

Petrografía y estructura del basamento ígneo-metamórfico de la región de Los Cuartos, departamento de Tafí del Valle, provincia de Tucumán, Argentina

Masetti, Enzo L.

INSUGEO (CONICET-UNT), Miguel Lillo 250. (4000) San Miguel de Tucumán. E-mail: enzomasetti@hotmail.com

► **Resumen** — El basamento metamórfico de la zona de Los Cuartos está constituido por esquistos bandeados y rocas calcosilicáticas frecuentes, intercaladas a modo de bancos y lentes. Se reconocen dos fases de metamorfismo y deformación: D_1 , coincidente con M_1 , que da lugar a la esquistocidad S_1 y al bandeo composicional de los bancos calcosilicáticos; D_2 , que produce el clivaje de crenulación S_2 , el plegamiento de venas S_1 cortadas por otras nuevas S_2 y el boudinage de los bancos mencionados. M_2 , tardío- a post- D_2 , produce fenoblastos de clorita, biotita, granate y estauroilita. Al metamorfismo regional, se superpone un metamorfismo térmico, producto de la intrusión del granitoide Los Cuartos, con desarrollo de andalucita y biotita poiquiloblástica. El análisis estructural de superficies S_1 , acusa la existencia de una estructura mayor, antiforme y asimétrica, producida durante D_2 . El granitoide Los Cuartos, es monzogranítico a tonalítico de dos micas, presenta textura inequigranular, químicamente muestra características calcoalcalinas y peraluminosas y su emplazamiento sería post- D_2 .

Palabras clave: Basamento metamórfico, Granitoide Los Cuartos, Metamorfismo Térmico, Clivaje S_2 , Ordovícico.

► **Abstract** — «Petrography and structure of the igneous-metamorphic basement of the Los Cuartos region, department of Tafí del Valle, Tucumán province, Argentina». The metamorphic basement of the Los Cuartos region is composed of banded schists and frequent interlayered calc-silicate rocks. These rocks have suffered two main phases of deformation and metamorphism: D_1 , syn-kinematic with M_1 , generates a main schistosity S_1 , and the foliation of the calc-silicate layers; D_2 , generates a crenulation cleavage S_2 , folding of S_1 veins and boudinage of the calc-silicate layers. M_2 , is late- to post-kinematic, and produces chlorite, biotite, garnet and staurolite porphyroblasts. The Los Cuartos granitoid has monzogranitic to tonalitic composition of two micas. The granite is inequigranular. It is calc-alkaline, peraluminous and shows post-tectonic features with regard to the regional deformation. The granitic intrusion produced contact metamorphism in the surrounding basement, with development of andalucite porphyroblasts and poiquiloblastic biotite.

Keywords: Metamorphic basement, Los Cuartos granitoid, contact metamorphism, cleavage S_2 , Ordovician.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio pertenece al ambiente geológico de Sierras Pampeanas Noroccidentales y se ubica sobre el faldeo occidental de las Cumbres Calchaquies y adyacente a la localidad de Los Cuartos, departamento Tafí del Valle, provincia de Tucumán. Dicha zona está comprendida entre los paralelos $26^{\circ}50'09''$ y $26^{\circ}51'27''$ latitud sur y los meridianos $65^{\circ}38'21''$ y $65^{\circ}40'03''$ longitud oeste (figura 1).

En el presente trabajo se realiza el estudio petrográfico y estructural de las unidades que conforman el basamento ígneo-metamórfico de la región, con el objetivo de establecer la secuencia de eventos magmáticos, metamórficos y tectónicos, a partir de las edades relativas de las distintas unidades litológicas.

ANTECEDENTES

En el área de estudio las metamorfitas fueron descritas por Toselli y Rossi de Toselli (1973) como esquistos cuarzo-biotítico-

muscovíticos, con cantidades menores de plagioclasa ácida y el par estauroilita-granate, diagnóstico del nivel inferior de la facies anfibolita. Las rocas calcosilicáticas presentan heterogeneidad mineralógica entre el centro y borde de los bancos (Rossi de Toselli *et al.*, 1982) con desarrollo de paragénesis de cuarzo, plagioclasa, clinozoicita, granate, hornblenda, titanita, diópsido, biotita y calcita (Toselli *et al.*, 2003).

Toselli y Rossi de Toselli (1984) reconocen dos fases principales de deformación y metamorfismo: una deformación D_1 , sincinemática con M_1 y una deformación D_2 con un M_2 de rango estauroilita, asociadas a fenómenos metamórficos acontecidos en el Ciclo Famatiniano (Aceñolaza y Toselli, 1976). El campo de temperatura y presión para el metamorfismo regional de Cumbres Calchaquies se ubicaría entre los 525 y 580 °C y 2,7 a 3,5 Kbars (Toselli y Rossi de Toselli, 1984).

En las cercanías de la zona de estudio se emplazan, intruyendo a las metamorfitas, cuerpos ígneos de edad ordovícica-silúrica a lo largo de la Megafractura de Tafi (Baldis *et al.*, 1975) que fueron estudiados por Saavedra *et al.* (1984, 1985), Toselli *et al.* (1985, 1987, 1989), Lorenc y Lisiak (1987), Pérez (1987), Lisiak (1990) entre otros, quienes señalan una variación composicional entre tonalitas con andesina, biotita y epidoto a monzogranitos con muscovita, albita y granate. Geoquímicamente fueron clasificados como calcoalcalinos y peraluminosos, con características de emplazamiento y cristalización tardío a postectónicas.

