterogéneo es por subducción del fondo oceánico (con los sedimentos marinos asociados que pudiera tener), deshidratación del manto, reacción de la cuña mantélica con los productos de reacción de estos materiales y generación de magma granítico. Tatum *et al.*, ( 1986), basándose en datos experimentales, han puesto de relieve el en-

riquecimiento en elementos de radio iónico grande, como el K, en tales fluidos.

La presencia de masas de granitos cordieríticos asociados a meta-aluminosos, como la que aquí se ha descrito, no implica forzosamente un origen exclusivo por anatexis de sedimentos de la corteza superior. Los experimentos a presiones altas de Patiño Douce (1995) y Patiño Douce y Beard (1995) han mostrado que se pueden generar fluidos muy silíceos peraluminicos (>70% SiO<sub>2</sub>), que dan granitos cordieríticos, por reacción de basaltos con rocas metamórficas o por deshidratación y fusión de gneises biotíticos y cuarzo-anfibolitas (esto

es, protolitos pobres en Al). Entonces, la heterogeneidad mantélica por los mecanismos antes citados puede explicar las asociaciones encontradas aquí y en otras partes de los granitos pampeanos de arco.

#### Aspectos económicos

En este área, la actividad geológica económica ha sido, tradicionalmente, la explotación de los granitos como rocas ornamentales. Sin embargo, los rasgos generales antes aludidos (mineralogía, profundidad del área fuente de los magmas, enriquecimiento local en fases fluidas, etc.) sugieren la posibilidad de otras alternativas de interés minero. Los primeros resultados indican la presencia de metales preciosos en cantidades normales o ligeramente altas en este tipo de rocas (caso de Au y Ag) o anomalías positivas más acusadas (Pt), que justifican una investigación más detallada como la que está actualmente en curso.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado por la concesión de una beca del Plan Nacional de Formación del Personal Investigador del Ministerio de Educación y Ciencia de España a uno de los autores (M.I.P.); el intercambio de personal científico entre el CSIC español, CONICET argentino y la financiación por la CEE a través del Proyecto CII-CT92-0088. Los autores agradecen a los geólogos J. Dahlquist, M. Arnosio y C. Mazzieri su colaboración en los trabajos de campo.

#### Referencias

- Caminos, R. (1979).- En: *Geología Regional Argentina*. Ed.: Leanza, A. F. Acad. Nac. C.C. de Córdoba, 1, 225-292.
- Dahlquist, J. A. (1995).- *Tesis de Licenciatura (inédita)*. Universidad Nacional de Córdoba, 165p.
- Ginzburg, A. I., Timofeyev, I. N. y Feldman, L. G. (1979). *Principios de geología de las pegmatitas*. Nedra, Moscú, 266p.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971). *Canadian Jour. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Patíño Douce, A. E. (1995). *J. Geophys. Res.*, 100, (B8), 15623-15639.
- Patíño Douce, A. E. & Beard, J. S. (1995). *J. Petrol.*, 36 (3), 707-738.
- Rapela, C. W., Coira, B., Toselli, A. and Saavedra, J. (1992). *Int. Geol. Rev.*, 34, N° 11, 1081-1142.
- Saavedra, J., Pellitero-Pascual, E., Rossi, J. N. and Toselli, A. (1992). *Jour. South Amer. Earth Sci.*, 5, 21-32.
- Sial, A. N., Toselli, A. J., Saavedra, J., Ferreira, V. P. and Rossi de Toselli, J. N. (1995). *III Hutton Symp.*, Maryland, 141-142. U. S. Geol. Surv. Circular 1129.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D. L. and Nesbitt, R. W. (1986). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 29, 293-309.
- Toselli, A., Saavedra, J., Pellitero, E., Rossi de Toselli, J. N., Aceñolaza, F. G. y Medina, M. E. (1990). *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, 45, 313-322.
- Zuzek, A. B. (1978). Descripción geológica de la hoja 18f. Carta Geol. Econ. de la Rep. Arg. *Serv. Geol. Nac.* Buenos Aires.