

# ESTRUCTURA INTERNA DE LAS MIGMATITAS DE LA PORCIÓN NORTE DE LA SIERRA DE VALLE FÉRTIL, SAN JUAN

Alina M. TIBALDI<sup>1,3</sup>, Eber A. CRISTOFOLINI<sup>1,3</sup>, Juan E. OTAMENDI<sup>1,3</sup>, Ignacio BALIANI<sup>1,2</sup> y Gisela GAIDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Río Cuarto, Departamento de Geología, Río Cuarto, Argentina. E-mails: atibaldi@exa.unrc.edu.ar; ecristofolini@exa.unrc.edu.ar; jotamendi@exa.unrc.edu.ar; nacbal@gmail.com; gisela\_gaido@hotmail.com

<sup>2</sup> Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

## RESUMEN

En la porción norte de la sierra de Valle Fértil se observa la presencia de rocas migmatíticas, las cuales han sido clasificadas de acuerdo a su fábrica en metatexitas y diatexitas, y de acuerdo a su protolito en metapelíticas y metagrauáquicas-metasemipelíticas. Las relaciones de campo y el análisis estructural detallado de las rocas migmatíticas y los *resisters* asociados a las mismas, permiten establecer la presencia de estructuras pre-migmatíticas ( $S_0$ - $S_R$ ) interpretadas como estratificación sedimentaria y foliación metamórfica relictiva producto del soterramiento. Asimismo, el desarrollo de fábricas migmatíticas ( $S_{1a,b,c}$ ) y ( $P_{1a,b}$ ), así como también la generación de granitos anatéticos, se asocian a una etapa de deformación ( $D_1$ ) desarrollada en condiciones de alta temperatura (facies de granulita) y coetánea con el magmatismo. Por último, se reconoce la presencia de fábricas post-migmatíticas ( $S_{2a}$  y  $S_{2b}$ ) asociadas a un evento deformacional ( $D_2$ ) que registran una evolución bajo condiciones dúctiles-frágiles, que se atribuyen a las etapas de cierre y exhumación del arco Famatiniano. A estas fábricas se les sobrepone una estructura planar de carácter frágil ( $S_3$ ). De esta manera, se establece que el arco magmático Famatiniano se desarrolló en una secuencia sedimentaria espesa, depositada y consolidada desde el Cámbrico medio, la cual no registra una historia deformacional previa al ingreso del magmatismo Ordovícico, sino que por el contrario todas las estructuras definidas se asocian a los períodos de migmatización, cierre y exhumación final del mencionado arco.

**Palabras clave:** migmatitas, deformación, sierra de Valle Fértil, Sierras Pampeanas, orógeno Famatiniano.

## ABSTRACT

*Internal structure of the migmatites of the northern portion of the Sierra de Valle Fértil, San Juan.*

In the northern portion of the sierra de Valle Fértil, there are migmatitic rocks which have been classified as metatexitas and diatexitas according to their fabric, and as metapelitic and metasemipelitic-metagreywacke in function of their protoliths. Field relationships and a detailed structural analysis of the migmatites and the *resisters* associated to them, allow recognizing the presence of pre-migmatitic structures ( $S_0$ - $S_R$ ) interpreted as sedimentary bedding and relictic metamorphic foliation, this last one related to the buried processes. The generation of anatectic granites related to migmatites with foliations ( $S_{1a,b,c}$ ) and ( $P_{1a,b}$ ), are associated to a deformational phase ( $D_1$ ) developed at high temperature conditions (granulite facies) and contemporary with the magmatism. Lastly, postmigmatitic fabrics ( $S_{2a}$  and  $S_{2b}$ ) related to a deformational event ( $D_2$ ), show an evolution under ductile-brittle conditions related to the close and exhumation stage of the Famatinian arc. This fabric is superimposed by a planar structure of brittle character ( $S_3$ ). Thus, we establish that the Famatinian magmatic arc is developed in a thick sedimentary sequence, deposited and consolidated since the mid-Cambrian. This sequence does not record a previous deformational history to the emplacement of Ordovician magmatism. In contrast, all the preserved structural features are related to metamorphism (migmatization) and exhumation during the arc development.

**Keywords:** migmatites, deformation, sierra de Valle Fértil, Pampean Ranges, Famatinian orogen.

## INTRODUCCIÓN

Una característica distintiva de los arcos magmáticos actuales y fósiles es su alto gradiente geotérmico generado por el ingreso de magmatismo juvenil, el cual in-

fluye en su historia de metamorfismo y deformación. Observaciones directas en arcos magmáticos fósiles muestran una alta proporción de cuerpos magmáticos, así como un vasto registro de rocas metamórficas las cuales son fundamenta-

les ya que preservan los procesos de soterramiento y calentamiento producidos por la carga tectónica y el magmatismo (Valley *et al.* 2003). De este modo, evaluar los elementos estructurales y petrográficos de las rocas metamórficas presentes

en los arcos magmáticos, permite inferir los mecanismos de crecimiento y modificación de este ambiente tectónico, ya que las mismas registran los procesos térmicos y estructurales ocurridos durante la construcción y exhumación del arco. El arco magmático Famatiniano en su porción expuesta en las sierras de Valle Fértil y La Huerta representa un basamento de corteza media a inferior desarrollado durante el Ordovícico Inferior, y constituido principalmente por rocas plutónicas, con presencia subordinada de rocas metamórficas. En este trabajo, se presenta un estudio detallado de las características estructurales y petrológicas de las migmatitas aflorantes a lo largo de la quebrada Fría en la porción norte de la sierra de Valle Fértil. La presencia de paquetes metasedimentarios de grandes dimensiones que preservan un rango completo de las estructuras migmáticas y pre-migmáticas -no reconocidas en otros sectores- permite reconstruir su historia deformacional y su posterior integración a la evolución tectono-magmática-metamórfica propuesta para dicha sierra.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL

El cinturón orogénico Famatiniano se originó a partir de un arco magmático que se desarrolló durante el Ordovícico Inferior a Medio (490 - 460 Ma) en el borde occidental de Gondwana (Pankhurst *et al.* 1998, Vujovich *et al.* 1996, Dahlquist *et al.* 2008). El levantamiento y basculamiento de dicho paquete cristalino durante su emplazamiento en la corteza superior estaría relacionado, en primera instancia, a la colisión entre un terreno alóctono separado de Laurentia (Cuyania) y el margen occidental de Gondwana (Thomas y Astini 1996, Ramos *et al.* 1996). La edad silúrica para la cizalla en el este de la sierra de La Huerta representaría un estadio tardío y/o final de esta colisión (Castro de Machuca *et al.* 2007). Una característica relevante de dicho arco es que a lo largo del mismo se puede observar la transición desde rocas plutónicas a rocas volcánicas (Rapela *et al.* 1992, Toselli *et al.* 1996, Pankhurst *et*

*al.* 1998). Precisamente, los batolitos más profundos del cinturón Famatiniano se encuentran expuestos aproximadamente entre los 28° y 33° S reflejando, muy probablemente, el efecto sumado que tiene entre estas latitudes, la combinación de la tectónica de colisión que cerró y exhumó el arco y las fuerzas andinas donde la subducción activa de la placa de Nazca es subhorizontal (Barazangi e Isacks 1976). Por su parte, las rocas volcánicas del mencionado arco afloran entre los 22° y 28° S, intercaladas con bancos sedimentarios ordovícicos en la región de la Puna (Turner y Méndez 1979, Coira *et al.* 1999) y la sierra de Famatina (de Alba 1979, Mannheim y Miller 1996, Fanning *et al.* 2004). Como resultado de los esfuerzos tectónicos pasados y actuales, las sierras de Valle Fértil-La Huerta constituyen un bloque cristalino de 140 km de largo por 30 km de ancho (Jordan y Allmendinger 1986; Fig. 1a). La falla principal que eleva el bloque serrano coincide, a escala regional, con el lineamiento de Valle Fértil, el cual se extiende en el borde occidental de las sierras de Valle Fértil y La Huerta. Datos de geofísica indican la existencia de una paleo-sutura que correspondería al límite entre el terreno alóctono derivado de Laurentia y el margen autóctono de Gondwana (Giménez *et al.* 2000, Lince Klínger *et al.* 2008).

