

Análisis petrológico estructural del basamento encajonante del Batolito Cerro Áspero, Sierra de Comechingones, Córdoba

Stefania RADICE^{1,2}, Jonatan ARANGUE³, Marcelo R. FAGIANO¹, Lucio. P. PINOTTI^{1,2} y Eber A. CRISTOFOLINI^{1,2}

Resumen: El presente trabajo aborda las relaciones de campo y los rasgos petrológicos y estructurales del basamento cristalino encajonante del Batolito Cerro Áspero, Sierra de Comechingones, Córdoba. El complejo metamórfico está compuesto principalmente por metatexitas y diatexitas, de manera subordinada aparecen cuerpos de gneises biotíticos granatíferos, anfíbolitas, filonitas, pequeños bancos de mármoles y cuerpos pegmatíticos graníticos. Se ha inferido para este conjunto litológico, un protolito heterogéneo que grada desde pelitas típicas a pelitas bajas en alúmina e inclusive grauwacas con cantidades subordinadas de rocas carbonáticas y vulcanitas. Estos estudios y las correlaciones regionales permitieron establecer una secuencia evolutiva para el área.

Abstract: *PETROLOGICAL STRUCTURAL ANALYSIS OF THE CERRO ÁSPERO BATHOLITH HOST ROCKS, SIERRA DE COMECHINGONES, CÓRDOBA.* In this paper, field relationships, petrological and structural features of the Cerro Áspero batholith host rocks, Sierra de Comechingones, Córdoba, are presented. These rocks constitute a metamorphic complex that is mainly composed of diatexitas, metatexitas and minor Bt-Grt-gneisses, amphibolites, phyllonites, marbles and small bodies of granitic pegmatites. A heterogeneous composition for this set is inferred, where typical pelites, pelites with low Al₂O₃ and greywacke protoliths dominate, with subordinate amounts of carbonatic rocks and volcanites. These studies and regional correlations allowed establishing an evolutionary model for the study area.

Palabras claves: Sierras de Comechingones. Petrología. Estructuras. Metamorfismo. Secuencia Evolutiva.

Keywords: Sierras de Comechingones. Petrology. Structure. Metamorphism. Evolutionary Sequence.

Introducción

El área de estudio se ubica en el sector centro-oriental de la Sierra de Comechingones entre las localidades serranas de Alpa Corral y Río de los Sauces, provincia de Córdoba (*Figura 1*). La misma se caracteriza por un basamento metamórfico Eopaleozoico, integrado esencialmente por metatexitas, diatexitas y gneises biotíticos granatíferos. Subordinadamente aparecen cuerpos de anfíbolitas, mármoles, pegmatitas y filonitas.

El área fue cartografiada y estudiada en detalle, tanto en sus aspectos petrográficos como estructurales por Arangue (2010) y Radice (2010). Otros trabajos que abarcan las pedanías y alrededores de la zona de trabajo son los de Guerreschi y Baldo (1993), Guerreschi y Martino (1998, 2002, 2003), Fagiano *et al.* (1997, 2002a y b), Otamendi *et al.* (2004), Sommaro (2005) Cristofolini (2008) y Tramannoni (2008), entre otros.

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización petrológica y estructural de una

¹) Dpto. de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 (km 601) Río Cuarto, Argentina.

²) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina. E-mail:stefiradice@gmail.com

³) Patagonia Gold, Santa Cruz. E-mail: jarangue@patagoniagold.com

porción del basamento metamórfico como encajonante de el Batolito Cerro Áspero, ubicado en el sector centro-oriental de la Sierra de Comechingones.

Se accede a la misma por ruta nacional N° 36, desviando por ruta provincial E-11 hasta la localidad de Alpa Corral y finalmente por ruta prov. E-23 (“Camino de la Costa”) hasta la localidad de Río de los Sauces.

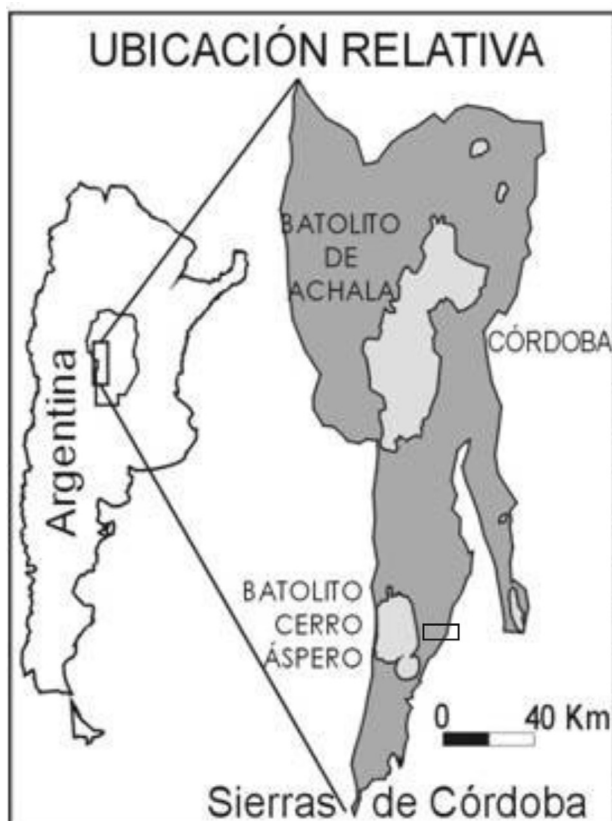


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Sierra de Córdoba, tomado de Arangue y Radice (2010).

Petrología

En el área de estudio se han identificado migmatitas (metatexitas y diatexitas), gneises, anfíbolitas, filonitas, mármoles, pequeños cuerpos ultrabásicos y cuerpos pegmatíticos graníticos. A continuación se describirán en detalle las litologías que responden al encajonante del batolito Cerro Áspero, haciendo hincapié en sus características petrológicas y estructurales. Las asociaciones minerales reconocibles se detallan en el *tabla 1*. Las abreviaturas utilizadas para los minerales corresponden a Kretz (1983).

METATEXITAS. Constituyen la unidad predominante del área (*Figura 2*), junto con las diatexitas, quedando el resto de las litologías subordinadas e inmersas en ellas. En fotografía aérea presentan un tono gris claro y textura rugosa, levemente anisótropa. Se disponen en lomas alargadas y subredondeadas que en afloramiento dan un típico aspecto de “lomos de ballena”. Presentan un diaclasado ortogonal de alta densidad, pudiéndose desarrollar en

algunos sectores geofomas erosivas tipo *taffonis* y alvéolos.