La información geocronológica existente, por el método K/Ar para el conjunto de intrusivos, recopilada por Toselli *et al.* (1985), indica edades entre los 507 y 415 Ma. Sales de López *et al.* (1997) determinan, para el granito Loma Pelada, por el método Rb/Sr, una edad de 470 Ma. Estos datos concuerdan

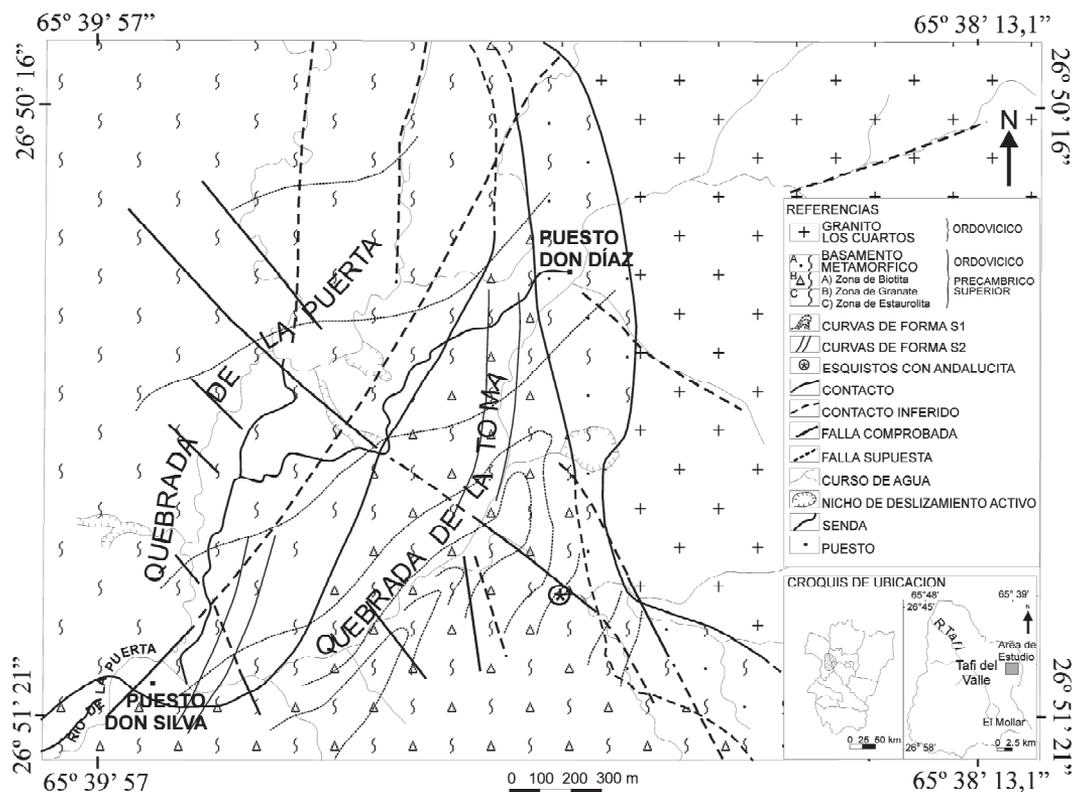


Figura 1. Mapa geológico de la zona de Los Cuartos, Tafi del Valle.

con los obtenidos por Bachmann *et al.* (1985), quienes por el método Rb/Sr determinan que la roca de caja tiene edades de 557-569 Ma para el primer evento de metamorfismo sincinemático y 459-470 Ma para el segundo evento de tipo térmico.

Específicamente, en la zona de estudio, aflora el granitoide de Los Cuartos que Toselli y Rossi de Toselli (1984) mencionan sucintamente, en contacto con los esquistos estaurólítico-granatíferos, al que clasifican petrográficamente como granito-granodiorita. Posteriormente, Toselli (1992) señala fenómenos de asimilación de la roca de caja que presenta el granito de Mala-Mala en inmediaciones de la quebrada de Los Cuartos. Edades de este cuerpo fueron determinadas por González *et al.* (1973) por el método K/Ar en biotita, obteniendo valores entre 479 ± 9 y 456 ± 21 Ma.

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En primer lugar, se analizan los esquistos bandeados, denominándolos como metapelitas y metagrauvas, teniendo en cuenta su origen sedimentario (Toselli y Rossi de Toselli, 1984). Se hace mención y una descripción de las rocas calcosilicáticas, genéticamente relacionadas a las anteriores (Toselli *et al.*, 2003), denominándose como tales, y un análisis de las estructuras meso y microscópicas, que se observaron y midieron en el campo y en secciones delgadas. Finalmente, se describe la petrografía y, de manera adicional, la geoquímica del granitoide Los Cuartos.

METAPELITAS Y METAGRAUVAS

Petrografía.— Las metapelitas y metagrauvas afloran en la región centro-occidental del área estudiada y son intruídas por el granitoide Los Cuartos.

Se han reconocido tres zonas metamórficas (figura 1), según la presencia de distintos minerales índices: Zona de la Biotita, Zona del Granate y Zona de la Estaurólita.

Las rocas de cada zona metamórfica presentan fábrica similar y minerales que son comunes a toda ellas. Estas poseen una fo-

liación S_1 representada por la alternancia de bandas cuarzosas (microlitones) y micáceas (dominios de clivaje), de espesores decimétricos a milimétricos. Microscópicamente, las bandas cuarzosas poseen una textura granolepidoblástica y están constituidas principalmente por cuarzo, representado por blastos con bordes rectos, puntos triples y extinción normal junto a muscovita, biotita y clorita, en porcentajes subordinados. Las bandas micáceas también están caracterizadas por una textura granolepidoblástica y lepidoblástica, en el caso de las variedades más micáceas. Se constituyen por láminas subhedrales de muscovita, orientadas paralelas a la disposición del bandeamiento S_1 , o bien de modo oblicuo, reflejando un S_2 . En menor medida están presentes láminas subhedrales de biotita y clorita y blastos anhedrales de cuarzo. En la zona del granate, se ha observado la presencia de abundante plagioclasa de forma anhedral y levemente zonada.

En algunas rocas, sin distinción de zonas, se observa, superpuesto de manera perpendicular al bandeo composicional S_1 ($S_2 \perp S_1$), un clivaje de crenulación S_2 (figura 2). El clivaje mencionado consiste en láminas orientadas de muscovita y biotita, agrupadas en delgadas bandas lepidoblásticas (0,1 mm de espesor) que definen los dominios de clivaje, separadas por bandas cuarzo-muscovíticas (microlitones) con espesores de un milímetro, donde las láminas de mica se encuentran definiendo micropliegues S_1 , principalmente de tipo simétrico. De esta manera, se ha definido de acuerdo a la clasificación morfológica de foliaciones usando el microscopio óptico, propuesta por Powell (1979), Borradaile *et al.* (1982) y Passchier y Trouw (1996). Éste se caracteriza como «espaciado», con un volumen porcentual entre el 1% y el 30% de los dominios de clivaje (bandas biotítico-muscovíticas); «paralelo», en base a la relación espacial entre los dominios de clivaje, de «grosero» a «regular», por la forma de los dominios de clivaje y «discreto», debido a los límites netos de bandas.