La estratigrafía de la sierra de Valle Fértil fue definida por Mirré (1976), quien distingue un complejo metamórfico entre las unidades estratigráficas. Dicho autor define la constitución litológica y realiza el primer mapeo detallado de dicho complejo. Recientemente, en la porción centro-oriental de la sierra, Otamendi *et al.* (2009a) definieron cinco unidades litoestratigráficas de acuerdo al tipo litológico dominante (Fig. 1a). A los fines de este trabajo es necesario aclarar que las rocas máficas, ultramáficas y anfibolitas detalladamente cartografiadas por Mirré (1976) se asignan a la denominada unidad máfica definida y jerarquizada por Otamendi *et al.* (2008) y Cristofolini *et al.* (2010). En tanto, los gneises granatíferos-sillimaníticos incluyendo las facies cordieríticas de Mirré (1976), se agrupan en

la unidad metasedimentaria (Otamendi *et al.* 2008, Otamendi *et al.* 2009a), cuyo representante fundamental son las rocas migmáticas (metatexitas y diatexitas) motivo principal de estudio de este trabajo. La edad de cristalización de numerosas rocas plutónicas de las sierras de Valle Fértil y La Huerta indica que el magmatismo estuvo activo entre los 490 Ma y los 460 Ma (Pontoriero y Castro de Machuca 1999, Pankhurst *et al.* 2000). Por otro lado, las edades SHRIMP de 466 Ma determinadas en migmatitas metasedimentarias sugieren que estas últimas experimentaron su pico térmico como resultado de la actividad magmática (Rapela *et al.* 2001, Baldo *et al.* 2001), siendo coincidentes con la edad obtenida por Cristofolini *et al.* (2010) para el pico metamórfico en el centro de la serranía de Valle Fértil.

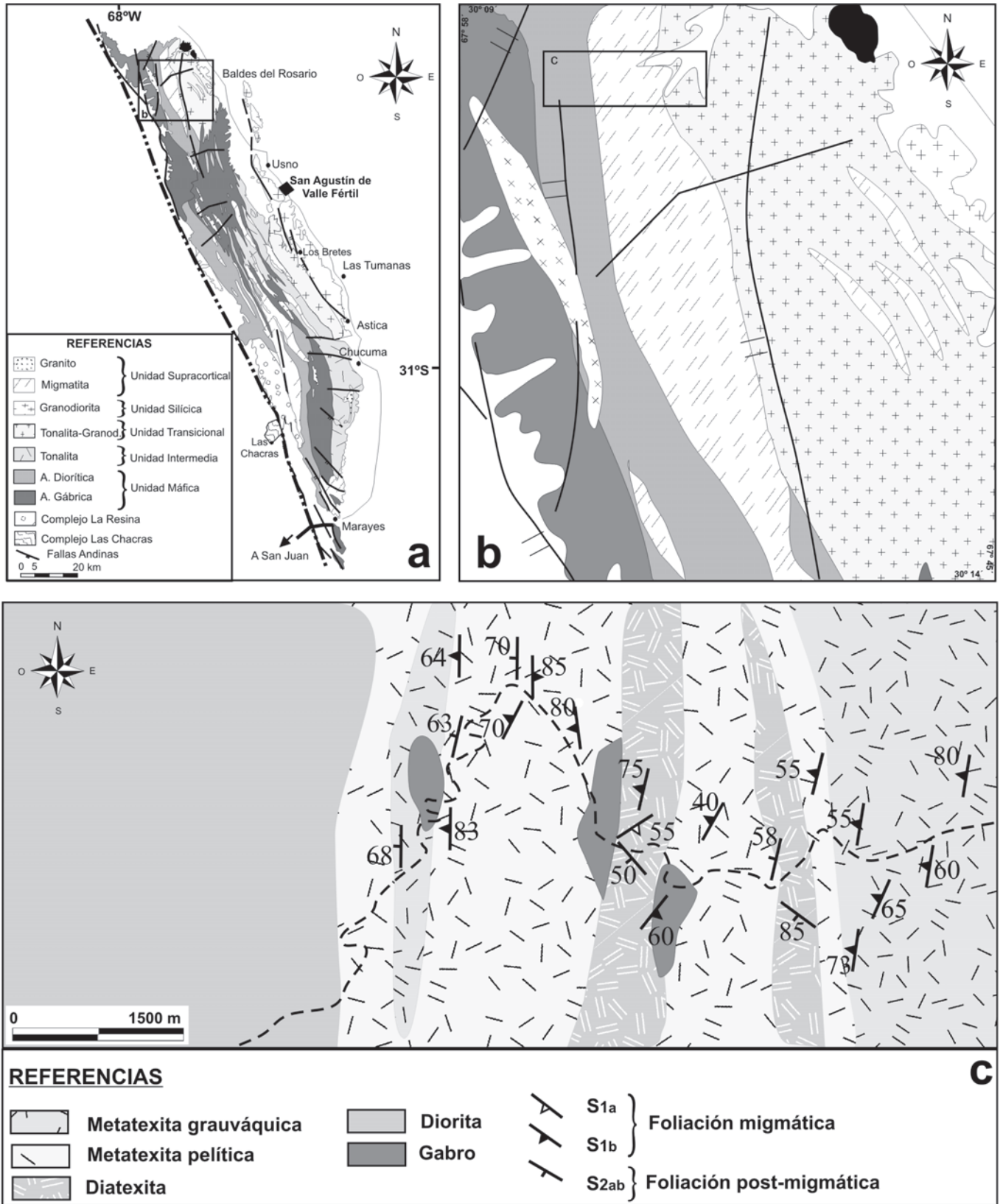
## MIGMATITAS DEL NORTE DE LA SIERRA DE VALLE FÉRTIL

Las rocas migmáticas que afloran en el sector norte de la sierra, a lo largo de la quebrada Fría (Fig. 1b y c), pueden clasificarse en base a: 1) la naturaleza y composición del protolito (pelítico y grauváquico - semipelítico) y 2) su estructura migmática (metatexitas, diatexitas y granitoides anatócticos). A continuación se hace una breve reseña de cada litotipo definido en la comarca.

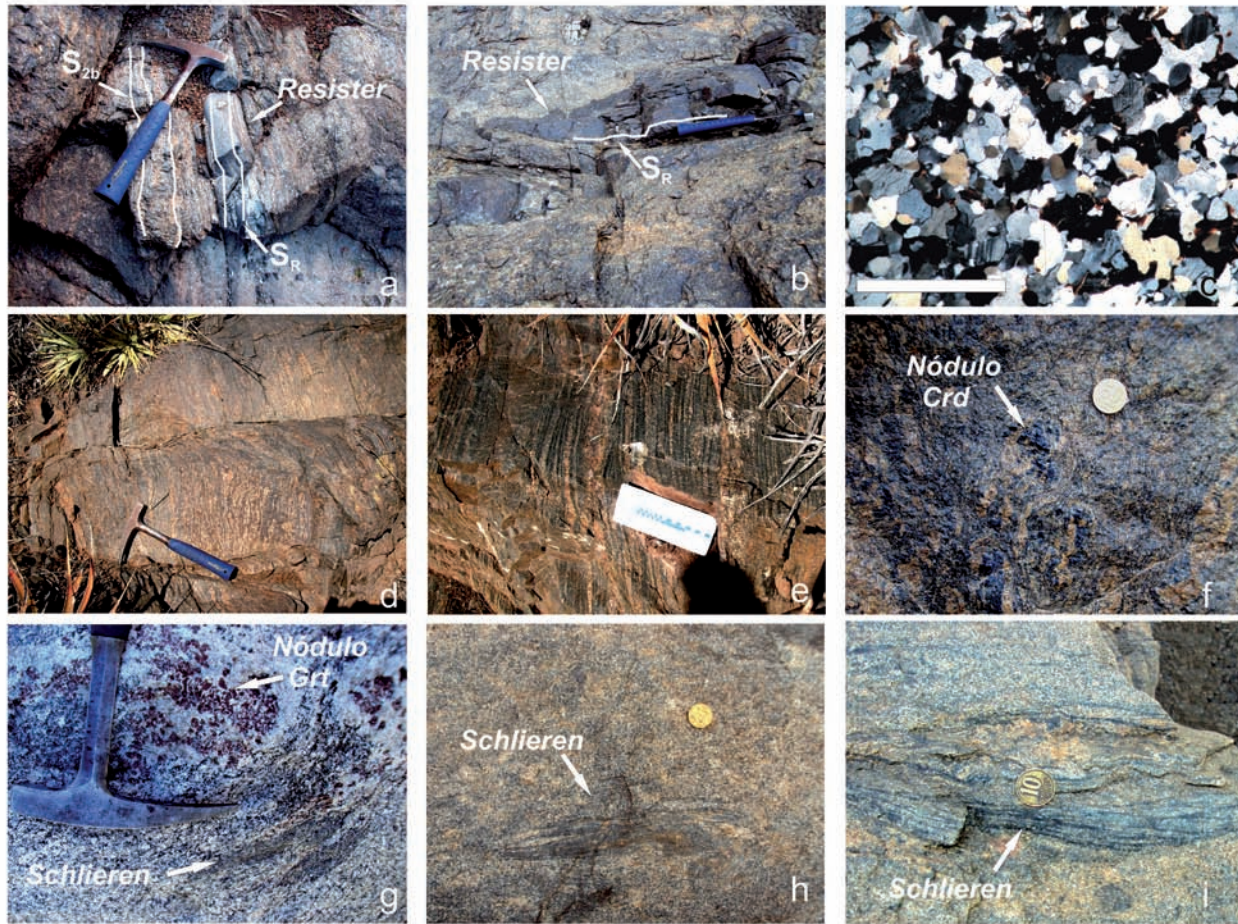
### Basamento pre-migmático.