Mesosópicamente son rocas de grano medio a grueso que internamente exhiben un bandeo composicional continuo marcado por la alternancia del leucosoma (L) con el melanosoma (m) (Figura 3 A y B). Esta unidad es comparable con las Estromatitas de Huerta Vieja descrita por Guerreschi y Martino en numerosos trabajos (1998, 2002, 2003).

En la mayoría de los afloramientos se identifica una foliación grosera, bien marcada (S_2) de rumbo submeridional NNO-SSE y buzamiento de mediano ángulo al este.

Dentro de estos cuerpos migmatíticos suelen encontrarse abundantes tabiques. Estos, se

Litologías	Paragénesis Mineral
Metatexitas	L: Qtz ₂ +Pl ₂ +Kfs ₂ ±Grt ₂ ±Bt ₂ . m: Bt ₂ +Sil ₂ +Grt ₂ M: Qtz ₂ +Pl ₂ +Bt ₂ Grt ₂ +Sil ₂ .
Diatexitas	Qtz ₂ +Pl ₂ +Kfs ₂ ; Qtz ₂ +Pl ₂ +Kfs ₂ +Sil ₂ Qtz ₂ +Pl ₂ +Grt ₂ +Bt ₂
Gneises biotíticos granatíferos	Qtz ₂ +Pl ₂ +Bt ₂ +Grt ₂ +Sil ₂ ±Sil ₃ ; Qtz ₁ +Pl ₁ +Bt ₁ ±Grt ₁ .
Anfibolitas	Hbl-Pl±Qtz±Ep±Cal±Zrn±Ms±Ser-Op-Zo-Ttn.
Filonitas	Matriz: Chl ₃ -Bt ₃ -Ser ₃ -Ms ₃ - (±Sil ₂ ±Qtz ₂) Porfiroclasto: Qtz ₂ +Pl ₂
Mármoles	Do+Di+Cal-(±Fo±Tr)

Tabla 1. Principales litologías y paragénesis minerales reconocidas en el área de estudio.

corresponden en algunos casos a restos desmembrados de gneises de grano fino, aunque también se han observado *resisters* de anfibolitas en menor medida. Internamente estos tabiques presentan una foliación de carácter relictica (S_1) pero que, en todos los casos, se ubica paralela a la foliación regional (S_2).

El **leucosoma** es de color blanco a rosado, tamaño de grano medio a grueso y textura granoblástica. Está compuesto esencialmente por Qtz₂+Pl₂+Kfs₂ y ocasionalmente Grt₂+Bt₂. Se conforma de bandas discontinuas equigranulares, de espesores variables (0.5 a 4 cm), y por sectores se encuentran anastomosadas y plegadas.

El **melanosoma** se define como una porción de bandas muy discontinuas, relativamente delgadas con espesores que van desde los pocos milímetros al centímetro, de tamaño de grano fino a medio, color negro a gris oscuro y textura lepidoblástica. Está compuesto por finas láminas de filosilicatos (Bt₂) acompañada por cristales de sillimanita prismática (Sil₂) y fibrolita (Sil₃) en menor medida. Su paragénesis es: Bt₂+Sil₂+Grt₂

El **mesosoma** se encuentra inmediatamente en contacto con la finas folias del melanosoma y en algunas rocas en contacto directamente con el leucosoma ya que el melanosoma no es continuo a lo largo de toda la litología. Se caracteriza por una coloración gris clara y por la presencia de bandas flexuradas y plegadas, con pliegues similares a los observados en el leucosoma y melanosoma. Presenta una textura granolepidoblástica a lepidogranoblástica, con biotita y sillimanita, con un tamaño de grano que varía de medio a fino. Está compuesto por cuarzo (Qtz₂), plagioclasa (Pl₂) y biotita (Bt₂), en tanto que el granate (Grt₂) y la sillimanita (Sil₂) aparecen en menor proporción.

Las características de estas migmatitas no son uniformes en toda el área de estudio, hacia el oeste, en inmediaciones del contacto con el batolito Cerro Aspero, se observa que la misma presenta una textura deformacional sobreimpuesta que oblitera parcialmente a la

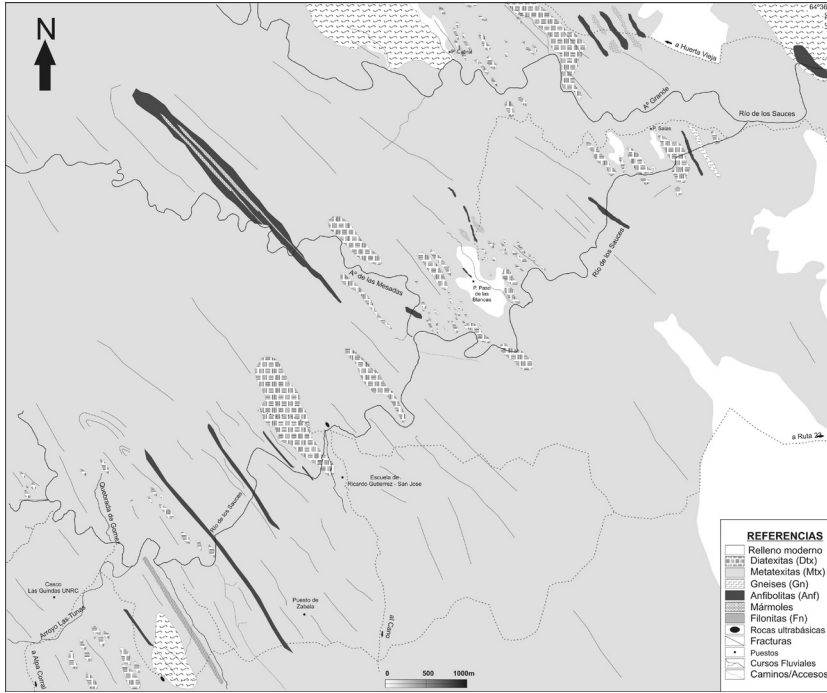


Figura 2. Mapa litológico del sector centro-oriental de la sierra de Comechingones.