Los esquistos bandeados presentan, además, fenoblastos de clorita, biotita, granate,

estauroлита y andalucita. Los fenoblastos de clorita son anhedral a subhedral, varían entre 0,5 y 2 mm y poseen textura poiquiloblástica, con predominio de inclusiones de cuarzo. Los fenoblastos de biotita son anhedral de hasta 2,5 mm y poiquiloblásticos, con inclusiones de cuarzo, siempre orientadas paralelas a S_1 ($S_i//S_1$). Los fenoblastos de granate son euhedral a subhedral, de 0,5 a 1 mm; presentan inclusiones alineadas de cuarzo anhedral, a veces concordantes con la disposición del bandeamiento y esquistosidad S_1 . En todos los casos, los fenoblastos se hallan interrumpiendo la esquistosidad de la matriz. Los fenoblastos de estauroлита son euhedral a subhedral de 0,2 a 2 cm, están asociados en maclas de penetración cruciforme y desarrollados sobre una matriz pelítica. La sericita y la clorita son su producto de alteración común. Posee abun-

dantes inclusiones, principalmente de cuarzo, que en los casos que están orientadas, lo hacen en dirección paralela a S_1 . En su desarrollo, la estauroлита engloba venas de cuarzo S_2 . Los fenoblastos de andalucita son anhedral a subhedral y poiquiloblásticos, con inclusiones de cuarzo, muscovita y biotita. Se encuentran frecuentemente asociados a láminas de biotita poiquiloblástica. En todos los casos, se hallan interrumpiendo la esquistosidad de la matriz en la cual se encuentran inmersos.

Paragénesis minerales y reacciones metamórficas.— Las paragénesis observadas en la zona de estudio son, en la Zona de la biotita: a) biotita-muscovita-cuarzo, b) biotita-clorita-muscovita-cuarzo; en la Zona del granate: a) granate-biotita-clorita, b) granate-clorita-cuarzo-muscovita, c) grana-

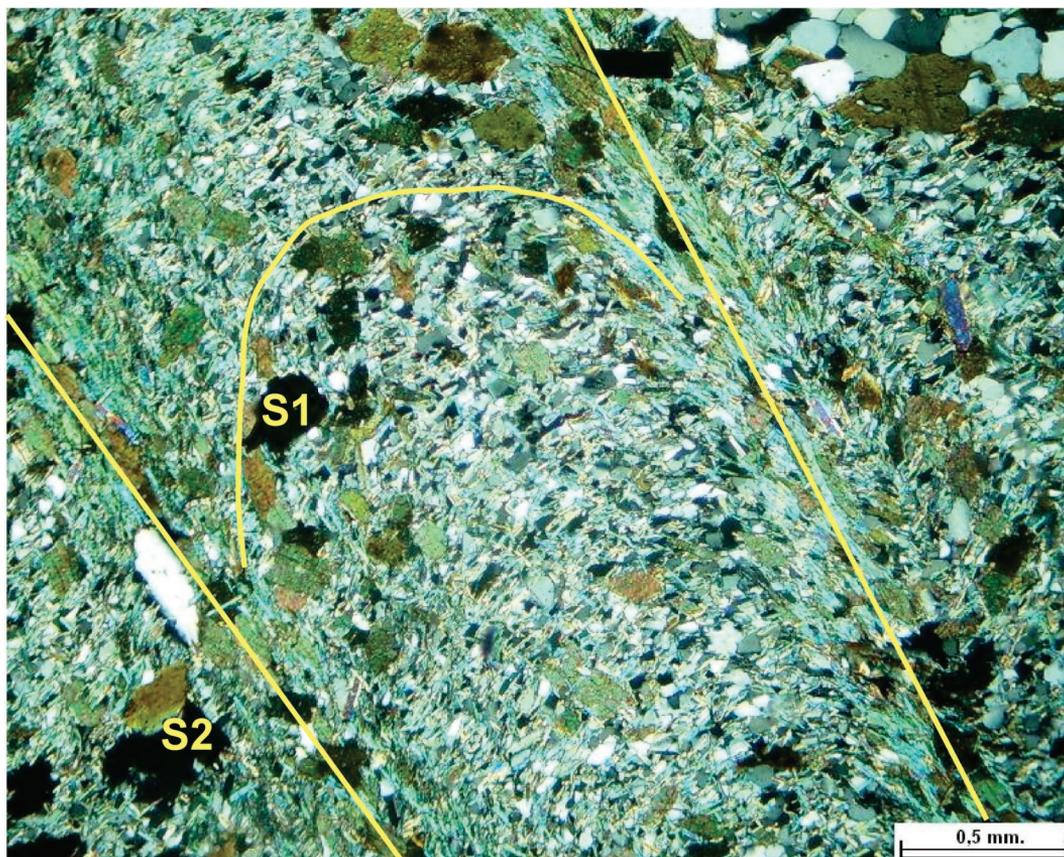


Figura 2. Clivaje de crenulación S_2 , con láminas de muscovita flexionadas en las bandas cuarzo-muscovíticas.

te-cuarzo-muscovita-biotita; en la Zona de la estauroлита: a) estauroлита-cuarzo-biotita-muscovita, b) estauroлита-granate, c) estauroлита-clorita-biotita.

Además de las zonas mencionadas, se reconocieron esquistos con andalucita y biotita poquiloclástica, cuyas paragénesis son: a) andalucita-biotita, b) andalucita-plagioclasa-biotita.

Toselli y Rossi de Toselli (1984) plantearon las reacciones metamórficas más probables, en base a estudios paragenéticos, para los minerales indicadores del grado metamórfico.