La presencia de litologías reconocibles como protolitos del basamento migmático es escasa y hasta el momento sólo se han observado en el sector norte de la sierra de Valle Fértil como bancos y/o bloques de cuarcitas impuras y en menor proporción de rocas máficas, que aparecen a modo de *resisters* dentro de las migmatitas (Fig. 2a, b y c).

Los bancos cuarcíticos se caracterizan por presentar dimensiones centimétricas a métricas, con espesores variables entre 10 y 30 cm. Estos bancos, poseen contactos netos y normalmente se disponen concordantes con la foliación penetrativa observada en las migmatitas que los hos-



**Figura 1:** a) Mapa geológico simplificado de las sierras de Valle Fértil-La Huerta mostrando la ubicación del área de trabajo. El mapa representa una compilación de las hojas geológicas de Mirré (1976) y Vujovich *et al.* (1998) con el aporte de los trabajos de Vujovich *et al.* (1996) y Otamendi *et al.* (2008). b) Mapa geológico de la porción norte de la sierra de Valle Fértil (ver figura 1a para localización) basado en los trabajos mencionados previamente y en el mapeo detallado de campo. c) Mapa litológico de detalle a lo largo de la quebrada Fría mostrando relaciones de campo y estructurales (ver figura 1b para localización).



**Figura 2:** a) Banco de cuarcita (con foliación relicta  $S_R$ ) interdigitado con metatexita pelítica con desarrollo de fábrica estromatítica. Se observa que la interdigitación litológica es concordante con la foliación penetrativa ( $S_{zb}$ ). b) *Resister* máfico de límites netos y elongación paralela a la foliación. c) Recristalización metamórfica estática en *resister* cuarcíticos con desarrollo de textura granoblástica característica (la barra corresponde a 1 mm). Fotomicrografía con nicoles cruzados. d) Banco de metatexita pelítica con típica estructura estromatítica definida por la alternancia de leucosomas graníticos y mesosomas. e) Banco de metatexita semipelítica-grauwäquica con estructura estromatítica característica. El bandeo composicional, de poco espesor, presenta límites bien definidos. f) Metatexita pelítica con nódulos de cordierita. g) Diatexita con *schlieren* biotíticos y nódulos de cuarzo-plagioclasa con porfiroblastos de granate. h-i) Diatexitas con estructura granular y presencia de *schlieren*. En (i) se observan nódulos cordieríticos.

pedan (Fig. 2a). En lo que respecta a los bloques cuarcíticos, estos se presentan aislados y con longitudes de hasta 50 cm, con bordes netos y morfologías redondeadas a lentiformes. Tanto los bancos como los bloques exhiben una coloración gris oscura, tamaño de grano fino a medio y desarrollo de un bandeo composicional grosero. Dicho bandeo queda representado por la alternancia de capas de pocos milímetros de espesor compuestas esencialmente por cuarzo, plagioclasa y biotita, con capas más impuras donde se observa también la aparición de granate en baja proporción. En general los *resister* cuarcíticos tienen textura granoblástica pseudopoligonal a lobulada, de grano fino (Fig. 2c). En lo que respecta a los *re-*

*sisters* máficos (Fig. 2b), éstos desarrollan longitudes variables desde el centímetro hasta el metro y potencias inferiores a los 10 cm. Se caracterizan por exhibir bordes netos y morfologías complejas, presentándose los bloques de menor tamaño elongados con formas lenticulares a redondeadas. Muestran una mineralogía dominada por plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y magnetita-ilmenita. Cabe destacar, que en ocasiones se observa en la zona de borde, un cambio mineralógico con desaparición de los piroxenos y aparición esporádica de biotita.

#### Basamento migmatítico

Las migmatitas aflorantes en la quebrada Fría se han clasificado de acuerdo a su es-

tructura migmatítica en metatexitas y diatexitas. La transición entre ambos tipos litológicos es gradual, siendo las metatexitas el litotipo dominante (Fig. 1c).

*Metatexitas:* las metatexitas han sido diferenciadas de acuerdo a su composición mineralógica en metatexitas pelíticas y semipelíticas a grauwäquicas (Fig. 2d y e). Independientemente de esta subdivisión, las metatexitas en general, se caracterizan por el desarrollo de una fábrica estromatítica. La misma queda definida por un bandeo composicional dado por la alternancia de capas leucocráticas (leucosomas) y mesocráticas (mesosomas), con apariciones esporádicas de bandas melanocráticas milimétricas (melanosoma), restringidas principalmente a las metatexitas pelíticas.

En las metatexitas pelíticas el bandeo composicional presenta límites menos definidos y puede alcanzar espesores mayores. También son frecuentes los nódulos cordieríticos (Fig. 2f) y de granates cuyos diámetros llegan a los 10 cm. En general el mesosoma exhibe textura granoblástica a granolepidoblástica y está compuesto esencialmente por biotita, plagioclasa, cuarzo y proporciones variables de sillimanita, granate, cordierita y magnetita-ilmenita. La biotita ocurre como pequeñas láminas elongadas, de tonos pardos rojizos y desarrollando una orientación mineralógica preferencial paralela a la foliación migmática. También se la observa como agregados cristalinos que ocasionalmente rodean al granate. En ocasiones se la encuentra asociada a prismas de sillimanita y a diminutos cristales de cuarzo intersticial con bordes lobulados, ambos elongados y paralelos a la biotita. La cordierita ocurre como blastos anhedros con maclado polisintético e inclusiones de biotita, cuarzo y óxidos de hierro y titanio. El granate está como pequeños blastos euhedros o como porfiroblastos subhedros poiquilíticos con numerosas inclusiones, bordes con bahías y núcleos huecos rellenos de diminutos granos de cuarzo. El leucosoma muestra textura granoblástica y está dominado por cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino, cordierita y granate. El cuarzo se presenta como blastos medianos a pequeños, con bordes lobulares y en ocasiones elongados paralelos a la foliación migmática. Por sectores desarrolla extinción ondulosa y lamelas de deformación. Tanto la plagioclasa como el feldespato alcalino ocurren como blastos subhedros a euhedros, con elongación paralela a la foliación migmática principal ( $S_{1b}$ ); la plagioclasa presenta maclas polisintéticas ocasionalmente acuñadas y/o flexuradas. El granate se encuentra como blastos reabsorbidos rellenos de cuarzo o con inclusiones poiquilíticas de biotita, cuarzo y magnetita. También se lo observa como blastos de formas ameboidales. La cordierita ocurre en cristales subhedros con grados de alteración variables a pinita. En ocasiones exhibe numerosas inclusiones de biotita.