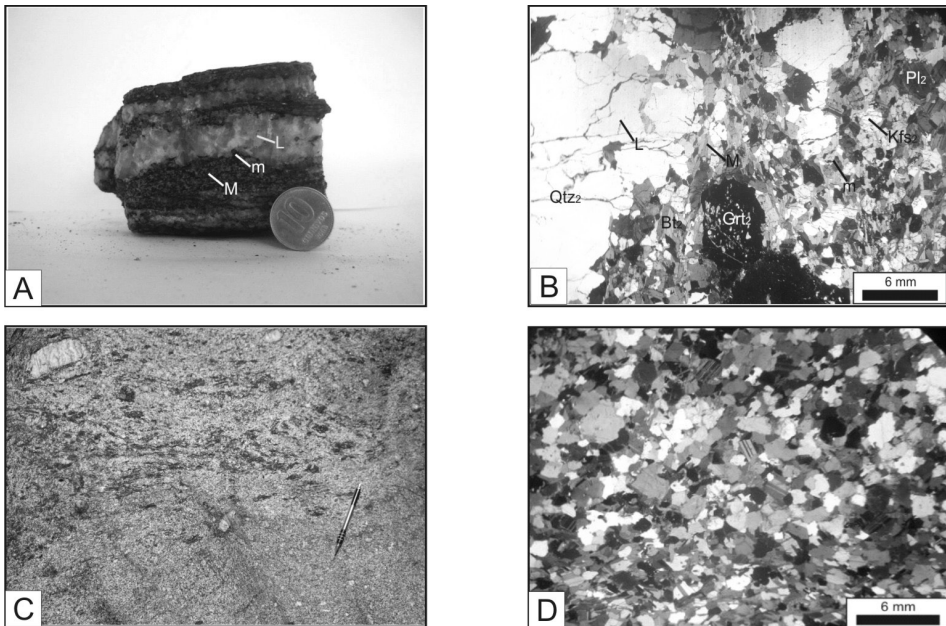


Figura 3. A) Estructura metatexitica en la que se distingue Leucosoma (L), melanosoma (m) y mesosoma (M). Diámetro moneda = 18 mm. B) Fotomicrografía de la textura general de L-m-M. C) Pasaje gradual de la diatexitita inhomogénea (moteada) a la diatexitita homogénea. Lápiz portaminas = 140 mm. D) Fotomicrografía de diatexitita homogénea, obsérvese el desarrollo de algunas motas de Bt en la región inferior de la foto.

textura migmatita. Este conjunto de rocas se caracterizan por el escaso desarrollo de los porfiroclastos de plagioclasa cuarzo y granate en un porcentaje de matriz menor al 10 %, compuesta por filosilicatos (Chl-Bt-Ser-Ms), sillimanita y fibrolita, por lo que se decidió clasificarlas aquí como *migmatitas deformadas*.

DIATEXITAS. Aparecen intercaladas y subordinadas a las metatexitas, siendo el pasaje de una unidad litológica a otra de tipo transicional (*Figura 2*). Fotogeológicamente se distinguen por su tono gris oscuro y textura rugosa gruesa, constituyendo lomadas con una ligera orientación noroeste-sudeste.

Al igual que en las metatexitas pueden observarse variaciones dentro de la misma diatexita que permiten definir las como diatexitas *inhomogéneas* y *homogéneas* (*Figura 3C*).

En muestra de mano presentan un aspecto masivo, textura granoblástica de grano medio a grueso. Ambas variedades de diatexitas exhiben afinidades mineralógicas entre sí, con leves variaciones en las proporciones de algunos minerales, estando compuesta generalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, granate, biotita, bajas concentraciones de sillimanita, muscovita, sericitas y accesorios (apatita y circón).

En ambos tipos es frecuente la aparición de fragmentos de rocas metatexiticas bandeadas y plegadas incluidas dentro de la unidad diatexitica, así como también *resister* o *rafts* de gneises y anfibolitas.

La variedad denominada *diatexita inhomogénea* (Brown 1983) corresponde a una roca de tonos grises, maciza y de grano medio a grueso. Se caracteriza por la presencia de motas ó máculas de biotita orientadas paralelas a la foliación regional S_2 (NNO-SSE). Esta estructura interna corresponde con el subtipo oftálmico y *schlieren* definidas por Menhert (1968).

Las *diatexitas homogéneas* presentan una textura netamente granoblástica con dominio de minerales félsicos como Qtz-Pl-Kfs y bajo porcentaje de Bt-Sil. Su característica más sobresaliente es la presencia de una estructura masiva, junto con el desarrollo de porfiroblastos de Kfs de tamaño milimétrico a centimétrico que, en la mayoría de los casos, pueden alcanzar tamaños de 3 a 7 cm.

En función de los estudios de cortes delgados se determinó una estructura homogénea con el desarrollo de una microestructura planar de tipo foliación metamórfica discontinua pobremente marcada y una textura granoblástica homogénea, constituyendo una matriz granular cuarzo-feldespática (*Figura 3D*). Las paragénesis reconocidas son: $Qtz_2 + Pl_2 + Kfs_2$; $Qtz_2 + Pl_2 + Kfs_2 + Sil_2$; $Qtz_2 + Pl_2 + Grt_2 + Bt_2$.

GNISES BIOTÍFICOS GRANATÍFEROS. Se encuentran ubicados en la porción norte y sureste del área de estudio, subordinada a las migmatitas (*Figura 2*), pero en concordancia con el patrón estructural S_2 .

Los gneises son rocas de tonos grises y tamaño de grano fino. En afloramiento, desarrollan un patrón lajoso de rumbo NNO-SSE y buzamiento de mediano ángulo al este. Internamente exhiben una fábrica granolepidoblástica bien marcada resultado del bandeo composicional, con Qtz-Pl en la fracción granoblástica y Bt-Grt \pm Ms \pm Sil en las fracciones lepidoblásticas (*Figura 4A y B*). La paragénesis definida para el gneis está determinada por: $Qtz_2 + Pl_2 + Bt_2 + Grt_2 + Sil_2 \pm Sil_3$; $Qtz_1 + Pl_1 + Bt_1 \pm Grt_1$.

ANFIBOLITAS. Estas rocas afloran en fajas kilométricas distribuidas erráticamente (*Figura 2*) e intercaladas entre las litologías antes mencionadas. Forman bancos de potencia métrica a decamétrica. Estructuralmente se posicionan concordantes con los gneises y migmatitas del área, poseen buzamiento de mediano ángulo al este (*Fig. 4c*). A escala de afloramiento exhiben un marcado plegamiento con planos axiales paralelos a la foliación regional del área (S_2).

La composición mineralógica global está conformada por $Anf(Hbl)+Pl\pm Qtz\pm Ep$. Internamente exhiben un bandeo composicional, dado por la alternancia de las fracciones melanocráticas, integrada por anfíboles, con las félsicas ($Qtz-Pl$), la cual puede estar ausente en las variedades más homogéneas. El epidoto aparece bajo la forma de incipientes coronas rodeando los anfíboles, en respuesta de una retrogradación metamórfica.