– Para la biotita:

Muscovita fengítica + clorita + biotita + clorita rica en Al + cuarzo + muscovita
Muscovita fengítica + clorita → biotita + muscovita

– Para el granate:

clorita + biotita (primera generación) → granate rico en almandino + biotita (segunda generación) + agua

– Para la estauroлита:

clorita + cuarzo → estauroлита + clorita rica en Mg + agua
clorita + muscovita → estauroлита + biotita + cuarzo + agua

– Para la andalucita:

clorita rica en Mg + estauroлита + muscovita + cuarzo → andalucita + biotita + agua

clorita rica en Mg + muscovita + cuarzo → andalucita + biotita + agua

Como se observa en el mapa (figura 1) la andalucita aparece sólo en la Zona de Granate. La zonación de Biotita, Granate, y Estauroлита correspondería a un metamorfismo regional evidenciando un progrado metamórfico de E (Zona de Biotita) a W (Zona de Estauroлита), mientras que la aparición de andalucita estaría relacionada a efectos térmicos posteriores (metamorfismo de contacto). Sin embargo, se han observado fenoblastos de andalucita envueltos en una placa

de biotita, indicando una pseudomorfosis de la estauroлита por andalucita y biotita posteriores. Fenómenos de este tipo han sido mencionados por algunos autores en la literatura petrológica, como Martínez (1974). La reacción que origina la desaparición de la estauroлита, es, según Hoschek (1969):

estauroлита + muscovita + cuarzo → biotita + Al_2SiO_5 + vapor

Según esta reacción, la ausencia de estauroлита indica condiciones de presión inferiores a 3 Kbars, para temperaturas comprendidas entre los 500 y 600 °C, que representan el límite inferior de la existencia de dicho mineral, teniendo en cuenta que la andalucita ha sido el aluminosilicato encontrado.

ROCAS CALCOSILICÁTICAS

Rocas calcosilicáticas se encuentran intercaladas entre los esquistos bandeados, indicando una relación paralela entre S_1 y S_0 , como fuera mencionado por Toselli y Rossi de Toselli (1984). Al sur de la zona, se encontraron los niveles más espesos, aproximadamente 20 cm y sobresalientes, intercalados entre esquistos estaurolíticos, a modo de bancos. Aparecen en xenolitos del granito de los Cuartos, formando frecuentes boudins. En la zona central se observaron niveles centimétricos, en algunos casos, plegados y boudinados.

Macroscópicamente, se les reconoce la presencia de prismas de anfíboles subhedrales de hasta 5 mm de longitud en las zonas de borde, y de granate anhedral de hasta 2 mm, inmersos en una matriz rosada, granoblástica y de grano fino.

En sección delgada, se observan en una matriz foliada la presencia de fenoblastos de granate y actinolita.

La matriz está caracterizada por la presencia de bandas granoblásticas de cuarzo-plagioclasa cálcica y bandas epidóticas. Las bandas de cuarzo-plagioclasa cálcica están constituidas por blastos de cuarzo, con tamaños variables de hasta 0,3 mm, abundantes inclusiones de circón, extinción flash y

bordes rectos que conforman puntos triples. Los blastos de plagioclasa cálcica son anhedrales, con tamaños de hasta 0,5 mm, maclado polisintético y sin alteración. Las bandas epidóticas presentan blastos anhedrales a subhedrales de clinzoicita, zoicita y pistacita, con tamaños de hasta 0,1 mm e inclusiones de cuarzo anhedral. Se encuentran alterados a carbonatos.

Los fenoblastos de actinolita son subhedrales y anhedrales, sin orden definido, de hasta 0,6 mm, con inclusiones de epidoto y cuarzo, que le confieren una textura poiquiloblástica. Dichas inclusiones se orientan paralelas a la disposición del bandeamiento. Los fenoblastos de granate son anhedrales y subhedrales con tamaños de hasta 1,5 mm. En algunos casos se encuentran agrupados en una masa granatífera que engloba actinolita y cuarzo, cuya posición se relaciona a sectores ocupados por bandas epidóticas.

En menor proporción se observan titanita anhedral, agrupada en algunos sectores de la roca, apatito, subhedral y diseminado, y muscovita subhedral, de hasta 0,7 mm con pequeñas inclusiones de cuarzo anhedral.

Las paragénesis que se observan son: a) clinzoicita-cuarzo-actinolita, b) zoicita-clinzoicita-pistacita-actinolita. En base a éstas y a las correlaciones realizadas por Spear (1993) para rocas pelíticas, metabasitas y calcosilicatadas, se asigna estas rocas a la Zona del granate y/o estauroilita (zonas de Barrow, definidas para metapelitas) y a facies anfibolita con epidoto (facies metamórficas, definidas para metabasitas).

ESTRUCTURA DEL BASAMENTO METAMÓRFICO

Las rocas metamórficas presentan una fábrica foliada y esquistosa, cuyos planos poseen un rumbo general NE-SW, e inclinaciones de alto ángulo hacia el NW, con algunas modificaciones locales. En las cercanías del granitoide Los Cuartos, en la región este de la zona de estudio, se observa un cambio brusco en la inclinación de los planos, los cuales buzanan hacia el SE.

Las estructuras meso y microscópicas observadas se pueden clasificar en estructu-

ras planares y micropliegues. Las primeras son respectivamente, las superficies de esquistocidad S_1 , paralelas al bandeo composicional de los esquistos, y las de esquistocidad S_2 oblicuas sobre las anteriores, definidas por Toselli y Rossi de Toselli (1984). Dichas estructuras planares fueron medidas en el campo. Los datos fueron procesados, analizados e interpretados mediante el uso del programa específico Stereo Nett con proyecciones de los polos de planos de esquistocidad en diagramas equiareales (red de Schmidt), de distribución de frecuencias, y de tipo beta (figura 3). Los planos S_1 , que buzanan hacia el NW, poseen un valor de rumbo e inclinación de N 63/78 NW, mientras que para los planos que buzanan hacia el SE en las cercanías del cuerpo intrusivo, el valor más frecuente es de N 41/63 SE. Con estos datos, y teniendo en cuenta la ubicación en el campo de los puntos de medición, se estaría en presencia de una estructura mayor, antiformal, y de tipo asimétrica, cuyo eje (beta), posee un valor de dirección de inclinación e inmersión de N56/29. Los datos de estructuras S_2 presentan cierta dispersión, obteniéndose un valor de rumbo e inclinación de N2/75.

Por otro lado, los micropliegues reconocidos en el área de estudio son de tipo paralelo, redondeados y están marcados por la flexión de láminas de muscovita en las bandas cuarzo-muscovíticas S_2 . Estos pliegues también afectan a delgadas venillas cuarzosas S_1 , las cuales son cortadas por otras nuevas (venas S_2), paralelas al plano axial de los pliegues mencionados, las que podrían haber sido segregadas durante la fase deformativa D_2 .

GRANITOIDE LOS CUARTOS

El granitoide Los Cuartos es un cuerpo elongado de rumbo submeridional con ejes de 2 x 7 km. Se encuentra en el sector este de la zona de estudio, ocasionando un metamorfismo térmico, con desarrollo de andalucita y biotita poiquiloblástica en la roca de caja.