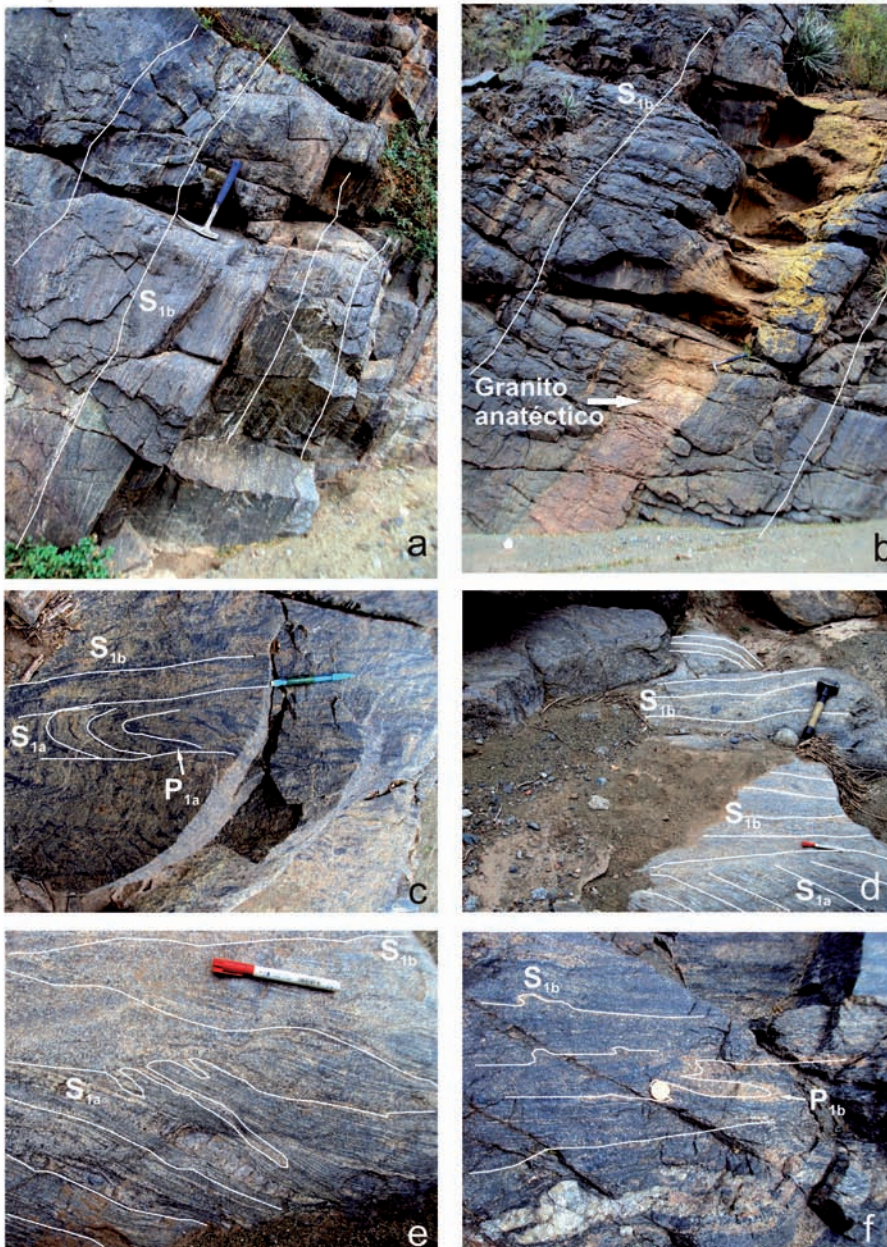
A diferencia de las migmatitas pelíticas, las migmatitas semipelíticas a grauváquicas se caracterizan por un bandeo composicional bien definido, localmente apretado, con bandas que alcanzan un centímetro de espesor como máximo. El mesosoma muestra textura granolepidoblástica y está constituido por biotita, cuarzo, plagioclasa y proporciones menores de magnetita-ilmenita. El cuarzo está como blastos anhedros, con contornos aserrados, extinción ondulosa y desarrolla elongación mineral. La biotita ocurre en láminas pequeñas, con bordes dentados y parcialmente desferrizados, orientadas generando una foliación de tipo anastomosada. El leucosoma presenta textura granoblástica y por sectores exhibe elongación mineral generalizada. Está constituido esencialmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino y en ocasiones cordierita. El cuarzo se muestra como blastos anhedros, con bordes lobulares y ocasionalmente elongados con desarrollo de lamelas de deformación. Los feldespatos se ocurren como cristales anhedros, con bordes lobulares y maclado polisintético levemente acuñado en el caso de la plagioclasa. La cordierita se observa como blastos anhedros y en ocasiones levemente pinitizados.

*Diatexitas:* se caracterizan por presentar una estructura homogénea, con presencia de *schlierens* biotíticos de pocos centímetros de espesor. También contienen nódulos de dimensiones variables entre 3 a 5 cm de diámetro, compuestos por plagioclasa, cuarzo y porfiroblastos de granate (Fig. 2g y h).

Las diatexitas muestran textura granoblástica de grano medio a grueso y están compuestas por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, y proporciones variables de granate y cordierita. Generalmente poseen una coloración blanquecina a rosada; no obstante, se pueden reconocer de manera menos frecuente diatexitas de tonalidad grisácea. Estas últimas poseen textura granoblástica con presencia de nódulos de cordierita y granate de hasta 5 cm (Fig. 2i). El cuarzo se presenta como cristales anhedros de tamaño medio a grueso, con bordes lobulares y desarrollo de lamelas. La plagioclasa conforma blas-

tos subhedros con maclado polisintético levemente acuñado mientras que el feldespato alcalino ocurre como granos anhedros con desarrollo de pertitas y bordes lobulares. En ambos feldespatos se aprecia el desarrollo de alteración sericitica intensa. La biotita conforma laminillas, parduscas y de bordes aserrados, a modo de nódulos o dispersas homogéneamente.

*Granitoides anatéticos:* los granitoides anatéticos se presentan con dimensiones variables desde 10 cm hasta > 60 cm de potencia, y longitudes que superan los 100 m, dispuestos generalmente paralelos a la foliación migmática penetrativa regional  $S_{1b}$  (Fig. 3a y b). Exhiben una coloración rosada intensa, geometrías lenticulares y/o tabulares a escala decamétrica y en todos los casos se caracterizan por una textura granular homogénea de grano medio a grueso. Asimismo, se observa que algunos fundidos anatéticos de dimensiones centimétricas se presentan discordantes con respecto a la foliación penetrativa y constituyen canales de alimentación para los diques y cuerpos mayores. Cabe mencionar que, en muchas ocasiones, la fábrica ígnea original es parcial a totalmente obliterada por una fábrica deformacional representada por *ribbons* de cuarzo y finas folias de biotita, que rodean a grandes porfiroclastos de feldespato alcalino, plagioclasa, granate y cuarzo policristalino. Los granitoides anatéticos están constituidos por proporciones variables de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, biotita, muscovita y se destacan por la presencia de blastos subhedros de granate poiquilítico. Como fases accesorias se encuentran circón, apatito y minerales opacos (Mag-Ilm; símbolos según Kretz 1983). Es frecuente la sericitita como alteración de las fases feldespáticas y clorita en las fracturas de los granates. En general el cuarzo se presenta como cristales anhedros de tamaño mediano, con contactos suturales y con desarrollo de procesos de migración de borde. Normalmente posee lamelas de deformación, extinción en dadero y localmente formación de subgranos y recristalización en individuos pequeños. La plagioclasa está como cristales medianos, subhedros y con bordes engol-



**Figura 3:** a) Bandeado composicional en migmatitas, se observa la foliación penetrativa ( $S_{1b}$ ). b) Dique granítico de 40 cm de espesor intruído concordantemente con la foliación más penetrativa ( $S_{1b}$ ). c) Detalle de metatexita con bandeado composicional ( $S_{1a}$ ) plegado y generación de una nueva estructura estromatítica ( $S_{1b}$ ). Los pliegues presentan longitudes de ondas de 10 cm y planos axiales paralelos a ( $S_{1a}$ ). d) Foliación migmatítica ( $S_{1a}$ ) caracterizada por un bandeado estromatítico continuo, con espesores entre 1 y 2 cm, parcialmente retrabajada por una nueva foliación ( $S_{1b}$ ) con migración de fundidos y el desarrollo de una estructura estromatítica difusa con nódulos cordieríticos. e) Detalle de la foliación migmatítica ( $S_{1a}$ ). f) Foliación migmatítica ( $S_{1b}$ ) donde se observa el desarrollo de pliegues intrafoliales ( $P_{1b}$ ) desarrollados coetáneamente con la foliación

fados mostrando signos de migración de borde. Poseen maclas polisintética y de *Carlsbad*, a menudo acuñadas al centro del cristal. El feldespato alcalino ocurre como blastos grandes subhedros, con bordes lobulados o corroídos. Desarrolla un

maclado en enrejado esfumado, flexurado y curvo. El granate está como blastos poiquilíticos medianos con bordes engolfados, y localmente subhedros con numerosas fracturas intracristalinas cloritizadas. Las inclusiones son numerosas

y esencialmente de magnetita-ilmenita, cuarzo goticular y biotita. La biotita desarrolla láminas medianas a grandes, subhedros y con pleocroismo intenso de tonos rojizos, conformando folias discontinuas. El circón, apatito y magnetita-ilmenita están como cristales diminutos a medianos, euhedros y anhedros, y siempre como inclusiones en las fases esenciales.