Las fracciones félsicas reflejan a menudo procesos de *boudinage* y el desarrollo de estructuras tipo “*pinch and swell*”.

Las anfibolitas suelen aparecer como *resister*, centimétricos e incluso métricos, incluidos en las metatexitas del área. La morfología de dichos tabiques suele ser elongada e incluso plegada.

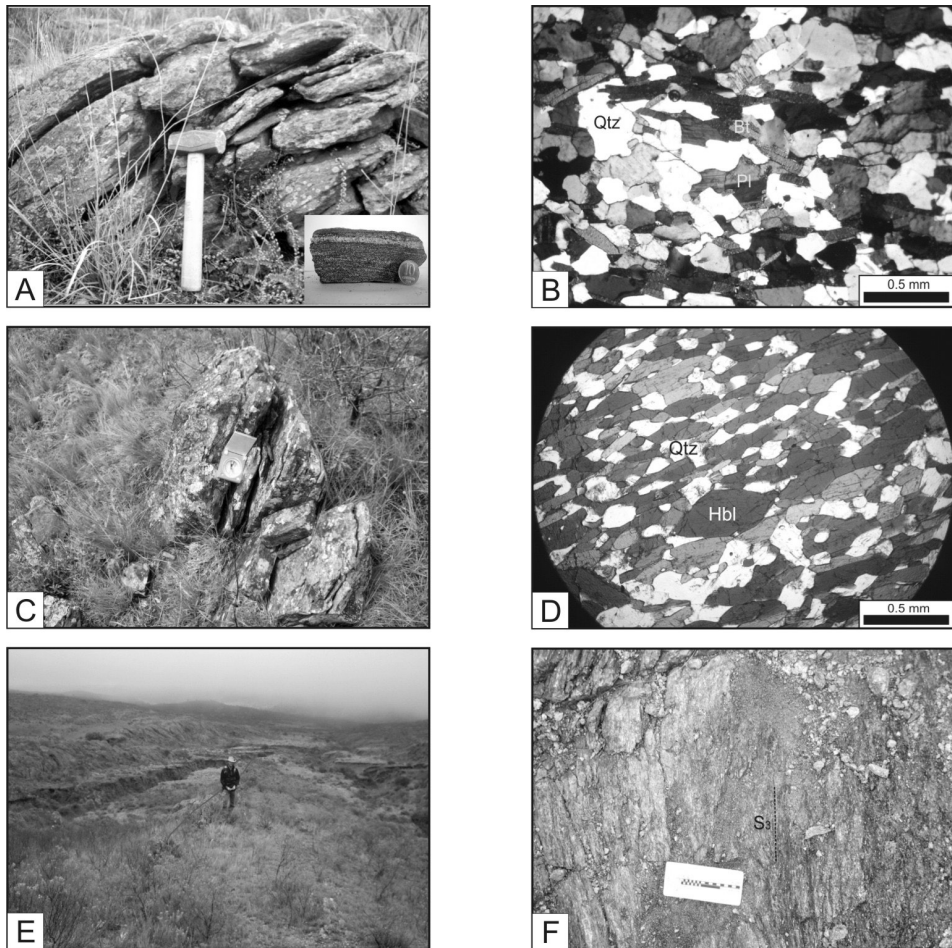


Figura 4. A) Foto de campo con detalle de campo de gneis Bt-Grt. Diámetro de la moneda = 18 mm, Masa = 300 mm. B) Fotomicrografía que muestra la textura granolepidoblástica del gneis. C) Foto de campo de anfibolita. Se observa su morfología tabular, subangular, de aspecto lajosa. D) Fotomicrografía de textura granonematoblástica y el desarrollo de algunos cristales de Hbl euhedros en las anfibolitas. E) Foto de campo de las filonitas en forma de filetes. F) Foto de campo que muestra, en tonos de gris claro, la presencia de minerales micáceos sobre los planos de foliación. Escala = 50 mm.

En el análisis de lámina delgada se pudo definir una clásica textura granonematoblástica cuya composición mineralógica global está definida por $Hbl-Pl \pm Qtz \pm Ep \pm Cal \pm Zrn \pm Ms \pm Ser-Op-Zo-Ttn$ (Figura. 4D).

FILONITAS. En la zona de estudio aflora un conjunto de rocas generadas durante un evento tectono-deformacional de carácter dinámico, que de acuerdo con las definiciones de Passchier y Trouw (1996) se corresponden con rocas de la serie milonítica más precisamente *filonitas*.

Se ubican en el sector sureste del área de estudio (Figura 2), interdigitándose con las metatexitas (posible protolito). Morfológicamente se encuentran conformando filetes y cuerpos mayores tabulares, con un tamaño de grano medio a fino y color pardo amarillento debido al incremento de óxidos de hierro y sericita sobre los planos de foliación (Figura 4E y F).

Presenta una estructura planar, de geometría anastomosada, caracterizada por una fábrica deformacional o milonítica (S_3), de rumbo NNO-SSE y buzamiento de mediano a alto ángulo al este. Además, se observa el desarrollo de una lineación mineral (L_3) dada por la orientación de clorita, biotita y muscovita, de inmersión al este.

En función del análisis macroscópico y microscópico, se define una textura granolepidoblástica con el desarrollo de una matriz de grano fino a muy fino, dada por la presencia folias de filosilicatos $Chl_3-Bt_3-Ser_3-Ms_3$, y porfiroclastos compuestos principalmente por Qtz_2 y Pl_2 .

MÁRMOLES. Entre las litologías del área de estudio los mármoles no resultan tan abundantes y su presencia se limita a algunos escasos afloramientos, dispuestos de forma saltuaría entre las unidades rocosas antes descriptas.

No obstante, cabe destacar que algunas de las manifestaciones más importantes se encuentran ubicadas en la porción central del área de estudio. Los mismos se corresponden con mármoles calcodolomíticos que afloran bajo la forma de grandes bancos subconcordantes a la estructuración regional. Suelen contar con potencias decamétricas, rumbo NO y buzamiento de mediano ángulo al E. La asociación más frecuente en campo la desarrollan con las anfibolitas del área.

En general se caracterizan por ser una roca de color gris a gris oscuro, con textura masivas y tamaño de grano medio a grueso. Están compuestos por Dol+Di+Cal, con tremolita y forsterita (serpentina) como accesorios más comunes (Guereschi y Baldo 1993).