El contacto del intrusivo con las rocas del basamento, escasamente visible, es neto, sin evidencias de interacción entre ellos, y, en

general, se presenta cubierto por depósitos conglomerádicos del cuaternario. Se han observado diques de cuarzo, de espesores decimétricos, inyectados en las rocas metamórficas del basamento, que se atribuyen a la actividad de dicho cuerpo. Estos cuerpos

se mantienen en relación discordante con las venillas de segregación S_2 de la roca de caja.

Diques pegmatíticos cortan al granitoide Los Cuartos, con espesores centimétricos a decimétricos, constituidos por cuarzo, feld-

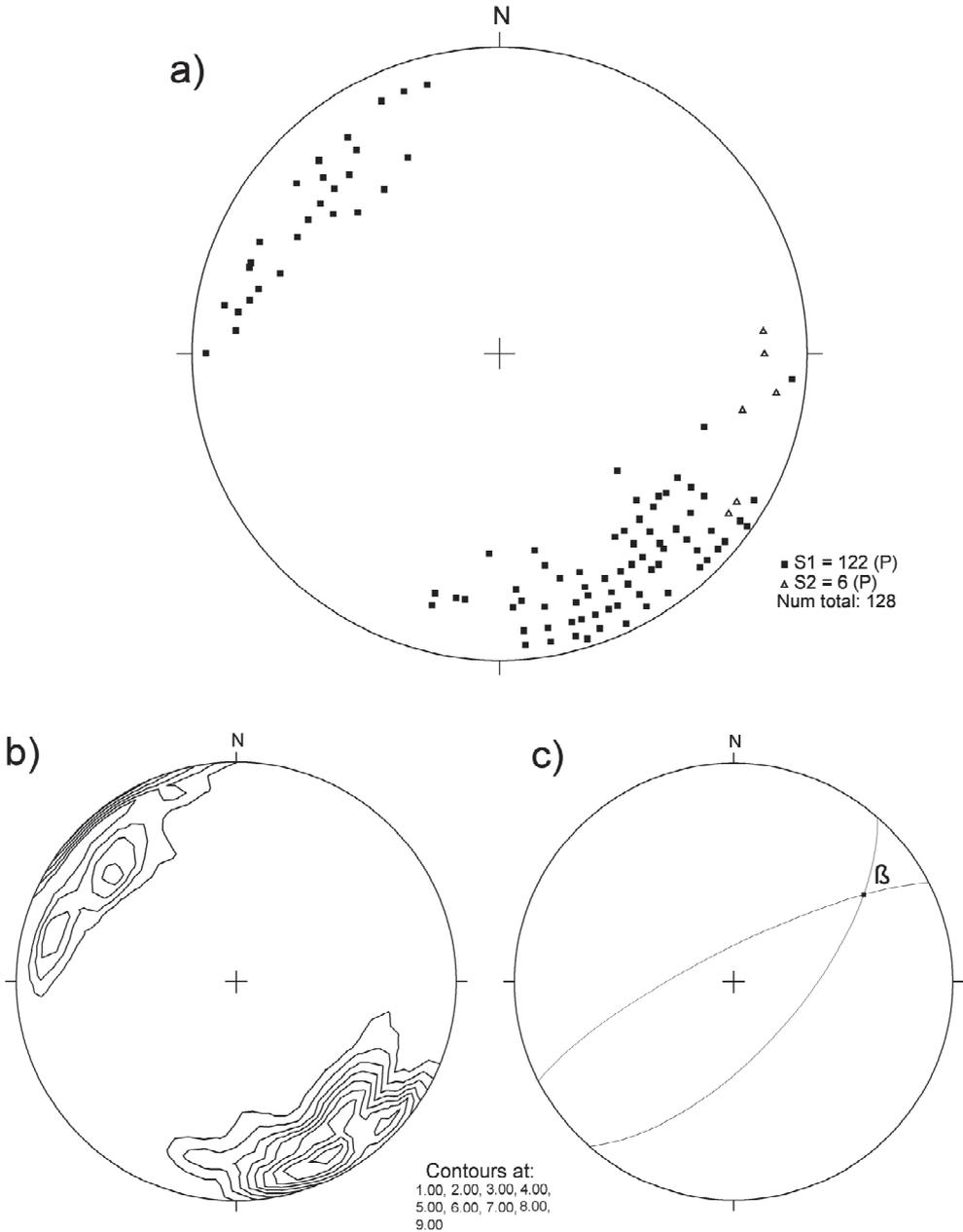


Figura 3. Diagramas estructurales de las superficies planares pertenecientes al basamento metamórfico. a) Diagrama de polos para superficies S_1 y S_2 . b) Diagrama de distribución de frecuencias para superficies S_1 . c) Diagrama de tipo beta para superficies S_1 .

spato potásico, muscovita y turmalina.

Xenolitos son elementos comunes en este cuerpo y están compuestos por las metamorfitas que constituyen la roca de caja. Sus tamaños varían desde centímetros hasta más de un metro, con diferentes grados de asimilación. En estos xenolitos se observa, claramente la foliación S_1 , y una superficie S_2 oblicua a la primera, marcada por la orientación de venas segregadas de cuarzo. Se observan además, superficies S_1 en ocasiones plegadas simétricamente (figura 4) y boudins de rocas calcosilicáticas, situados de manera aislada o relacionados entre sí por un delgado cuello.

Petrografía.— Son rocas de grano medio y textura inequigranular y xenomórfica a hipidiomórfica. La plagioclasa es, en general, el feldespato dominante (20-42%); presenta forma subhedral, de hasta 4 mm, maclado tipo Albita o Albita-Carlsbad y fuerte zona-

ción normal, con el núcleo alterado a sericita y muscovita secundaria, la cuales crecen a lo largo de los planos de clivaje. Posee inclusiones de cuarzo, micas, circón, apatito y tablillas subhedrales de plagioclasa de una generación previa. Mediante el Método de Michel-Lévy, en el que se trabajan secciones perpendiculares a (010), la composición fue determinada como An 32 (Andesina ácida). El cuarzo (32-51%), presenta forma anhedral, con tamaños que varían de 0,25 a 4,0 mm, abundantes inclusiones de agujas de rutilo, además de micas y circón. Se observa límpido, con extinción fragmentosa y bordes angulosos e irregulares. El microclino (0-23%) presenta forma anhedral, de 0,5 a 3,5 mm, con desarrollo de maclas Periclino-Albita levemente deformadas y discontinuas. Es común la presencia de finas venillas peritíticas y mirmequitas de reemplazo. Posee inclusiones de cuarzo, plagioclasa y micas. La biotita (4-15%) se presenta en láminas



Figura 4. Planos S_1 plegados, costados por venillas segregadas de cuarzo S_2 .