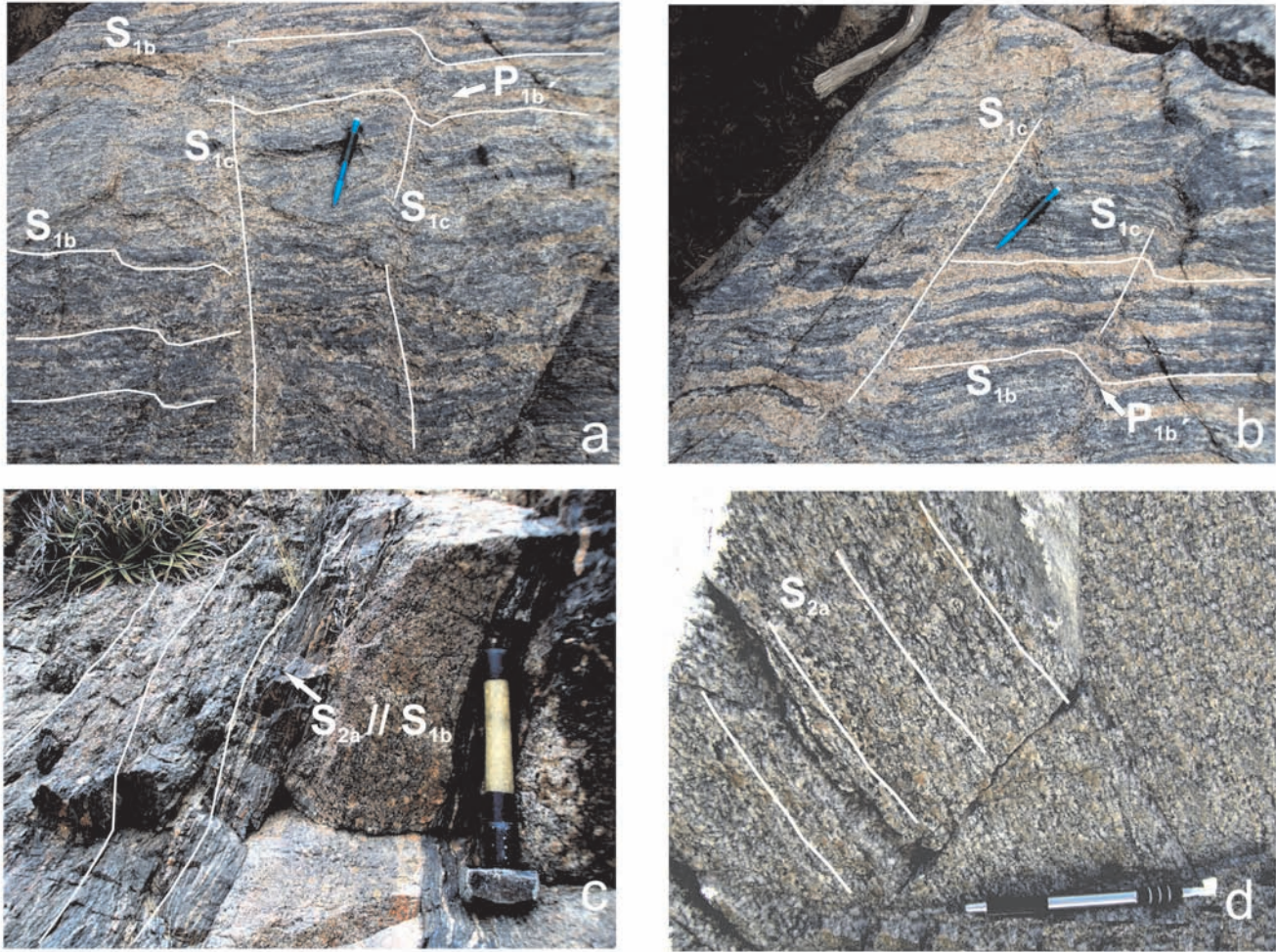
## ESTRUCTURAS

### Estructuras pre-migmatitas: foliación metamórfica $S_R$

La fábrica más antigua discernible dentro de la asociación migmatítica es una foliación relictica ( $S_R$ ), la cual se preserva únicamente en los *resister* cuarcíticos incluidos en las metatexitas y diatexitas. Esta foliación primitiva se observa como una fábrica planar, discontinua, espaciada y grosera, desarrollada insipiente por la orientación de biotita y granate en los sectores composicionalmente impuros. Mientras que, en los sectores más puros, predomina la textura granoblástica equiaxial generada por la recrystalización metamórfica estática de las fases minerales esenciales (cuarzo-plagiocasa). Cabe destacar que esta fábrica planar interna es paralela a la alternancia litológica reconocida en afloramiento, generada por la presencia de bancos cuarcíticos de escala decamétrica que se interdigitan con bancos de metatexitas, hecho que refleja la variación en la composición del protolito sedimentario (Fig. 2a). Esto último sugiere la presencia de una estratificación sedimentaria ( $S_0$ ), dispuesta actualmente paralela a la primera foliación de carácter relictico ( $S_R$ ) definida en los *resisters*.

### Estructuras migmatitas: foliación migmatítica $S_{1a,b,c}$

La primera estructura migmatítica reconocida en el complejo anatóctico aflorante en el sector norte de la sierra de Valle Fértil ( $S_{1a}$ ), se manifiesta como un bandeado de tipo estromatítico continuo, en general muy apretado, con límites bien definidos y con espesores variables entre 1 y 2 cm (Fig. 3c, d y e). Este bandeado está representado por la alternancia de meso-



**Figura 4:** a-b) Se observa que la foliación migmática ( $S_{1b}$ ) se encuentra plegada, con la generación de pliegues abiertos levemente asimétricos ( $P_{1b}$ ). A lo largo de los planos axiales se generan pequeñas cizallas de corte con segregación y migración de fundidos generando una foliación ( $S_{1c}$ ) espaciada de carácter local. c) Alternancia de cuerpos metatexiticos y diatexiticos concordantes con la foliación ( $S_{1b}$ ). Se observa la superposición de una zona de deformación de temperatura media cuya foliación ( $S_{2a}$ ) se desarrolla con una orientación equivalente a la foliación  $S_{1b}$ . d) Metatexitita afectada por deformación dúctil de temperatura media asociada a bandas de cizalla discretas. Se evidencia el desarrollo de una foliación de tipo milonítica ( $S_{2a}$ ) penetrativa y claramente anastomosada, que transpone a la foliación  $S_{1b}$ .

somas de coloración grisácea y espesores variables entre 0,2 a 0,5 mm compuestos principalmente por biotita, con leucosomas de tonos blanquecinos compuestos por cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino. A diferencia de los mesosomas, los leucosomas se presentan tanto como bandas bien definidas de 2 mm a 1 cm de potencia, o como lentes de espesores > 2 cm y morfologías levemente acunadas. Por último, y sólo localmente, se alternan melanosomas de potencia < 5 mm, compuestos esencialmente de pequeñas láminas de biotita. La foliación migmática ( $S_{1a}$ ) no es recurrente a escala regional; no obstante, en los lugares donde se preserva exhibe una orientación de  $55^\circ$  y buzamiento >  $50^\circ$  al este (véase Fig. 5a). Sin

embargo, la característica más relevante reconocida en afloramiento es que la foliación  $S_{1a}$  se encuentre plegada, generando pliegues apretados asimétricos ( $P_{1a}$ ), de longitudes de onda variables entre 5 a 10 cm, y cuyos planos axiales son paralelos a subparalelos al bandeamiento migmático ( $S_{1b}$ ) penetrativo regionalmente (Fig. 3c). Es de destacar, que en los lugares donde aún se preserva la primera foliación migmática ( $S_{1a}$ ), ésta se encuentra retrabajada por una nueva foliación ( $S_{1b}$ ) que involucra la migración de fundidos (Fig. 3d y e). Así, en estos afloramientos, los bancos metatexiticos se caracterizan por presentar una fábrica estromatítica difusa y espaciada ( $S_{1b}$ ), donde se reconocen bancos ricos en fundidos y textura granoblástica,