CUERPOS APLO-PEGMATÍTICOS. En todo el basamento cristalino del área de estudio, ha sido posible diferenciar una serie de cuerpos pegmatíticos, los cuales suelen ser sub-circulares a ovoidales, y de diámetro variable generalmente entre 10 y 30 m. Aunque también, pueden presentarse bajo la forma de diques tabulares con corridas longitudinales decamétricas y hasta cinco metros de potencia.

La composición de las mismas es de tipo granítica, con $Qtz-Kfs-Pl-Ms$ en megacristales inintercrecidos entre sí con una textura gráfica. Los cristales de muscovita se disponen en paquetes, de 20 cm de longitud, en tanto que los feldespatos y cuarzos pueden desarrollar cristales que alcanzan los 10 cm.

En general, las pegmatitas son subconcordante en cualquiera de las litologías que se emplaza y suelen desarrollarse interpuestas entre bancos de anfibolitas y metatexitas.

Estructura

En el basamento cristalino de la zona de estudio se identificaron y registraron una serie de estructuras planares y lineares. Las estructuras fueron clasificadas siguiendo los criterios de Hobbs *et al.* (1981) y McClay (1987) como foliaciones metamórficas (relictiva y regional), foliación milonítica, pliegues de escala centimétrica, métrica y decamétrica, *mullions*, *boudinages*, estructuras tipo *pinch and swell* de escala centimétrica y lineación mineral.

FOLIACIÓN. Las foliaciones reconocidas en el área han sido caracterizadas como foliación metamórfica y foliación milonítica. En lo que refiere a la foliación metamórfica dentro de la misma se han observado dos tipos de estructuras planares denominadas foliación relictiva (S_1) y foliación regional (S_2).

La foliación S_1 puede reconocerse solo a escalas mesoscópicas y microscópica. Se encuentra representada por la foliación de rocas gnéicas y anfibolitas preservada únicamente en los tabiques, *resister* y *raft* incluidos en las unidades migmáticas del área de estudio (Figura 5A). La misma se corresponde con un proceso de segregación metamórfica que da lugar a una fábrica granolepidoblástica con alternancia de bandas micáceas (Bt) y cuarzo-feldespática en los gneises y bandas de anfíbol (Hbl) y cuarzo-feldespáticas para las anfibolitas. Internamente los tabiques suelen exhibir como rasgo notorio, el crecimiento de granate con morfología elongada en igual sentido de la foliación (S_1), señalando una blastésis sin-cinématica en relación al evento M1-D1 (Arangue, 2010). Esta evidencia textural sería coherente con lo propuesto por Guerreschi y Martino (2003), quienes plantean que el mismo sería esencialmente de carácter dinámico y desarrollado en facies de anfibolita afectando a toda la comarca (Martino *et al.* 1995; Otamendi *et al.* 2004 y Arangue, 2010).

No obstante esta foliación se encontraría actualmente obliterada resultado de la inmersión de dichos tabiques en el flujo migmático que las reorientó en el mismo sentido que la foliación regional (S_2), concordantes con las litologías hospedantes.

En lo que refiere a la foliación regional S_2 , la misma se desarrolla en todas las litologías del área de estudio. La orientación preferencial que toma esta foliación regional de rumbo submeridional NNO-SSE y buzamientos de mediano a alto ángulo, casi siempre dirigidos al cuadrante NE, coherentes con el descrito por Dalla Salda (1984).

En las metatexitas esta foliación queda definida por el bandeo composicional que delimitan los tres segmentos migmáticos: leucosoma (L), melanosoma (m) y mesosoma (M), cada uno de ellos con potencias que van desde milimétricas a centimétricas denotando una foliación grosera, bien marcada (Figura 5B). En el caso de las diatexitas, esta foliación S_2 , sólo es apreciable en variedades inhomogéneas a partir de la orientación preferencial que exhiben las máculas de $Bt_2 + Sil_2 + Grt_2$, preservadas a modo de *schlierens*. Por último en los gneises y anfibolitas esta foliación S_2 queda marcada por el bandeo composicional generado en un proceso de segregación metamórfica que da esta alternancia de bandas con el desarrollo de blastésis mineral (Fagiano, 2007).

El origen de la foliación metamórfica regional (S_2) descrita, ha sido interpretada por numerosos autores (Martino *et al.*, 1995; Otamendi *et al.* 2004; Fagiano, 2007) como el producto de clivaje de plano axial correspondiente a un evento de plegamiento regional (P_2), de los cuales, actualmente, no se observan las charnelas, posiblemente desdibujadas por aplanamiento extremo. Al mismo tiempo, este plegamiento nuclea miméticamente y oblitera a la foliación más antigua (S_1).

El evento deformacional D_2 , responsable del plegamiento, sería sincrónico con el clímax

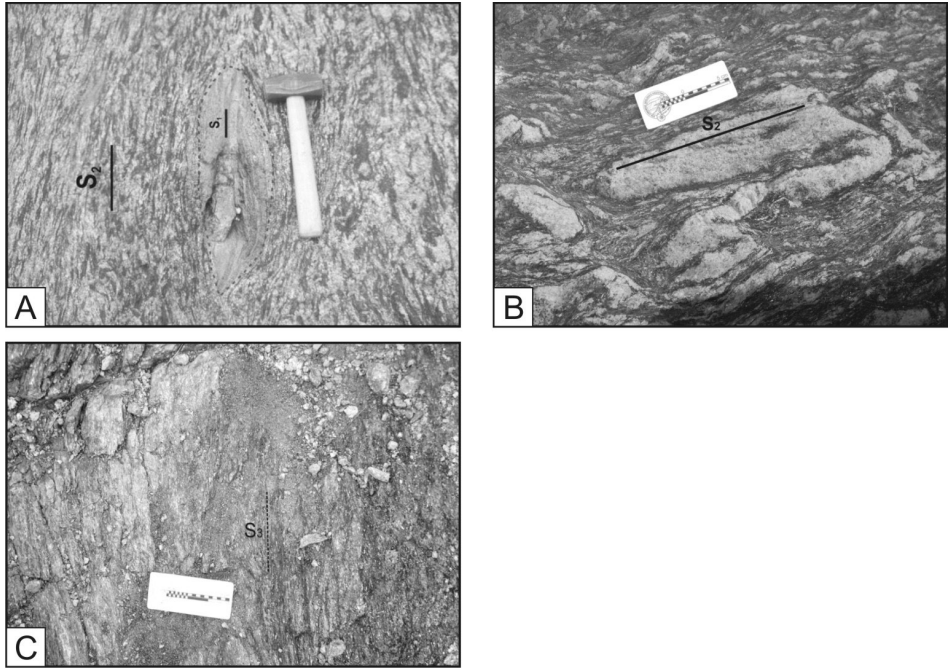


Figura 5. Foliaciones metamórficas. A) Fotografía de campo de resister gnéusico incluido en la unidad metatexítica, se ha señalado la foliación relicta (S₁) la cual actualmente está reorientada en igual sentido que la foliación regional (S₂). Masa = 300 mm. B) Metatexita con leucosoma plegado y estirado, se indica el sentido de la foliación S₂. Escala = 50 mm. C) Foto de campo donde se observa la foliación milonítica S₃ dada por la alternancia de folias ricas en Chl y Ser. Escala = 50 mm.

metamórfico M₂, desarrollado en grado alto con fusión parcial y migmatización de los protolitos más pelíticos.

La foliación (S₂) ha sido, en algunos sectores, intensamente retrabajada por efecto del evento deformacional (D₃), dando como resultado una foliación milonítica (S₃). El evento deformacional (D₃) se caracteriza por ser de naturaleza dúctil y dúctil-frágil, de alcance local y estar limitado a zonas de cizallas estrechas cuyos productos litológicos son la metatexitas deformadas y filonitas respectivamente.

La foliación S₃ queda representada por la orientación planar y localmente penetrativa de una matriz micácea recristalizada, constituida esencialmente por clorita y sericita (Figura 5C). Mesoscópica y microscópicamente estos minerales micáceos definen una fábrica S-C (Lister y Snoke, 1984). Esta foliación se dispone con un rumbo aproximado de 315° N a 350° N y con buzamiento entre los 45° y 80° hacia los cuadrantes NE y SO. Cabe aclarar que el origen de esta foliación está relacionando con el evento tectónico dinámico (D₃) que desarrolla la Faja de Cizalla de Guacha Corral hacia el oeste del área de estudio, la cual es intruída posteriormente por el Batolito Co. Áspero en el Devónico inferior (Pinotti *et al.*, 2006).

LINEACIÓN MINERAL. Sobre el plano de foliación milonítica (S₃) se reconoce una lineación mineral penetrativa (L₃), dada por la orientación de minerales micáceos (Chl-Ms-Ser) en las rocas filoníticas del área. Esta estructura se encuentra asociada al evento deformacional (D₃) que generó la actividad tectónica de la Faja de Cizalla de Guacha Corral, al oeste del área de estudio. Dicha lineación toma valores de inmersión al E y es parcialmente coincidente con

la planteada por Fagiano y Martino (2004), Sommaro (2005), Fagiano (2007) y Cristofolini (2008) para la Sierra de Comechingones.

Discusiones

SECUENCIA EVOLUTIVA. En función del análisis petrológico y estructural de las litologías del área de estudio se han podido definir tres eventos metamórficos (M_1 , M_2 y M_3).

En base a asociaciones paragenéticas, desarrollo de reacciones de formación, rasgos microtexturales y microestructurales definidos y estudiados en trabajos finales de Arangue (2010) y Radice (2010) respectivamente, y siguiendo con los criterios base establecidos por Winkler (1978), Passchier y Trow (1996), Gómez Giménez (2006) entre otros, se ha podido inferir y establecer con bastante precisión las probables condiciones termo-barométricas acaecidas en los diferentes eventos tectono-metamórficos que se desarrollaran a continuación.

Metamorfismo regional dinamotérmico: M_1

Corresponde al evento metamórfico inicial, de carácter relíctico en el área de estudio, y vinculado a un evento deformacional (D_1) que genera la foliación (S_1). Esta última se encuentra preservada en los tabiques de gneises y anfibolitas incluidos en las unidades migmatíticas a modo de *resister* o *rafts*.

Arangue (2010) estableció condiciones de grado medio (facies de anfibolitas almandínica), con temperaturas cercanas a los 630 °C y presiones medias a altas, próximas a los 6 Kb.

La temperatura planteada sería coherente con los límites superiores e inferiores de las isogradas del granate y la sillimanita, respectivamente. Por otro lado los valores de P y T, son coherentes con los planteados por Guerreschi y Martino (2002 y 2003) y Cristofolini (2008), al norte de la zona de estudio, y por Sommaro (2005) y Fagiano (2007) para el sur de la Sierra de Comechingones.

Metamorfismo regional dinamotérmico: M_2 (clímax metamórfico)

Corresponde al evento metamórfico más importante registrado por todas las rocas del área. Bajo el mismo se habría desarrollado la paragénesis más común y extendida en el ámbito de estudio ($Qtz_2+Pl_2+Kfs_2+Bt_2+Grt_2+Sil_2$), además de la foliación regional y penetrativa (S_2), manifiesta en todas las variedades litológicas, y bajo un régimen de esfuerzo regional (D_2). En este estadio se produce la fusión parcial de las metapelitas (metátexis), cuyo resultado es la generación de las metatexitas que afloran en la zona de trabajo. Por su parte, las fracciones más aptas para ser fundidas bajo estas condiciones progresaron hacia estadio anatéctico más avanzado (diátexis), generándose así las diatexitas inhomogéneas y homogéneas, no cordieríticas.

A partir de las apreciaciones texturales-mineralógicas de campo y microscopio, se deduce que las unidades migmatíticas del área derivarían de protolitos fundamentalmente pelíticos (ricos en Fe), mientras que los gneises biotíticos granatíferos, con escasa sillimanita, y sin feldespato potásico, derivarían de rocas de composición más grauváquica. Lo anterior es coherente con los criterios establecidos por Guerreschi y Martino (2002 y 2003). Por lo tanto se consideraría entonces, la existencia de un protolito heterogéneo para todas las rocas del ámbito de estudio.

En base a lo planteado hasta el momento se deduce que se habrían alcanzado condiciones de presión y temperaturas próximas a los 7,5 Kb (~ 25 km de profundidad) y 750 °C respectivamente, para el mencionado evento M_2 (Arangue, 2010; Radice, 2010).

Este dato es similar al calculado por Guerreschi y Martino (2002) por geotermobarometría

(7,9 Kb y 776° C) al norte de la zona de estudio, y al estimado por Cristofolini (2008) en la zona de Lutti. Pero son intermedios, respecto a los determinados por Martino *et al.* (1998) al norte del área estudiada (8 Kb y 800° C), y al deducido por Fagiano (2007) al sur de la misma, quien establece rasgos de presión de 7Kb y 700 a 750° C de temperatura.

Metamorfismo dinamotérmico: M₃ (deformación dúctil, dúctil-frágil)

Este evento esencialmente dinámico se caracteriza por desarrollarse en dos fases estructurales y metamórficas diferentes, denominadas aquí como:

M_{3a}: metamorfismo dinámico en ambiente dúctil, de grado medio y facies de anfibolita, dentro de la zona de la sillimanita

M_{3b}: metamorfismo dinámico en ambiente dúctil-frágil, de grado bajo en facies de esquistos verdes, desarrollado dentro de la zona de la clorita. Este último está relacionado con el evento deformacional (D₃) asociado al desarrollo de numerosas fajas de cizalla en todas las Sierras de Córdoba.

El evento M_{3a} generó el retrabajo de las fábricas migmatíticas, mediante la retrogresión mineral de las litologías generadas durante el pico metamórfico (M₂), con la superposición de texturas deformacionales que obliteran parcialmente a la textura migmatítica, desarrollando una incipiente fábrica milonítica (metatexitas deformadas), *mulliones*, plegamiento asimétrico, además de generación de *boudinage* y estructuras de *pinch and swell* en las rocas anfibólicas.

Las diferentes fases de plegamiento observadas en las unidades migmatíticas exhiben una fuerte coherencia estadística con la foliación S₂ cuando son representados en los diagramas estereográficos. Por el contrario, lo más lógico de esperar en estos casos es una elevada dispersión de los polos, ya que de haberse generado durante el clímax migmatítico, las rocas fundidas no transmitirían los esfuerzos y tenderían a comportarse como un flujo coaxial. Sin embargo, las evidencias encontradas permiten deducir que, efectivamente, la deformación que produjo los plegamientos asimétricos, fue desarrollada en un estado sub-sólido y en condiciones de alta ductilidad. Lo cual ha quedado reflejado en las orientaciones, que resultan, fuertemente consistentes entre sí.

A microescala, el cambio más notorio en casi todas las muestras, corresponde a la modificación en el hábito de la sillimanita, que pasa de prismática (Sil₂) a fibrosa (Sil₃) y se orienta subparalela a la dirección de máxima extensión. Sin embargo, también pudo observarse el desarrollo de una biotita (Bt₃), más pequeña y dispuesta oblicua a la foliación principal (S₂), la cual define, sutilmente, una nueva foliación S_{3a} solo visible a esta escala.

Las condiciones termobarométricas estimadas son de aproximadamente 640 °C y 5 Kb (Radice, 2010); coherente con lo planteado por Fagiano *et al.* (2002a), Fagiano y Martino (2004) y Fagiano (2007).

Por último asociado a este evento (M_{3a}) se produce el emplazamiento de los cuerpos pegmatoides mayores, lo cuales se habrían generado por descompresión, emplazándose presiones de 5 Kb aproximadamente (Arangue, 2010).

Posteriormente se desarrolla la segunda fase M_{3b}, en una ambiente estructural dúctil-frágil, en condiciones de grado bajo y facies de esquistos verdes. Este nuevo evento metamórfico (M_{3b}) queda representado por la generación de rocas filoníticas, las cuales conforman filetes de extensión kilométrica en el área de trabajo.

Se define como protolito de estas filonitas a las metatexitas y gneises biotítico granatíferos, los cuales poseen características estructurales y texturales que favorecen a la nucleación de los esfuerzos actuantes.

Las condiciones termobarométricas han sido estimadas en función de las paragénesis,

reacciones químicas y condiciones de formación, pudiéndose determinar temperaturas de 450- 400° C y presiones de 3,5-4 Kb (Radice, 2010).

Conclusiones

El basamento metamórfico del sector centro oriental de las Sierras de Comechingones está integrado esencialmente por metatexitas y diatexitas, entre los que se intercalan gneises biotíticos granatíferos, anfibolitas y subordinadamente cuerpos de filonitas, mármoles y pegmatitas.

Se han inferido para este conjunto litológico, un protolito heterogéneo que gradaba desde pelitas típicas a pelitas bajas en alúmina e inclusive grauvacas, con cantidades subordinadas de carbonatos y vulcanitas. El mismo sería equivalente a una secuencia turbidítica (pelítico-psamítica) de margen pasivo (Gordillo y Lencinas, 1979; Rapela *et al.*, 2001).

A partir de los datos petrológicos, texturales y estructurales es que se han reconocido diferentes eventos metamórficos y deformacionales que afectaron al área de estudio caracterizados como M_1 - D_1 (540-533 Ma, en Rapela *et al.*, 2001), asociados a la Orogenia Pampeana, en condiciones de grado medio y en facies de anfibolita almandínica (6 Kb y 630 °C). El producto litológico de este proceso son los gneises biotíticos granatíferos y las anfibolitas preservados a modo de *resister* y *raft* en las unidades migmáticas. El evento M_2 - D_2 representante del clímax metamórfico (530 y 520 Ma, en Rapela *et al.*, 2001), también asociado a la Orogenia Pampeana. A partir de las asociaciones paragenéticas, estudios petroestructurales y reacciones de formación, se deducen condiciones de ~ 7, 5 Kb y 750 °C para este evento (facies de anfibolita alta a granulita). El rasgo más notorio del evento M_2 , es la migmatización de las fracciones pelíticas, cuyo resultado son las metatexitas y diatexitas (no cordieríticas) que afloran en el área de estudio. Por su parte, el evento deformacional D_2 da lugar a la estructura planar penetrativa (S_2), de rumbo submeridional NNO-SSE, reconocida en todas las litologías que conforman el basamento cristalino de la zona.

El tercer evento M_3 , actuaría en condiciones dúctil y dúctil-frágil respectivamente y está caracterizado por desarrollarse en dos fases diferentes clasificadas aquí como M_{3a} y M_{3b} .

La primera fase (M_{3a}) se corresponde a un metamorfismo dinámico en ambiente dúctil (5 Kb y 640 °C), en facies de anfibolita y dentro de la zona de la sillimanita (500 – 480 Ma en Rapela *et al.*, 2001), cuyo producto final son las metatexitas deformadas, plegamiento asimétrico de los leucosomas, *mulliones*, *boudinage* y estructuras de *pinch and swell*, sobrepuestas a las fábricas migmáticas y anfibolitas del área. Este evento podría ser asignado a un ciclo tardío-Pampeano o representar un fase temprana del ciclo Famatiniano (M_{2b} ó M_{3a} ?).

La segunda fase (M_{3b}) se desarrolla en un ambiente dúctil-frágil, de grado bajo y en facies de esquistos verdes (dentro de la zona de la clorita), quedando representado por las filonitas y siendo asignadas al ciclo Famatiniano (447 – 425 Ma en Rapela *et al.*, 2001). Además se han reconocidos, sobre los planos de foliación milonítica, una lineación mineral (L_3) definida por la orientación de minerales micáceos (Chl-Ser) en las rocas filoníticas.

El protolito de estas rocas queda definido a partir de la deformación sobrepuesta a las metatexitas y gneises. Las condiciones termobarométricas han sido estimadas en 3,5 a 4 Kb y 400-450 °C. Este evento está asociado al desarrollo la Faja de Cizalla de Guacha Corral hacia el oeste del área de estudio.

Luego de la deformación Famatiniana se emplaza el Batolito Cerro Áspero al oeste del

área de estudio. Dataciones realizadas en Rb-Sr indican una edad de 369 ± 9 Ma (Devónico temprano) para dicha intrusión (Pinotti *et al.*, 2006).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto por el apoyo prestado durante todos estos años. Este trabajo es parte de la Tesis de Licenciatura de J. Arangue y S. Radice.

Bibliografía

- Arangue, J. 2010. [Análisis de fabricas migmatíticas del sector “Paso de las Blancas”, porción centro-oriental de la Sierra de Comechingones, Río de los Sauces, Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura, 153 pp Inédito].
- Brown, M. 1983. The definition of metatexis, diatexis and migmatite. *Proceedings of the Geological Association*, 84: 371-382.
- Cristofolini, E. 2008. [Petrología estructural del área comprendida entre la localidad de “Lutti” y el puesto “Rodeo de Las yeguas”: análisis comparativo de las fábricas migmatíticas y miloníticas, Sierra de Comechingones, Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura, 186 pp. Inédito].
- Dalla Salda, L.H. 1984. La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39: 38-51.
- Fagiano, M. 2007. [Geología y petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis Doctoral, 379 pp Inédito].
- Fagiano, M. y Martino, R. 2004. Cinemática y petrología de la faja de cizalla de Guacha Corral en el extremo austral de la sierra de Comechingones, provincia de Córdoba. *Avances de Microtectónica y geología Estructural. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Serie D: Publicación Especial N° 7: 45-50.*
- Fagiano, M., Pinotti, L. y Esparza, A. 1997. Estudio geológico de las rocas metamórficas en el sector centro-sur de la sierra de Comechingones (Córdoba, R. Argentina). 8° Congreso Geológico Chileno. *Actas 3: 1627-1630.*
- Fagiano, M., Nullo, F. y Otamendi, J. 2002a. Migmatitas heterogéneas del sur de la sierra de Comechingones, Córdoba. 15° Congreso Geológico Argentino, El Calafate. *Actas 1: 265-268.*
- Fagiano, M., Pinotti, L., Esparza, A. y Martino, R. 2002b. La faja de cizalla de Guacha Corral, sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, El Calafate. *Actas 1: 259-264.*
- Gómez Jimenez, J. 2006. [Metamorfismo. Apuntes de la asignatura de Petrología Endógena II (Modulo I). Universidad de Zaragoza. 191 pp. Inédito].
- Gordillo, C.E. y Lencinas, A.N. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. 1: 577-650.*
- Guereschi, A.B. y Baldo, E.G. 1993. Petrología y geoquímica de las rocas metamórficas del sector centro-oriental de la sierra de Comechingones, Córdoba. 12 Congreso Geológico Argentino y 2 Congreso de Exploración de Hidrocarburos. *Actas 1: 1-5.*
- Guereschi, A. y Martino, R. 1998. Las migmatitas estromatíticas de Huerta Vieja, sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 53: 101-116.
- Guereschi, A. y Martino, R. 2002. Geobarometría de la paragénesis cuarzo-plagioclasa-biotita-granate-sillimanita en gneises del sector centro-oriental de la sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 57: 365-375.
- Guereschi, A. y Martino, R. 2003. Trayectoria textural de las metamórfitas del sector centro-oriental de la sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 58: 61-77.
- Hobbs, B., Means, W. y Williams, D. 1981. *Geología Estructural*. Editorial Omega, Barcelona, 320 pp.
- Kretz, R. 1983. Symbols for Rock-forming Minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.
- Lister, G.S. y Snoke, A.W. 1984. S-C mylonites. *Journal of Structural Geology*, 6: 617-638.
- Martino, R., Kraemer, P., Escayola, M., Giambastiani, M., Arnosio, M. 1995. Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba a los 32° S. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50: 60-77.
- Menhert, K. 1968. *Migmatites and the origin of granitic rocks*. Elsevier Publishing Company, New York, 405 pp.

- McClay, K. 1987. The mapping of geological structures. Geological Society of London Handbook Series, Ed. M. Freitas, 160 pp.
- Otamendi, J., Castellarini, P., Fagiano, M., Demichelis, A. y Tibaldi, A. 2004. Cambrian to devonian geologic evolution of the Sierra the Comechingones, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: evidence for the development and exhumation of continental crust on the proto-Pacific margin of Gondwana. *Gondwana Research*, 7: 1143-1155.
- Passchier, C.W. y Trouw, R. 1996. *Microtectonics*. Springer Verlag, Berlin, 289 pp.
- Pinotti, L., Tubía, J.M., D'Eramo, F., Vegas, N., Sato, A.M., Coniglio, J., Aranguren, A. 2006. Structural interplay between plutons during the construction of a batholiths (Cerro Aspero batholith, Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of Structural Geology*, 28: 834-849.
- Radice, S. 2010. [Análisis de fábricas metamórficas y deformacionales del basamento cristalino al sudoeste del paraje San José, Sierra de Comechingones, Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura, 138 pp Inédito].
- Rapela, C., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Saavedra, J., 2001. Las Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen Proto-andino de América del sur. Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology*, 27: 23-41.
- Sommaro, M.C. 2005. [Geología y Petrología de la zona Las Guindas-UNRC, Sierra de Comechingones, Provincia de Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura, 54 pp. Inédito].
- Tramannoni, P.C.L. 2008. [Estudio petro-estructural de la aureola de contacto en el área sur y sureste del batolito Cerro Áspero, Sierra de Comechingones, Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. 180 pp. Inédito].
- Winkler, F. 1978. *Petrogénesis de las rocas metamórficas*. Editorial Blume, Madrid, 346 pp.

Recibido: 25 de octubre de 2011
Aceptado: 16 de diciembre de 2011