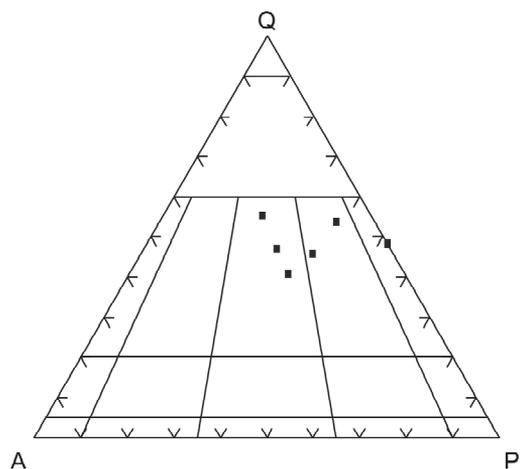


Figura 5. Diagrama QAP de Streckeisen (1976) con la proyección de las rocas estudiadas.

subhedrales con un tamaño frecuente de 2 mm, numerosas inclusiones de circón, apatito, titanita y opacos. Se encuentran muscovitizadas, alteradas a epidoto y a clorita. La muscovita (2-6%) se presenta a modo de cristales subhedrales de 2 mm y hasta 3,5 mm, en contacto neto con los minerales félsicos o incluidos en éstos. Posee inclusiones de circón. Otros minerales accesorios son apatito de forma anhedral; circón, como inclusión en los cristales de biotita y forma anhedral a subhedral; titanita subhedral de hasta 0.6 mm; y turmalina, sólo presente en monzogranitos de manera escasa, representada por cristales anhedrales de 1,25 mm, muy fracturados.

Los resultados de los análisis modales se han proyectado en el diagrama QAP de Streckeisen (1976) donde se observa que se clasifican como monzogranitos, granodioritas y tonalitas; estas últimas correspondientes a una muestra del sector norte del cuerpo intrusivo (figura 5).

Geoquímica.— Los resultados de los análisis químicos del granitoide Los Cuartos fueron recopilados de López y Bellos (2010). En el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971), como se observa en la figura 6a, se representaron las rocas pertenecientes al granitoide Los Cuartos. Dichas rocas muestran una ten-

dencia calcoalcalina para el magmatismo en esta zona. El granitoide Los Cuartos es de característica peraluminosa, con un índice de saturación en alúmina (ISA) entre 1,11 y 1,30, como se observa en el diagrama de Maniar y Piccoli (1989), de la figura 6b. Esta tendencia también se refleja en el diagrama AB (Debon y Le Fort, 1983), en donde las muestras se proyectan principalmente en el campo moderadamente peraluminoso (figura 6c).

INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Las grauvacas, pelitas y sedimentos calcaeos depositados durante el Precámbrico-Cámbrico inferior (Toselli y Rossi de Toselli, 1984), desarrollan una esquistocidad y foliación S_1 , paralela a S_0 , debido a la fase deformativa D_1 . Dicha fase coincide con la fase metamórfica M_1 , producidas durante Cámbrico medio-superior y da lugar, en los esquistos bandeados, al desarrollo de muscovita, clorita, biotita, plagioclasa, recristalización del cuarzo y segregación de venas del mismo mineral paralelas a los planos S_1 . En las rocas calcosilicáticas da lugar a la intercalación de bandas de cuarzo-plagioclasa y bandas de epidoto. El metamorfismo M_1 , no sobrepasó las facies esquistos verdes.

El segundo evento deformativo D_2 , de edad ordovícica-silúrica, produce el alabeo de la esquistocidad S_1 , el clivaje de crenulación S_2 , definido por láminas biotíticas y muscovíticas y el plegamiento de venas S_1 atravesadas por venas de segregación S_2 , paralelas al plano axial de los micropliegues. Dicho evento deformativo es también registrado en las rocas calcosilicáticas, representado por el boudinaje de los bancos mencionados.

El evento deformativo D_2 dio lugar, entre lo mencionado, a una estructura mayor, antiformal, de tipo asimétrica. El plegamiento de esta estructura se habría producido con anterioridad al desarrollo de los porfiroblastos. La ausencia de una relación entre la disposición de las zonas metamórficas y las curvas de forma S_1 es evidencia del carácter tardío a post- D_2 del metamorfismo M_2 . Es

probable que existan más de este tipo de estructura, pues dicho evento deformativo fue de carácter regional y excedería los límites de la zona de estudio. El clivaje de crenulación S_2 sobreimpuesto al bandeamiento y esquistosidad S_1 en relaciones perpendiculares, estaría relacionado a las zonas de charnela de las estructuras mayores, mientras que en las zonas de flanco, las relaciones

entre los planos S_1 y S_2 serían oblicuas, como se ha observado en algunas rocas de la zona.

Las metapelitas y metagrauvas corresponden a tres zonas metamórficas, mapeadas y reconocidas en base a la aparición de los siguientes minerales índices: a) Biotita, b) Granate y c) Estauroilita. Dichas zonas corresponderían al metamorfismo M_2 , eviden-

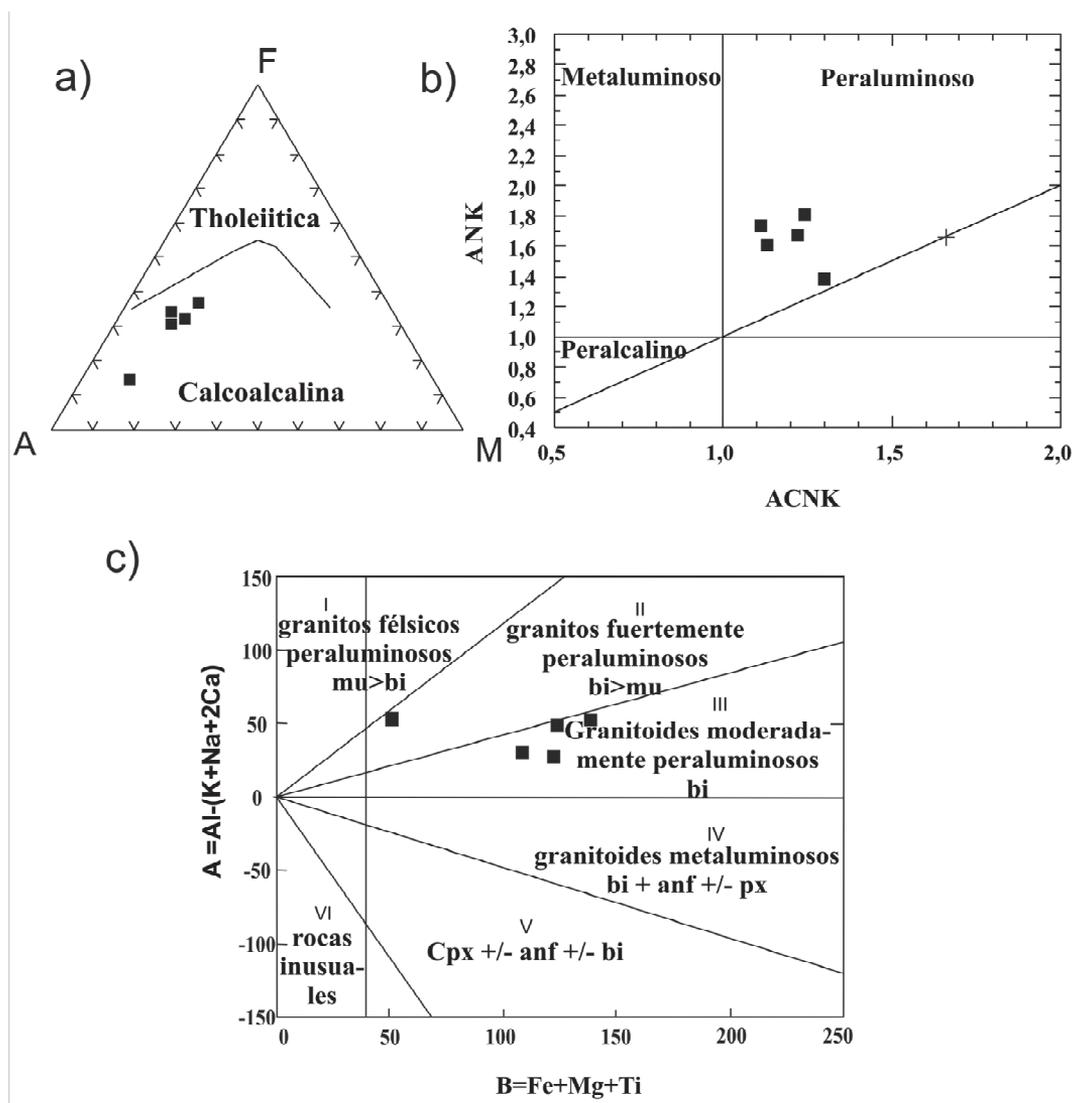


Figura 6. Diagramas geoquímicos correspondientes a las rocas del granito Los Cuartos, modificados de López y Bellos (2010). a) Diagrama AFM (Irvine y Barajar, 1971), donde A = (Na₂O + K₂O), F = (FeO total) y M = (MgO). b) Diagrama de Maniar y Piccoli (1989) utilizando los índices de Shand, donde ANK = (Al₂O₃/Na₂O+K₂O) y ACNK = (Al₂O₃/CaO+Na₂O+K₂O). c) Diagrama de discriminación de Debon y Le Fort (1983).

ciendo un progrado metamórfico de E (Zona de Biotita) a W (Zona de Estaurolita). En esta fase metamórfica se produce la zonación de la plagioclasa y el desarrollo de los porfiroblastos de clorita, biotita, granate, estaurolita. Los fenoblastos mencionados:

- son ehedrales a subhedrales sin orientación alguna,
- son poiquiloblásticos, con inclusiones orientadas paralelas a S_1 ,
- se hayan interrumpiendo la esquistocidad de la matriz, y
- en algunos casos (clorita y estaurolita), engloban venas de cuarzo S_2 .

De esta manera, se los considera de crecimiento estático y post- D_2 .

En las rocas calcosilicáticas el metamorfismo M_2 , produce el desarrollo de porfiroblastos de actinolita y granate. En base a los estudios paragenéticos y a las correlaciones realizadas, el metamorfismo M_2 alcanzó la facies Anfibolita.

Al metamorfismo regional de estas rocas, se superpone un metamorfismo de contacto, producto de la intrusión del granitoide Los Cuartos en las rocas del basamento. Este evento está caracterizado por el desarrollo de fenoblastos de andalucita y biotita poiquiloblástica, que habrían crecido selectivamente en fenoblastos de estaurolita pre-existentes, manteniéndose la morfología externa de la última. En tal caso, dicho metamorfismo estaría restringido a condiciones de presión inferiores a los 3 Kbars, para temperaturas entre 500 y 600° C, que representan el límite inferior de la existencia de estaurolita. Un aumento de la temperatura de modo localizado, afectaría las rocas metamórficas del basamento por causa de la intrusión del Granito Los Cuartos, acompañado de un levantamiento en las rocas de la región, que se traduce en un descenso de la presión.

Las rocas del granitoide Los Cuartos son monzograníticas a granodioríticas de dos micas, y tonalíticas, con características mineralógicas semejantes en todos sus términos. Las inclusiones de pequeñas tablillas de plagioclasa en los megacristales del mismo mineral, indicarían una tasa de enfriamiento

variable durante el transcurso de la cristalización magmática. Con el ascenso del magma, fragmentos de la roca de caja serían arrancados y digeridos dinámicamente por *stopping*. Durante los últimos estadios de la cristalización se habrían intruído diques pegmatíticos en las rocas ígneas ya solidificadas. En un evento posterior y de carácter secundario se produce, además de otros tipos de alteraciones menores, la sericitización parcial de la plagioclasa, con generación de muscovita secundaria y la muscovitización y cloritización de los cristales de biotita.

La mineralogía y quimismo del granitoide Los Cuartos indican que es calcoalcalino, moderada a fuertemente peraluminoso, con un índice de saturación en alúmina (ISA), entre 1,11 y 1,30.

El emplazamiento y cristalización del cuerpo sería de características post-tectónicas con respecto a la deformación D_2 , debido a:

- evidencias de un S_2 en los xenolitos, marcado por la orientación de venas segregadas de cuarzo, oblicuo a S_1 ,
- el boudinaje de bancos calcosilicáticos en algunos xenolitos mayores, y
- la presencia de diques de cuarzo inyectados, relacionadas al cuerpo intrusivo, que cortan discordantemente las venillas de segregación S_2 de las rocas de caja.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto CIUNT 26/G427 «Petrología y Geoquímica del basamento metamórfico y de intrusivos graníticos paleozoicos de Cumbres Calchaquíes, Sierra de Aconquija y Sierra de Quilmes, Provincia de Tucumán y Catamarca». El autor agradece al Dr. José Pablo López por su valiosa colaboración y a los correctores por su gran interés en la lectura del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G. y Toselli, A. J. 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. II Congreso latinoamericano de Geología, 2: 755-763, Caracas.

- Baldis, B., Viramonte, J. y Salfity, J. 1975. Geotectónica de la comarca comprendida entre el Cratógono Central Argentino y el borde austral de la Puna. II Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 4: 25-44, Buenos Aires.
- Bachmann, G., Grauert, B. y Miller, H. 1985. Isotopic dating of polymetamorphic metasediment from NW Argentina. *Zentralblatt Für Geologie und Paläontologie, Teil I*: 1257-1268.
- Borradaile, G. I., Bayly, M. B. y Powell C. McA. 1982. Atlas of deformational and metamorphic rock fabrics. Springer, Berlin Heidelberg, 551 pp.
- Debon, F. y Le Fort, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and association. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences* 73: 135-149.
- González, R., Toselli, A. y Soria, B. 1973. Edades Potasio-Argón de algunos granitos de las Cumbres Calchaquíes, Provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* 12 (4): 61-70.
- Hoschek, G. 1969. The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 22: 208-232.
- Irvine, T. N. y Baragar, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Lisiak, J. H. 1990. Petrografía y geoquímica de las granodioritas de El Infiernillo, Sierra del Aconquija, Tucumán, Argentina. XI Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 68-71, San Juan.
- López, J. P. y Bellos, L. I. 2010. Petrología y Geoquímica del Granito Los Cuartos, Tafí del Valle, Tucumán, Noroeste de Argentina: integración al esquema magmático regional. *Estudios Geológicos* (en línea), manuscrito aceptado, doi: 10.3989/egol.40051.083.
- Lorenc, M. W. y Lisiak, L., 1987. Los granitoides del sector NE de Aconquija, provincia de Tucumán, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Tucumán, Actas 4:154-156.
- Maniar, P. D. y Piccoli, P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America* 101: 635-643.
- Martinez, F. J. 1974. Estudio del área metamórfica del NW de Salamanca. *Trabajos de Geología*, 7: 3-59, Oviedo.
- Passchier, C. W. y Trouw R. A. J. 1996. *Microtectonics*. Springer, Berlin Heidelberg, 289 pp.
- Pérez, A. 1987. Contribución al conocimiento geológico de la zona de La Angostura con especial referencia a las rocas graníticas, departamento Tafí, provincia de Tucumán. Seminario Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (inédito). 62 pp. Tucumán.
- Powell, C. McA. 1979. A morphological classification of rock cleavaje. *Tectonophysics* 58: 21-34.
- Rossi de Toselli, J. N., Saavedra Alonso, J. y Toselli, A. J. 1982. Sobre el origen de los niveles calcosilicáticos en el basamento preordovícico metamorfozado del Cratógono Central Pampeano, Argentina. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 4: 285-296, Argentina.
- Saavedra, J., Toselli, A. y Rossi de Toselli, J. 1984. Aspectos Geológicos y geoquímicos del granito peraluminico de Loma Pelada, Tafí del Valle, Tucumán, Argentina. *Asociación Geológica Argentina* 39 (1-2):121-27.
- Saavedra, J., Toselli A. J., Rossi de Toselli, J. N. y García Sánchez, A. 1985. The Origin of two-micas granite of the Loma Pelada, Tucuman, Argentina. *Lithos* 18: 179-185.
- Sales de López, A., López, J. P., Petronhilo, L. A. y Kawashita, K. 1997. Combined $^{87}\text{Rb}/^{84}\text{Sr}$ Spike: Calibration and application to datation of Loma Pelada Granite, Tucumán, Argentina. I South-American Symposium on Isotope Geology, Acta: 278-279, Brasil.
- Spear, F. S. 1993. Metamorphic phase equilibria and Pressure Temperature Time paths. *Mineralogical Society of America*, Washington D.C., 799 pp.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth-Sciences Reviews* 12: 1-33.
- Toselli, A. 1992. El magmatismo del Noroeste Argentino. *Reseña sistemática e interpretación*. Serie de Correlación Geológica N°8, INSUGEO, Tucumán, 243 pp.
- Toselli, A., Basei, M. A., Rossi de Toselli, J. N. y Dudas, R. 2003. Análisis geoquímico-geocronológico de las rocas granulíticas y calcosilicáticas de las Sierras Pampeanas Noroccidentales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (4): 629-642.
- Toselli, A., Rapela, C. y Saavedra, J. 1987. Guía de campo Simposio Internacional de Granitos Fanerozoicos Circumpacíficos. X Congreso Geológico Argentino, Tucumán.
- Toselli, A. y Rossi de Toselli, J. 1973. Metamorfismo de las Cumbres Calchaquíes I: Rasgos de deformación y blastesis en las rocas del faldeo suocidental entre La Angostura y Tafí del Valle, Tucumán, Rep. Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28 (1): 45-55.
- Toselli, A. y Rossi de Toselli, J. 1984. Metamorfismo de las Cumbres Calchaquíes II: Petrología del basamento esquistoso entre La Angostura y Tafí del Valle, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39 (3-4): 262-275.
- Toselli, A., Rossi de Toselli, J., Saavedra, J. y Pellitero, E. 1985. Los granitoides de la Megafractura de Tafí, Tucumán, Argentina. *Comunicaciones* 35: 237-241.
- Toselli, A., Rossi de Toselli, J., Saavedra, J. y Pellitero, E. 1989. Granitoids of the Tafí Megafracture (Sierras Pampeanas, Argentina): Petrogenetic implications. *Journal of South American Earth Science* 2: 199-204.