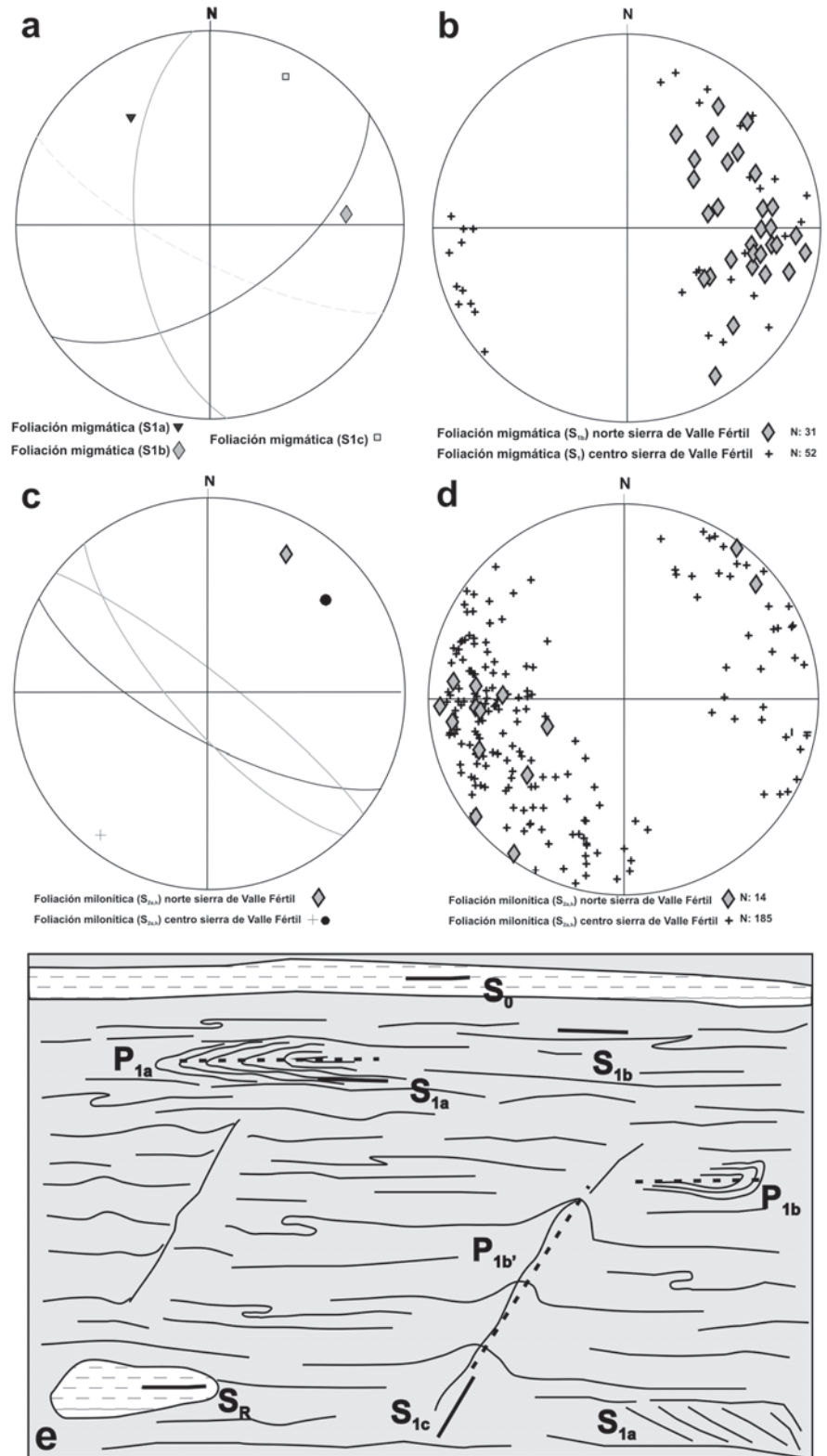
intercalados con bancos de espesores variables entre 20 y 50 cm los cuales preservan la fábrica  $S_{1a}$  parcialmente intacta (Fig. 3d y e).

A nivel regional, la foliación  $S_{1b}$  constituye la fábrica más penetrativa observada en el área (Fig. 3a, b y c) y es sincrónica con la generación de cuerpos diatexiticos que alternan con las metatexitas (véase Fig. 4c). La misma está definida por una estructura estromatítica continua, dada por la alternancia de mesosomas ricos en biotita y leucosomas graníticos con espesores variables entre 1 y 30 cm (Fig. 2a y d, Fig. 3a) y posee una orientación promedio de  $355^\circ$  y un buzamiento de alto ángulo (>  $60^\circ$ ) al oeste (Fig. 5a). La foliación  $S_{1b}$  se encuentra localmente afectada por dos estadios

progresivos de plegamiento. La primera etapa de plegamiento se manifiesta por la presencia de pliegues intrafoliares de tipo isoclinal y de longitudes de onda mayores a 2 cm ( $P_{1b}$ ), los cuales son más frecuentes en los leucosomas (Fig. 3f). Esta foliación ( $S_{1b}$ ) es afectada por una segunda etapa de plegamiento ( $P_{1b'}$ ), con generación de pliegues abiertos, levemente asimétricos, cuyos planos axiales son perpendiculares a marcadamente oblicuos a la foliación  $S_{1b}$  (Fig. 4a y b). Concomitantemente con este plegamiento asimétrico, tiene lugar el desarrollo de bandas de cizalla en condiciones de alta temperatura a lo largo de los flancos cortos del pliegue ( $P_{1b'}$ ), las cuales dan lugar a una foliación espaciada ( $S_{1c}$ ) regionalmente no penetrativa (Fig. 4a y b). Es de destacar que dichas bandas de cizalla están rellenas siempre por fundidos anatécicos, siendo caracterizadas como zonas continuas o canales de migración de los fundidos que exhiben una orientación  $297^\circ$  y un buzamiento al oeste  $> 75^\circ$  (Fig. 5a).

### Estructuras post-migmáticas $S_{2a}$ , b- $S_3$

Las estructuras previamente descritas en las rocas migmatíticas se encuentran localmente modificadas y/o truncadas por una foliación de tipo milonítica ( $S_2$ ), generada en condiciones dúctiles tanto en media como baja temperatura. Esta foliación milonítica (Fig. 4c y d) es de extensión localizada y se encuentra restringida a bandas de cizalla discretas de escala regional. La foliación  $S_2$  es una estructura planar penetrativa anastomosada a toda escala, que transpone a la foliación  $S_{1b}$  de carácter regional. La misma se dispone espacialmente con azimuth variable entre  $305^\circ$  y  $320^\circ$  y buzamiento al oeste entre  $50^\circ$  y  $80^\circ$  (Fig. 5c y d). Cabe aclarar, que aunque con menor frecuencia, se observan buzamientos de alto ángulo al este. Esta foliación deformacional se caracteriza por la generación de estructuras dúctiles ( $S_{2a}$ ) cuya asociación mineral es estable en facies de anfíbolita (Qtz-Pl-Bt-Fib), a la que se superponen puntualmente estructuras generadas en condiciones dúctil-frágil ( $S_{2b}$ ) y estabilizadas en facies de esquistos verdes (Qtz-Pl-Ser-Chl-*Ms*).



**Figura 5:** a-d) Representación estereográfica del hemisferio inferior de la red de Schmidt; a) Datos polares promedios de las estructuras  $S_{1a,b,c}$ . b) Representación estereográfica comparativa de la fábrica migmatítica más penetrativa reconocida en la porción norte de la sierra de Valle Fértil, con la determinada para la porción central de la serranía. c) Datos polares promedios de las estructuras  $S_{2a,b}$ . d) Representación estereográfica comparativa de la fábrica post-migmatítica ( $S_{2a,b}$ ) reconocida en la porción norte y centro de la sierra de Valle Fértil. e) Representación esquemática de las distintas fábricas reconocidas en los cuerpos migmatíticos y su relación temporal.



Por último, es necesario mencionar la generación de una foliación tardía  $S_3$ , relacionada al fallamiento frágil discriminado como un clivaje de fractura, el cual es penetrativo a escala regional y corta a todas las estructuras previas.

## DISCUSIÓN

Las relaciones temporales que se infieren a partir del análisis estructural de las migmatitas y los *resisters* presentes a lo largo de la quebrada Fría, norte de la sierra de Valle Fértil (Fig. 5e), permiten inferir una historia de deformación de múltiples eventos. Las estructuras pre-migmáticas ( $S_0$ - $S_R$ ) reconocidas a lo largo de la quebrada Fría, e interpretadas como una estratificación sedimentaria y una foliación metamórfica, respectivamente, no han sido reconocidas en la porción central de la sierra de Valle Fértil (Cristofolini *et al.* 2010).

Las estructuras planares ( $S_{1a,b,c}$ ) registradas en las migmatitas de la sección estudiada (Fig. 5a), así como también los plegamientos ( $P_{1b}$  y  $P_{1b'}$ ) asociados a las mismas, son interpretadas como estructuras sin-migmáticas desarrolladas en condiciones de alta ductilidad. Las paragénesis minerales asociadas a dichas estructuras indican que la deformación tuvo lugar en condiciones de facies de granulita y son consistentes con las presiones del orden de 7 kbar y temperaturas de 800° - 900 °C determinadas en migmatitas de este sector de la sierra (Tibaldi *et al.* 2010). Por su parte, Cristofolini *et al.* (2010) reconocen en el sector central de la sierra de Valle Fértil, una foliación migmatítica penetrativa a la que denominan ( $S_1$ ), la cual presenta una orientación espacial y características petrogenéticas similares a la foliación  $S_{1b}$  más penetrativa aquí descrita (Fig. 5b). No obstante, no reconocen la presencia de fábricas migmatíticas previas, tal como la foliación migmatítica reléctica ( $S_{1a}$ ) que aparece localmente en las migmatitas del norte; mientras que si reconocen, aunque de modo muy local, la presencia de superficies de corte con migración de fundidos tales como la foliación ( $S_{1c}$ ) más ampliamente desarrollada en la porción norte de la serranía. De este modo, se

considera que la foliación penetrativa  $S_{1b}$  presentada en este trabajo es equivalente a la  $S_1$  de Cristofolini *et al.* (2010), y que todos los rasgos estructurales sin-migmáticos observados en las migmatitas del norte de la sierra son asignables al evento deformacional ( $D_1$ ) propuesto por Cristofolini *et al.* (2010).

Las fábricas  $S_{2a}$ ,  $S_{2b}$  y  $S_3$  poseen relaciones espaciales que indican que se formaron con posterioridad al evento de migmatización. La foliación  $S_{2a}$  y  $S_{2b}$  son asignables a un segundo estadio deformacional ( $D_2$ ) asociado a fajas de cizallas locales y regionales, vinculado a un campo de esfuerzos compresionales de orientación NEE-SOO (Cristofolini *et al.* 2010, Cristofolini *et al.* 2011, Fig. 5c y d). Las relaciones entre fábricas y crecimiento de minerales demuestran que ( $D_2$ ) tuvo lugar en un período posterior al pico metamórfico que generó la paragénesis en facies de granulita y posterior a la cristalización del plutonismo tonalítico (Otamendi *et al.* 2009b). Dichas estructuras planares sugieren un comportamiento reológico en condiciones dúctiles y temperaturas en facies de anfibolita y en facies de esquistos verdes. Por su parte, la foliación ( $S_3$ ) muestra que la roca tuvo una respuesta netamente frágil, asociada a un campo de esfuerzos compresivos de orientación NE-SO. Las fábricas formadas por una respuesta reológica frágil se asocian al evento de deformación ( $D_3$ ) (Cristofolini *et al.* 2010). Sin embargo, vale aclarar que esta orientación es similar a la de las estructuras generadas por el evento ( $D_2$ ).

## IMPLICACIONES GEOLÓGICAS

En la porción norte de la sierra de Valle Fértil aparecen grandes cuerpos de migmatitas, comparables en sus aspectos petrológicos, y parcialmente en sus caracteres estructurales, con aquéllas que afloran en la porción central de dicha serranía.

El bandeo composicional con alternancia de metatexitas pelíticas, semipelíticas-grauváquicas y cuarcitas, brinda evidencias convincentes de una variación en el protolito sedimentario original, en con-

junto, es interpretado como la estratificación sedimentaria reléctica. Asimismo, la presencia de bancos refractarios que no experimentaron fusión parcial (*resisters*), con desarrollo de una foliación interna planar, sin presencia de plegamiento y concordante con la estratificación sedimentaria, permite sugerir que: i) las migmatitas presentes en la sección estudiada del arco magmático Famatiniano, fueron formadas a partir de una secuencia predominantemente metasedimentaria caracterizadas por la alternancia de pelitas, vaques y areniscas (tal como fue expuesto por Previley y Castro de Machuca, 2004 en el sector sur de las sierras de La Huerta y Valle Fértil) y ii) sólo registran un evento previo de recristalización sin evidencias de plegamiento polifásico. Estas observaciones son relevantes porque ponen de manifiesto la ausencia de evidencias que indiquen una historia deformacional posterior a la depositación y previa a la migmatización de la secuencia sedimentaria, tal como ha sido reconocido en otros sectores de las Sierras Pampeanas. Datos geocronológicos de circones detríticos determinados en dos especímenes migmatíticos del sector aquí estudiado (muestras VFNO28 y VFNO49, Cristofolini *et al.* 2012), indican una edad máxima de depositación para estos sedimentos de 518 Ma. La presencia de estructuras sin-migmáticas ( $S_{1a,b,c}$ ) es aquí interpretada como un evento deformacional continuo, desarrollado bajo condiciones reológicas de alta ductilidad y temperatura. Las edades de migmatización determinadas en los distintos sectores de la serranía ( $473 \pm 38$  Ma;  $474 \pm 4,7$  Ma, Cristofolini *et al.* 2010, 2011) indicarían que dicho proceso está íntimamente ligado al amplio magmatismo de arco desarrollado en el área entre los 480 Ma y 468 Ma (Pankhurst *et al.* 2000, Ducea *et al.* 2010, Gallien *et al.* 2010). Las fábricas post-migmatíticas reconocidas a lo largo de la quebrada Fría, muestran una historia de deformación continua, asociada a un evento tectónico de condiciones dúctiles-frágiles ( $D_2$ ; Cristofolini *et al.* 2010), vinculado a las etapas de cierre y exhumación del arco Famatiniano como consecuencia de la colisión del terreno com-

puesto de Cuyania y el margen occidental de Gondwana (Thomas y Astini 1996, Ramos 2004).

El análisis estructural detallado en las migmatitas y *resisters* del sector norte de la sierra de Valle Fértil, conjuntamente con las edades de depositación y migmatización, revelan que el plutonismo del arco magmático Famatiniano intruyó a una secuencia sedimentaria espesa depositada entre el Cámbrico medio y el Ordovícico Inferior. De este modo, se infiere que estos sedimentos evolucionaron en un lapso de unos 25 millones de años, comenzando con su depositación en una cuenca marina durante el Cámbrico tardío, y culminando con el enterramiento y consolidación del paquete metasedimentario dentro de la raíz de un arco, en el Ordovícico Temprano. Este conjunto de características es consistente con un contexto geodinámico asociado a orógenos acrecionales tipo Japón o Alaska, desarrollados sobre una potente secuencia sedimentaria tubidítica preexistente tal como lo propone Cristofolini *et al.* (2012) en base a datos geocronológicos.

La distinción de estructuras ( $S_0$ - $S_R$  y  $S_{1a}$ ) en la porción norte de la sierra de Valle Fértil, las cuales son previas a la deformación sin-migmática que genera la foliación  $S_{1b}$  penetrativa en todo el cordón serrano, son una herramienta importante para inferir los procesos que tuvieron lugar con antelación al pico metamórfico. Estas características, sumadas al hecho de que: i) en la porción norte de la sierra de Valle Fértil los afloramientos metasedimentarios presentan mayores dimensiones, y ii) que las condiciones termobarométricas estimadas en estas rocas son consistentes con aquellas estimadas por Otamendi *et al.* (2008) y Tibaldi *et al.* (2009, 2011) para la transición entre corteza inferior y superior en la porción central del cordón serrano, indican que el segmento norte de la sierra de Valle Fértil conserva evidencias de los procesos asociados a un estado evolutivo previo a lo observado en la porción central, donde un mayor volumen de material plutónico contribuyó a obliterar todos los rasgos originales de las secuencias metasedimentarias.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por los proyectos PICT01904/07 y PICT1299/08 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina y a través del fondo de ayuda de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se agradece la Dra. Brígida Castro de Machuca y al Dr. José M<sup>a</sup> Tubía Martínez, que han permitido mejorar la calidad de este trabajo debido a sus valiosas recomendaciones.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldo, E.G.A., Casquet, C., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Fanning, C.M. y Saavedra, J. 2001. Ordovician metamorphism at the southwestern margin of Gondwana: P-T conditions and U-Pb SHRIMP ages from Loma de Las Chacras, Sierras Pampeanas. 3<sup>o</sup> South American Symposium on Isotope Geology, Actas 1: 544-547, Pucón.
- Barazangi, M. e Isacks, B.I. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology* 4: 686-692.
- Castro de Machuca, B., Arancibia, G., Morata, D., Belmar, M., Previley, L. y Pontoriero, S. 2007. P-T-t evolution of an Early Silurian medium-grade shear zone on the west side of the Famatinian magmatic arc, Argentina: implications for the assembly of the Western Gondwana margin. *Gondwana Research* 13: 216-226.
- Coira, B., Pérez, B., Flores, P., Kay, S.M., Woll, B. y Hanning, M. 1999. Magmatic sources and tectonic setting of Gondwana margin Ordovician magmas, northern Puna of Argentina and Chile. En Ramos V. y Keppie J. (eds.), *Laurentia-Gondwana connections before Pangea*, Geological Society of America, Special Paper 336: 145-170.
- Cristofolini, E., Otamendi, J. E., Tibaldi, A.M., Martino, R.D. y Baliani, I. 2010. Geología de la porción occidental de la Sierra de Valle Fértil, San Juan, a partir de observaciones en la quebrada de Otarola. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 521-535.
- Cristofolini, E.A., Otamendi, J.E., Ducea, M.N., Pearson, D., Tibaldi, A.M. y Baliani, I. 2012. Detrital zircon ages from the Sierra de Valle Fértil, entrapment of Middle and Late Cambrian marine successions in deep roots of Early Ordovician arc. *Journal of South American Earth Sciences*, doi:10.1016/j.james.2012.02.001.
- Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Galindo, C., Alasino, P., Fanning, C.M., Saavedra, J. y Baldo, E. 2008. New SHRIMP U-Pb data from the Famatina complex: constraining early-mid Ordovician Famatinian magmatism in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Geológica Acta* 6: 319-333.
- de Alba, E. 1979. Sistema de Famatina. En Leanza, E.F. (eds.), *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*: 349-395. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Ducea, M.N., Otamendi, J.E., Bergantz, G., Stair, K., Valencia, V., y Gehrels, G.E. 2010. Timing constraints on building an intermediate plutonic arc crustal section: U-Pb zircon geochronology of the Sierra de Valle Fértil, Famatinian arc, Argentina. *Tectonics* 29: 1-22.
- Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Baldo, E.G., Casquet, C., y Galindo, C. 2004. K-bentonites in the Argentine Precordillera contemporaneous with rhyolite volcanism in the Famatinian arc. *Journal of the Geological Society* 161: 747-756, London.
- Gallien, F., Mogessie, A., Bjerg, E., Delpino, S., Castro de Machuca, B., Thöni, M. y Klötzli, U. 2010. Timing and rate of granulite facies metamorphism and cooling from multi-mineral chronology on migmatitic gneisses, Sierras de La Huerta and Valle Fértil, NW Argentina. *Lithos* 114: 229-252.
- Giménez, M.E., Martínez M.P. y Introcaso, A. 2000. A crustal model based mainly on gravity data in the area between the Bermejo Basin and the Sierras de Valle Fértil, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 275-286.
- Jordan T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: a modern analogue of rocky mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Lince Klingler, F., Giménez, M. E., Martínez, M. P. e Introcaso, A. 2008. Las estructuras de la Cuenca de Bermejo y Sierra de Valle Fértil a partir de los métodos deconvolución de Euler y señal analítica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 281-287.

- Mannhein, R. y Miller, H. 1996. Las rocas volcánicas y subvolcánicas copaleozoicas del Sistema de Famatina. En Aceñolaza F.G., Miller, H. y Toselli, A. (eds.) *Geología del Sistema de Famatina*. Münchner Geologische Hefte A19, 159-186, München.
- Mirré, J.C. 1976. Descripción Geológica de la Hoja 19e, Valle Fértil, Provincias de San Juan y La Rioja. Servicio Geológico Nacional, Boletín 147, 70 p., Buenos Aires.
- Otamendi, J.E., Tibaldi, A.M., Vujovich, G.I., y Viñao, G.A. 2008. Metamorphic evolution of migmatites from the deep Famatinian arc crust exposed in Sierras Valle Fértil - La Huerta, San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 313-335.
- Otamendi, J.E., Vujovich, G.I., de la Rosa, J.D., Tibaldi, A.M., Castro, A., Martino, R.D. y Pinotti, L.P. 2009a. Geology and petrology of a deep crustal zone from the Famatinian paleo-arc, Sierras de Valle Fértil and La Huerta, San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 27: 258-279.
- Otamendi, J., Ducea, M., Tibaldi, A., Bergantz, G., de La Rosa, J. y Vujovich, G. 2009b. Generation of Tonalitic and Dioritic Magmas by Coupled Partial Melting of Gabbroic and Metasedimentary Rocks within the Deep Crust of the Famatinian Magmatic Arc. *Journal of Petrology* 50: 841-873.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E., Dahlquist, J., Pascua, I. y Fanning, C.M. 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas: an Early to Mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. En Pankhurst, R. J. y Rapela, C. W. (eds.), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society London, Special Publication 142: 43- 368.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. y 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.
- Pontoriero, S. y Castro de Machuca, B., 1999. Contribution to the age of the igneous-metamorphic basement of La Huerta range, province of San Juan, Argentina. 2° South American Symposium on Isotope Geology. *Actas*: 101-104, Córdoba.
- Previley, L. y Castro de Machuca, B. 2004. Identificación de protolitos del basamento gneisico de las sierras de La Huerta y valle Fértil, Sierras Pampeanas Occidentales, provincia de San Juan, mediante criterios geoquímicos. 7° Congreso de Mineralogía y Metalogénia, *Actas*: 391-396.
- Ramos, V.A., Vujovich, G.I. y Dallmeyer, R.D. 1996. Los klippen y ventanas tectónicas de la estructura preándica de la Sierra de Pie de Palo (San Juan): edad e implicaciones tectónicas. *Actas 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. *Actas* 5: 377-392, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: review of a historical success and the present problems. *Gondwana Research* 7: 1009-1026.
- Rapela C.W., Coira, B., Toselli A., y Saavedra, J. 1992. El magmatismo del Paleozoico inferior en el Sudoeste de Gondwana. En J.C. Gutiérrez-Marco, J. J. Saavedra e I. Rábano (eds.), *Paleozoico Inferior de Ibero-América*: 21-68, Extremadura.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Baldo, E., Casquest, C., Galindo, C., Fanning, C.M. y Saavedra, J. 2001. Ordovician metamorphism in the Sierras Pampeanas: new U-Pb SHRIMP ages in central-east Valle Fértil and the Velasco batholith. 3° South American Symposium on Isotope Geology 3: 616-619, Pucón.
- Tibaldi, A., Otamendi, J., Cristofolini, E., Vujovich, G. y Martino, R. 2009. Condiciones de formación de gabros y migmatitas derivadas de rocas máficas en el centro de la Sierra de Valle Fértil: implicancias en la constitución del arco Famatiniano. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 487-503.
- Tibaldi, A., Otamendi, J., Cristofolini, E. y Baliani, I. 2010. Petrología y termobarometría del sector norte de la Sierra de Valle Fértil: un aporte a la reconstrucción del segmento norte del arco Famatiniano. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogénia, 373 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Tibaldi, A.M., Álvarez-Valero, A.M., Otamendi, J.E. y Cristofolini, E. A. 2011. Formation of paired pelitic and gabbroic migmatites: An empirical investigation of the consistency of geothermometers, geobarometers, and pseudosections. *Lithos* 122: 57-75.
- Thomas, W.A. y Astini, R.A. 1996. The Argentine Precordillera: A traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia. *Science* 273: 752-757.
- Toselli, A., Durand, F., Rossi de Toselli, J. y Saavedra, J. 1996. Esquema de evolución tectónica y magmática Eo-Paleozoica del Sistema de Famatina y sectores de Sierras Pampeanas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, *Actas* 5: 443-462, Buenos Aires.
- Turner, J.C. y Méndez, V., 1979. Puna. En Leanza, E.F. (eds.) *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*: 117-142. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Valley, P.M., Whitney, D.L., Paterson, S.R., Miller, R.B. y Alsleben, H. 2003. Metamorphism of the deepest exposed arc rocks in the Cretaceous to Paleogene Cascades belt, Washington: evidence for large-scale vertical motion in a continental arc. *Journal of Metamorphic Geology* 21: 203-220.
- Vujovich, G.I., Godeas, M., Marín, G. y Pezzutti, N. 1996. El complejo magmático de la Sierra de La Huerta, provincia de San Juan. *Actas 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos* 3: 465-475.
- Vujovich, G., Chernicoff, J., Tchiligririan, P., Godeas, M., Marín, G., Pezzutti, N. y Sepúlveda, E. 1998. Hoja Geológica 3166-3°, Chepes, Provincias de San Juan y La Rioja. Subsecretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, 54 p., Buenos Aires.

Recibido:

Aceptado: