

Petrología, geoquímica y vinculación regional de las unidades neoproterozoicas-cámbricas de la Sierra de Guasayán, Sierras Pampeanas Orientales, Noroeste de Argentina

Petrology, geochemistry and regional relationship of the Neoproterozoic-Cambrian units of the Sierra de Guasayán, Sierras Pampeanas Orientales, Northwest Argentina

Laura Iudith BELLOS^{1*}, Guillermo Federico ACEÑOLAZA¹, Ana Eugenia ACOSTA NAGLE¹, Juan DÍAZ ALVARADO^{2,3}, Antonio CASTRO⁴, Sergio Marcelo NIEVA¹, José Pablo LÓPEZ¹, Alejandro José TOSELLI¹

¹ INSUGEO-CONICET, Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT. Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina. laubel@csnat.unt.edu.ar

² Instituto Geológico y Minero de España (IGME), c/Ríos Rosas, 23, 28003, Madrid, España

³ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, Campus El Carmen, 21071, Huelva, España.

⁴ Institute of Geosciences (IGEO; CSIC–Universidad Complutense de Madrid), Ciudad Universitaria 28071 Madrid, España.

* Autor correspondiente.

RESUMEN

La Sierra de Guasayán forma parte de las Sierras Pampeanas Orientales, en la provincia de Santiago del Estero, NW Argentino, y está conformada por varios cuerpos graníticos que intruyen en un basamento metamórfico de bajo grado, el cual está representado al norte de la sierra por pizarras y filitas, mientras que al sur predominan los esquistos bandeados con inyecciones cuarzo-feldespáticas. Sobre la base de sus caracteres sedimentarios, petrológicos y relaciones estratigráficas generales, las unidades metasedimentarias del sector norte se asocian al contexto estratigráfico de la cuenca de Puncoviscana. En la zona de contacto granito-metamorfitas se han

► Ref. bibliográfica: Bellos, L. I.; Aceñolaza, G. F.; Acosta Nagle, A. E.; Díaz Alvarado, J.; Castro, A.; Nieva, S. M.; López, J. P.; Toselli, A. J. 2020. "Petrología, geoquímica y vinculación regional de las unidades neoproterozoicas-cámbricas de la Sierra de Guasayán, Sierras Pampeanas Orientales, Noroeste de Argentina". *Acta geológica lilloana* 32 (1-2): 1-26. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. D.O.I.: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2020.32.1-2/1>

► Recibido: 12 de mayo 2020 – Aceptado: 17 de setiembre 2020.

► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



reconocido corneanas cordieríticas desarrolladas por metamorfismo térmico. Los granitoides constituyen un cinturón elongado de Norte a Sur, de composición mayoritariamente tonalítica-granodiorítica al norte y granítica-granodiorítica al sur. Los granitoides son predominantemente de textura porfírica y tamaño de grano medio, y es común la presencia de pequeños xenolitos de forma redondeada a alargada. Geoquímicamente son rocas calcoalcalinas de alto K_2O , de carácter débilmente peraluminoso con valores del índice de saturación en alúmina (ASI) entre 1 y 1,09. La uniformidad petrográfica y geoquímica que presentan los cuerpos aflorantes indicaría una posible génesis en común. Comparativamente, son similares a los granitoides cámbricos presentes en el Batolito de Tastil, en el norte, en el ámbito de la Cordillera Oriental y en parte a los de la Sierra de Ischilín y del Batolito Sierra Norte-Ambargasta, que afloran hacia el sur.

Todos ellos constituyen el Arco Magmático Pampeano desarrollado en el margen occidental de Gondwana durante el Neoproterozoico tardío - Cámbrico inferior. Sin embargo, los granitoides de la Sierra de Guasayán no presentan las características petrográficas y geoquímicas de los típicos granitos calcoalcalinos metaluminosos de Tipo I. La participación de material cortical en la génesis de los magmas parentales sería responsable de la signatura geoquímica e isotópica de las rocas estudiadas.

Palabras clave — Granitos cámbricos, Formación Puncosvicana, Arco Pampeano, Santiago del Estero.

ABSTRACT

“Petrology, geochemistry and regional relationship of the Neoproterozoic-Cambrian units of the Sierra de Guasayán, Sierras Pampeanas Orientales, Northwest Argentina”. The Sierra de Guasayán is part of de Eastern Sierras Pampeanas, in the province of Santiago del Estero, NW Argentina, being mainly formed by several granite bodies emplaced in a regional low-grade metamorphic basement. The latter is represented by slates and phylites in the northern part of the range, whereas in the southern part, banded schists with quartz-feldspar veins are predominant. On the basis of their sedimentary, petrological and general stratigraphic relations, the metasedimentary units of the northern sector are related here to the Puncoviscana basin. Cordieritic hornfelds developed by thermal metamorphism have been recognized in the granite-metamorphites contact zone. The composition of the granitoids is mainly tonalitic-granodioritic to the north, and granitic-granodioritic to the south. They are mainly medium grained porphyritic textures, while there is common occurrence of small rounded to elongated xenoliths. Geochemically, granitoids are high- K_2O calc-alkaline, weakly peraluminous with ASI values between 1.00 and 1.09. Normal trends of evolution are shown in the Harker diagram. The petrographic and geochemical uniformity of the granitic rocks suggests a common genetic source. Comparatively, the granitoids of Sierra de Guasayán are similar to the Cambrian-age Batolito de Tastil granitoids exposed to the north, in Cordillera Oriental, and partly to those of the Sierra de Ischilín and the Batolito Sierra Norte-Ambargasta, to the south. All

of them constitute the Pampean Magmatic Arc, developed on the western margin of Gondwana during the Late Neoproterozoic - Lower Cambrian. Nevertheless, the granitoids of the Sierra de Guasayán do not present the petrographic and geochemical characteristics of the typical I-Type metaluminous calc-alkaline granites. The participation of crustal material in the source of the parental magmas would be responsible for the geochemical and isotopic signature of the studied rocks.

Keywords — Cambrian granites, Puncosvicana Formation, Pampean Arc, Santiago del Estero.

INTRODUCCIÓN

Las Sierras Pampeanas fueron subdivididas según las litologías dominantes en Occidentales y Orientales (Caminos, 1979), reflejando cada uno de estos sectores una historia geológica diferente. Los afloramientos de basamento ígneo-metamórfico de las Sierras Pampeanas Orientales ubicados más al este, en las provincias de Santiago del Estero y Córdoba, son relacionados al arco magmático vinculado al Ciclo Pampeano y fueron estudiados por numerosos autores (Bonalumi, 1988; Castellote, 1985; Omil, 1992, 1996, 2000; Lira *et al.*, 1997, 2014; Baldo *et al.*, 1998; Miró y Sapp, 2001; Miró *et al.*, 2005; Leal y Miró, 2010; Iannizzotto *et al.* 2013; Dahlquist *et al.*, 2016; Bellos *et al.*, 2017; Leal *et al.*, 2020, entre otros). La Sierra de Guasayán se localiza en la provincia de Santiago del Estero, NW Argentino y forma parte de los afloramientos más orientales de las Sierras Pampeanas. Constituye un cordón submeridional de baja altura (<800 m.s.n.m.) con una extensión en dirección N-S de aproximadamente 75 km por 5 km de ancho máximo. Está conformada por varios cuerpos de composición granodiorítica-granítica mayoritariamente, que intruyen un basamento metamórfico de bajo grado correspondiente a esquistos, pizarras y filitas, con mármoles asociados. Los trabajos dedicados al estudio del basamento de esta sierra son en general escasos y de larga data (Beder, 1928; Mineta TEA, 1968; Battaglia, 1982; Omil, 1992), por lo cual se han llevado a cabo tanto trabajos de mapeo en los granitoides y en la roca de caja, como estudios petrológicos y geoquímicos en los intrusivos, con el fin de actualizar y aumentar la información disponible de las rocas de esta sierra. Con esta contribución se pretende aportar nuevos datos petrológicos y geoquímicos de elementos mayores y trazas de los granitoides y su relación con la roca de caja. Además, con el fin de integrar a las rocas de la Sierra de Guasayán en el contexto geotectónico de la región, presentamos de manera comparativa información geoquímica de los granitoides cámbricos de Santa Rosa de Tastil (TaB, Hauser *et al.*, 2011) y de la Sierra de Ischilín y sector austral del batolito Sierra Norte-Ambargasta (Isc-NA, Iannizzotto *et al.* 2013), situados hacia el norte y sur de la zona estudiada, respectivamente.

ANTECEDENTES GEOLÓGICOS REGIONALES

El Noroeste Argentino está conformado por las unidades morfoestructurales de Puna, Cordillera Oriental, Sierras Subandinas, Sistema de Santa Bárbara y la parte centro-oriental de Sierras Pampeanas (Figura 1). Para estas unidades, que corresponden al margen SW Gondwana, se proponen tres eventos orogénicos principales para explicar su origen y evolución: la orogenia Pampeana (Neoproterozoico Tardío – Cámbrico Inferior), la orogenia Famatiniana (Cámbrico Superior – Devónico Inferior) y la orogenia Achaliana (Devónico Medio – Carbonífero Inferior) (Aceñolaza y Toselli 1976; Grissom *et al.*, 1998; Sims *et al.*, 1998; Aceñolaza *et al.*, 2000; Rapela *et al.*, 2001; Höckenreiner *et al.*, 2003; Siegesmund *et al.*, 2004; Büttner *et al.*, 2005; Miller y Söllner 2005; López de Luchi *et al.*, 2007; Steenken *et al.*, 2008). Las orogenias Pampeana y Famatiniana se consideran el resultado de procesos de subducción, colisión continental y acreción de varios *terrane*s a lo largo del margen de Gondwana (Ramos *et al.*, 1986; Willner 1990; Dalla Salda *et al.*, 1992; Kraemer *et al.*, 1995; Rapela *et al.*, 1998, 2001, 2007; Omarini *et al.*, 1999b; Ramos 1988, 1995, 2008) y cuyo desarrollo se dio durante el Neoproterozoico y Eopaleozoico. Los núcleos orográficos

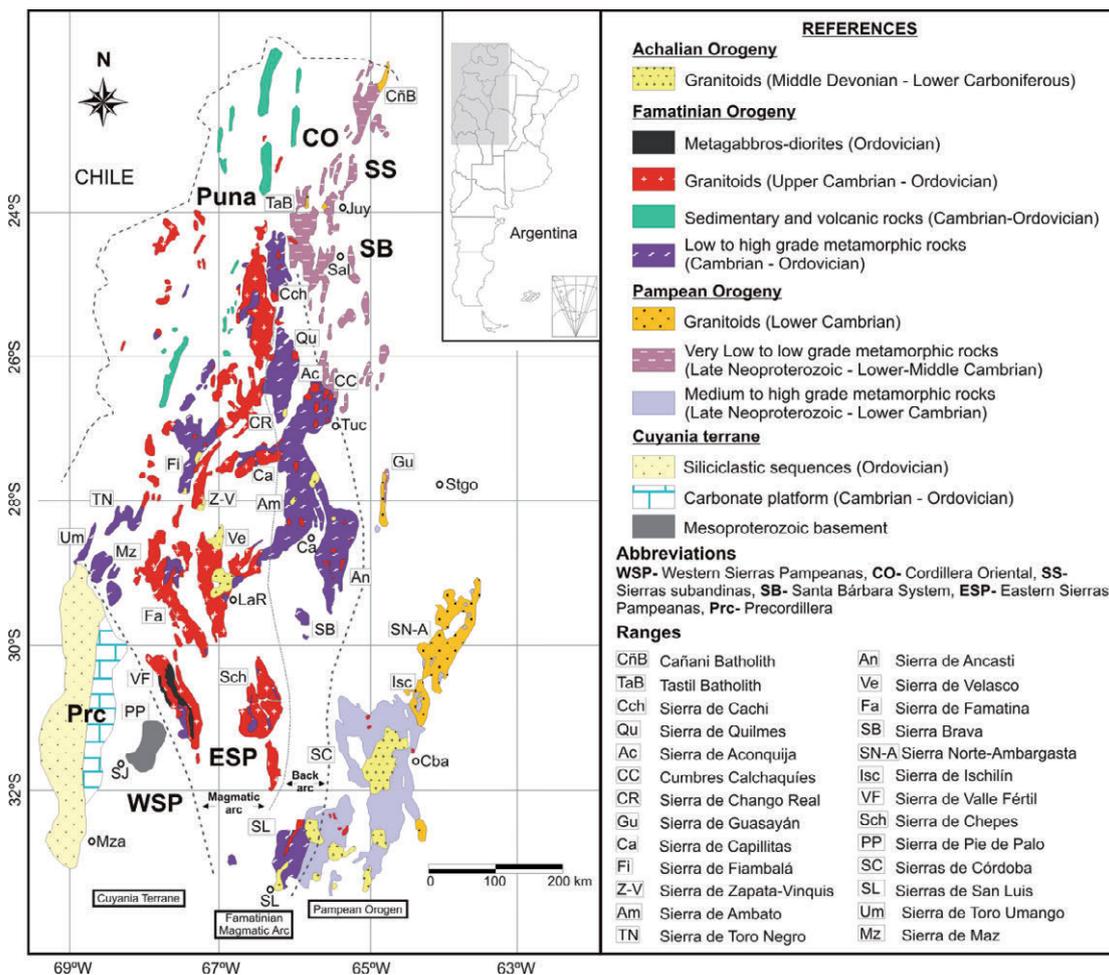


Figura 1. Mapa geológico general del Noroeste Argentino. Se han delimitado mediante línea de trazos el Terrane de Cuyania, el Arco Magmático Famatiniano y el Orógeno Pampeano.

mencionados consisten en una serie de bloques de basamento exhumados durante el Neógeno por fallas inversas de alto ángulo con rumbo general N-S (González Bonorino 1950; Jordan y Allmendinger 1986; Isacks 1988).

El basamento metamórfico del NOA está constituido por rocas de bajo a alto grado de metamorfismo con edades de sedimentación, deformación y metamorfismo desde el Neoproterozoico al Paleozoico inferior (Bachmann y Grauert, 1987; Büttner *et al.*, 2005; Piñan-Llamas y Simpson, 2006; Escayola *et al.*, 2011), intruido por numerosos cuerpos ígneos asociados a los diferentes eventos orogénicos mencionados anteriormente. Este basamento metamórfico se asigna genéricamente a la Formación Puncoviscana *s.l.* y sus equivalentes (Turner, 1960; Toselli *et al.*, 2017 y referencias allí citadas) y corresponden a sedimentos mayormente silicoclásticos depositados en una plataforma somera donde dominan las pelitas, grauvacas y psamitas. Excepcionalmente se intercalan secuencias carbonáticas, conglomerádicas y vulcanitas que se distribuyen a lo largo de la región (Jezek, 1990), asignándosele a la secuencia una edad ediacarana/terreneuviana sobre la base de contenido fosilífero e isotopía (Turner, 1960; Aceñolaza y Aceñolaza, 2007). Escayola *et al.*, (2011) determinaron una edad de depositación de ~ 536 Ma. La Formación Puncoviscana (*s.l.*) constituye el basamento regional del Norte Argentino, y ha sido interpretada como sedimentos originados en una cuenca de margen pasivo depositados durante el Ediacarano tardío / Cámbrico (Omarini *et al.*, 1999a) a lo largo del margen continental Paleo-Pacífico (*e.g.*, Aceñolaza y Miller, 1982; Willner *et al.*, 1983; Jezek *et al.*, 1985; Do Campo, 1999; Do Campo y Riveiro Guevara, 2005;). Alternativamente, Kraemer *et al.* (1995), Keppie y Bahlburg (1999) y Zimmermann (2005), interpretan que el desarrollo de la cuenca de antepaís se produjo por deformación cortical debido a la carga sedimentaria, al oeste del Orógeno Pampeano.

Dentro del esquema geotectónico regional, se reconocen intrusivos ígneos de edad cámbrica en los ambientes morfoestructurales de Cordillera Oriental y Sierras Pampeanas Orientales enmarcados en el ciclo Pampeano. Suzaño *et al.* (2017) realiza una reseña de los intrusivos de edad cámbrica (536-511 Ma) ubicados al norte de la región estudiada y que se emplazan en el sector norte de Cordillera Oriental constituyendo el Arco Magmático Tilcárico (Omarini *et al.*, 1999a). Ellos son, de sur a norte, los batolitos de Santa Rosa de Tastil (536-514 Ma), Cañaní ($523,7 \pm 0,8$) y granitos de Chañi (530 ± 8 Ma, 511 ± 3 Ma) y Tipayoc (550 ± 26 Ma) intruidos en metasedimentitas de la Formación Puncoviscana *s.l.* (Omarini *et al.*, 1999b; Zappettini *et al.*, 2008; Hongn *et al.*, 2010; Hauser *et al.*, 2011; Escayola *et al.*, 2011).

Hacia el sur de la región estudiada, ya en las Sierras Pampeanas del NE de Córdoba y SW de Santiago del Estero, fueron descriptas unidades ígneas con edades mayormente entre 557 y 515 Ma que integran el Batolito Sierra Norte-Ambargasta y la Sierra de Ischilín. Estas rocas fueron estudiadas por numerosos autores (ver Baldo *et al.*, 2014 y referencias allí citadas). Ianizzotto *et al.* (2013) determinaron para los granitoides calcoalcalinos metaluminosos dominantes en la Sierra de Ischilín y sur del Batolito Sierra Norte-Ambargasta (Isc-NA) una edad de 537 ± 4 Ma, relacionados a un ambiente de subducción. Estos fueron afectados por deformación dextral penetrativa que dio lugar a la formación de los principales cinturones miloníticos reconocidos en el área. Un segundo grupo de granitos peraluminosos de 530 ± 4

Ma se habría emplazado, posteriormente, en un ambiente tectónico transpresivo (Ianizzotto *et al.*, 2013).

GEOLOGÍA DE LA SIERRA DE GUASAYÁN

Como antecedente geológico de la Sierra de Guasayán debemos citar el trabajo de Beder (1928) quien realiza un aporte pionero sobre la geología de esta sierra y describe metamorfitas que denomina, en conjunto, “esquistos cristalinos”, los cuales se presentan intruidos por granitos, pegmatitas y aplitas. Battaglia (1982) reúne a la metamorfitas bajo la denominación de Formación Abra del Martirizado, representada por cuarcitas, filitas y esquistos, atribuyéndolas, con reservas, al Precámbrico, mientras que a los granitoides, reunidos como Formación El Alto, los asigna con dudas al Devónico Inferior. Omil (1992, 1996, 2000) y Omil y Bovonikov (2000) realizan estudios con mayor detalle, agrupando a esquistos, gneises y mármoles del centro y sur de la sierra en la Formación Santa Catalina de mediano grado metamórfico, asignándola al Precámbrico. Las pizarras y filitas aflorantes al norte de la sierra se engloban en la Fm. Abra del Martirizado del Precámbrico Superior (616-608 Ma). Por otra parte, Omil (1992) menciona que los granitoides son de composición granítica a granodiorítica, con tonalitas subordinadas y de carácter calcoalcalino, peraluminoso y de emplazamiento tardío-tectónico, manteniendo el nombre formacional de El Alto, incluyendo además a las corneanas asociadas a los granitoides. Con respecto a la edad de los granitos, González y Toselli (1974) determinan mediante el método K-Ar en biotita un valor de 541 ± 7 Ma; Omil (1992) obtiene para los granitoides edades entre 519 ± 20 y 483 ± 16 Ma (K-Ar en biotita). Recientemente, Dahlquist *et al.* (2016) publicaron una edad U-Pb SHRIMP de emplazamiento de 533 ± 4 Ma para una granodiorita de la zona de Villa Guasayán (Figura 2). Estos autores denominan a estas rocas con el nombre de Plutón Guasayán e indican que son metaluminosas y sostienen que el magma parental resultaría de la interacción entre materiales provenientes de una corteza mesoproterozoica temprana hipotética y magmas juveniles, o alternativamente una corteza heterogénea (Dahlquist *et al.*, 2016 y referencias allí citadas).

Relaciones de campo y petrografía

Basamento metamórfico.— En base a las observaciones de campo se reconocen, desde el sector norte de la Sierra de Guasayán hasta un poco más al sur de la localidad de Villa Guasayán (Figura 2), un basamento metamórfico constituido predominantemente por filitas y pizarras de color pardo a grisáceo, muy deformadas y plegadas, con esquistosidad de rumbo general NNO-SSE (dirección de inclinación/inclinación promedio = $305^\circ/50^\circ$). Se observaron planos de clivaje S_1 mientras que el S_0 estaría representado por la alternancia de bancos de naturaleza pelítica con otros arenosos de granulometría y abundancia de cuarzo mayor (Figura 3A). Omil (1992) denomina a estas rocas como Fm. Abra del Martirizado y describe las siguientes paragénesis:

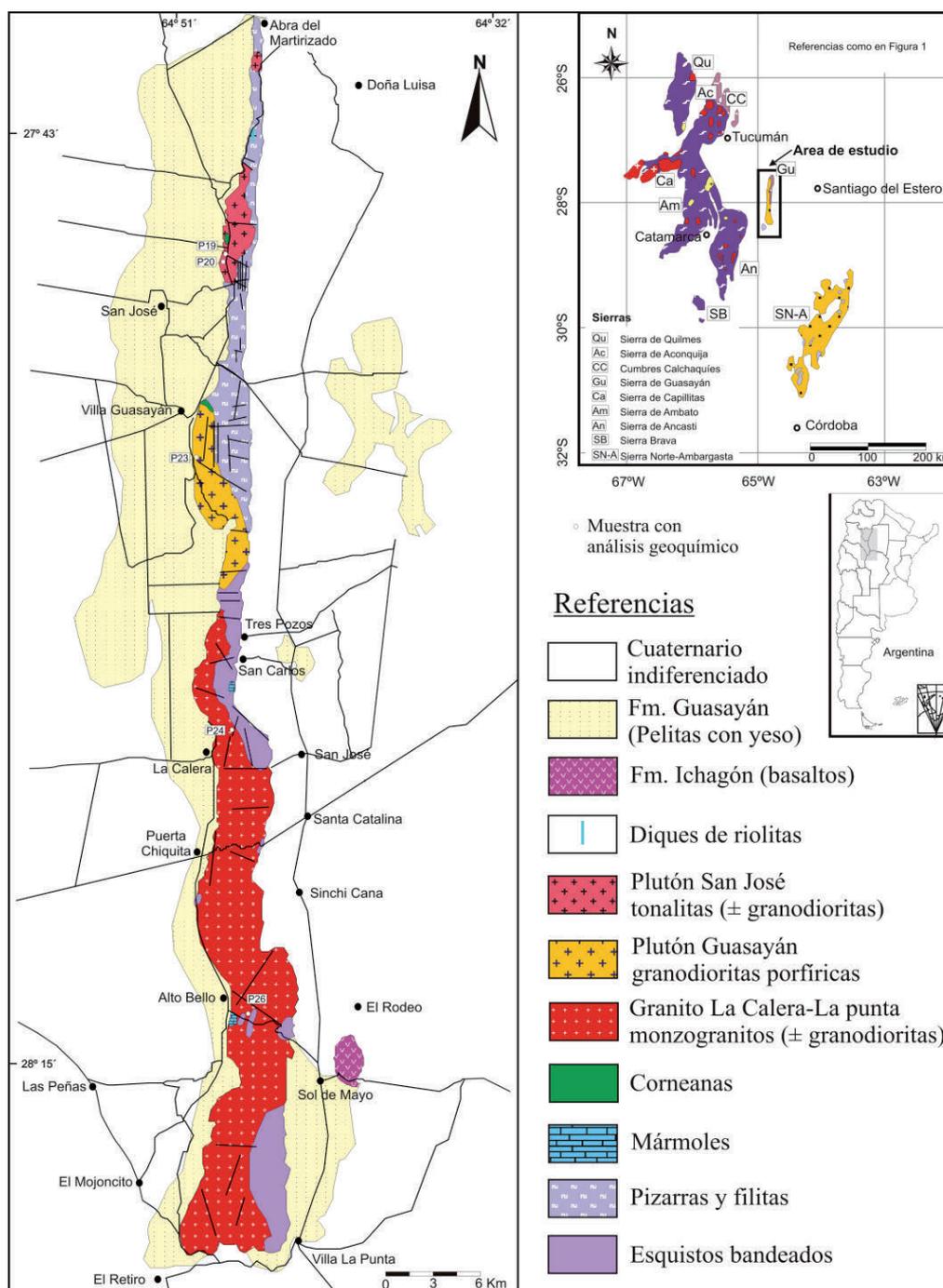


Figura 2. Mapa geológico de la Sierra de Guasayán, provincia de Santiago del Estero, Argentina.

$Qz+Chl+Ms+Pl$, $Qz+Chl+Ms$ y $Qz+Bt+Ms+Chl$ (abreviaturas minerales según Whitney y Evans, 2010). Por lo tanto podemos asignarlas a la zona de la Biotita de la facies Esquistos Verdes. Los caracteres petrológicos y sedimentarios de esta secuencia metasedimentaria son comparables a las descritas por Toselli *et al.* (2017) y Nieva *et al.* (2017) en el ámbito de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y el Sistema de Santa Bárbara del Norte Argentino. En este sentido, y sobre estas

consideraciones se reconocen como vinculadas al marco sedimentario de la Cuenca de Puncoviscana que se desarrollara en toda la región entre el Neoproterozoico y el Cámbrico Inferior (Omarini *et al.*, 1999a; Aceñolaza y Aceñolaza, 2007), situación ya sugerida por Lucero Michaut (1979).

Hacia el Sur de la sierra, las metamorfitas corresponden a esquistos bandeados, de color gris oscuro, muy biotíticos (Figura 3B) a los que Omil (1992) asignó a la Fm. Santa Catalina. Están finamente foliados, con una alternancia de bandas milimétricas ricas en micas con otras cuarzo-feldespáticas. Es común la presencia de inyecciones magmáticas cuarzo-feldespáticas discordantes y los pliegues ptigmáticos en las zonas de contacto entre los esquistos y los granitos. Las medidas de dirección de inclinación e inclinación arrojan valores variables entre DI/I promedio = $63^{\circ}/31$ en la quebrada Alto Bello-Sol de Mayo a DI/I promedio = $300^{\circ}/26$ en Villa la Punta. Omil (1992) describe las siguientes paragénesis para estas rocas $Qz+Bt+Ms+Pl$ y $Qz+Bt+Ms$. Si bien, debido a su granulometría mayor y a la presencia de inyecciones graníticas han sido asignadas por la autora mencionada al grado medio de metamorfismo, en base a la mineralogía descrita corresponden a la zona de Biotita de la facies Esquistos Verdes, al igual que las rocas de grano fino del sector norte de la sierra. Por otra parte, intercalados en las metamorfitas de la Fm. Santa Catalina, afloran bancos de mármoles que fueron explotados económicamente en la cantera Alto Bello. Son de color blanquecino, pardo, y pardo rosado, de grano fino a medio y texturas granoblástica (Figura 3C). Las paragénesis minerales son $Cal+Qz+Chl$, $Cal+Qz+Ep+Chl$ (Omil, 1992).

En el área de Villa Guasayán en la zona de contacto granito-metamorfitas, se han reconocido corneanas desarrolladas por metamorfismo térmico (Figura 2). Son rocas macizas, de color negro y grano fino (Figura 3D). Las mismas están compuestas por abundante cuarzo poligonal, biotita idioblástica a xenoblástica sin orientación y cordierita alterada totalmente a pinita, escasa plagioclasa y muscovita, circón, apatito y clorita como accesorios asociados a la biotita. Presentan una fábrica granoblástica, equigranular, aunque por sectores pueden estar ligeramente foliadas, debido a la presencia de delgadas bandas más ricas en biotita. Se observa escasa muscovita en pequeñas láminas. Omil (1992) menciona la presencia de corneanas también en la zona de Villa La Punta, con la paragénesis $Qz+Ab+Ms+Bt+Crd$.

Las rocas graníticas.— Constituyen un cinturón elongado de Norte a Sur, siendo arealmente más abundantes en la mitad austral de la sierra. En el sector Norte afloran dos plutones de composición granodiorítica dominante con variaciones a tonalitas y monzogranitos, denominados plutones San José y Guasayán. En el centro y sur de la sierra los granitoides son más abundantes constituyendo el granito La Calera- La Punta de composición monzogranítica a granodiorítica principalmente.

Plutón San José.— Se localiza hacia el norte de la sierra y corresponde a un cuerpo de aproximadamente 7 km^2 (Figura 2). Está conformado por granodioritas y tonalitas de color gris claro a gris rosado, de grano fino y macroscópicamente equigranulares, si bien pueden desarrollarse algunos cristales de feldespatos de tamaño un poco mayor (hasta 0,5 cm). Se pueden observar pequeños xenolitos de la roca de caja de 3 a 5

cm redondeados a alargados con contactos netos; se distinguieron además corneanas como colgajos de basamento en el granitoide, afectados térmicamente y con pérdida de la fábrica metamórfica primaria.

Las rocas de este intrusivo están compuestas por abundante Pl (45-57 vol%), Qz (20-30 vol%) y Mc (3-25 vol%), además de Bt (8-13 vol%), circón y apatito como accesorios. La Pl presenta maclas ley Albita y un tamaño muy variable (0,1 a 2,5 mm); los cristales mayores presentan bordes subhedros, pero son euestructurales (Hibbard, 1995) en ocasiones zonados, mientras que los pequeños son en general euhedros. Presentan alteración a calcita y sericita. El Qz es anhedral, de forma muy irregular, con extinción ondulosa y fragmentosa y con contactos suturados y en general forma mosaicos intersticiales con granos individuales de pequeño tamaño, aunque algunos alcanzan los 2 mm. Por último el Mc es más escaso y aunque puede alcanzar tamaños de hasta 2,5 mm, presenta siempre contactos de tipo intersticial y de crecimiento póstumo. Presenta maclas tipo Carlsbad y Periclino-Albita, y a veces finas pertitas en cordones. Posee inclusiones de Pl, Bt y Qz y algunas mirmequitas en el contacto con Pl. La Bt en general es subhedral, con un tamaño promedio de 0,8 mm; se encuentra incluida en Pl total o parcialmente; en este último caso la Pl adopta la forma del contacto. Se encuentra cloritizada y epidotizada, con inclusiones de circón y apatito.

Plutón Guasayán.— Este intrusivo aflora a la latitud de Villa Guasayán (Figura 2) y es de tamaño mayor al descrito anteriormente, ya que alcanza los 16 km². Se observan escasos xenolitos metamórficos de hasta 50 cm que conservan la esquistosidad (Figura 3E), y en el sector norte del intrusivo, afloran las corneanas descritas en el apartado correspondiente al basamento metamórfico (Figura 3D).

La edad de 533 ± 4 Ma determinada por Dahlquist *et al.* (2016) corresponde a este granito. Anteriormente, Omil (1992) obtuvo una edad K-Ar de 500 ± 20 Ma para esta rocas.

Corresponde a una granodiorita porfírica de color gris claro, de grano medio, con un 7% de megacristales de feldespato potásico inmersos en una matriz compuesta de Plagioclasa, cuarzo, microclino y biotita. La Pl se presenta en cristales de tamaño variable y con maclas Albita y Albita-Carlsbad y zonados, con sericita y caolinita como minerales secundarios. El Qz y el Mc se presentan en menor proporción y tamaño variable, al igual que la Bt. El cuarzo es abundante en forma de grano fino recrystalizado. Los accesorios menores son circón y apatito.

Granito La calera-La Punta.— Estos granitoides presentan variaciones texturales y composicionales con respecto a los mencionados anteriormente, siendo de grano más grueso y mayormente porfíricos. Se han reunido bajo la denominación de Granito La calera-La Punta (Figura 2). Omil (1992) determinó para estas rocas edades K-Ar en Bt de 541 ± 7 y 519 ± 20 (cruce de Santa Catalina a Puerta Chiquita) y 501 ± 10 (Alto Bello). Los granitoides intruyen discordantemente en esquistos biotíticos finamente foliados, muy micáceos, de grano medio a fino y color gris oscuro. En algunos casos en el contacto con los granitos, se observan láminas de biotita de mayor tamaño en los esquistos, debido posiblemente a recrystalización por efectos

térmicos. Es común encontrar al granito interdigitado en el basamento y la presencia de esquistos inyectados con venillas félsicas cuarzo-feldespáticas.

En el sector central de la sierra afloran monzogranitos porfíricos de color gris rosado de grano medio, con un 5% de megacrystales de feldespato potásico de color rosado y de hasta 4 cm de longitud (Figura 3F). Están compuestos por Pl (35-39 vol%), Mc (19-23 vol%) y Qz (18-31 vol%), además de Bt (15-20 vol%) apatito y circón. La Pl presenta un tamaño variable (0,5 – 8,0 mm) y está maclada según ley Albita-Carlsbad y Albita. En general es subhedral y euestructural pero en algunos casos se observa un borde anhedral por sobrecrecimiento en forma manteada. El sobrecrecimiento es frecuente en pequeños cristales de Pl incluidos en Mc y en ocasiones se observan finas mirmequitas en la zona de contacto. Algunos cristales pueden presentar zonación y sericita y calcita como minerales secundarios. El Mc puede ser intersticial o formar grandes cristales (hasta 16 mm), es peritítico y con inclusiones de Bt, Qz y Pl manteada. Presenta maclas periclino-albita y Carlsbad. El Qz es anhedral, de forma irregular, en ocasiones con extinción ondulosa y fracturas, en general es de menor tamaño que los otros minerales (hasta 7 mm) y cuando es más pequeño rellena intersticios entre feldespatos y biotita. La Bt es abundante, de forma subhedral en láminas de hasta 3,5 mm con inclusiones de circón y alterada a clorita o muscovita ocasionalmente. Su cristalización es temprana, encontrándose incluida parcialmente en Pl y Qz y a veces completamente en Mc. Asociados a los granitos descritos se observaron pequeños cuerpos graníticos de textura aplítica y de color rosado presentes en escasa cantidad y de forma tabular de aproximadamente 50 m de potencia.

Hacia el sur de la sierra, en las cercanías de la localidad de La Punta, la composición se torna granodiorítica, manteniéndose la textura porfírica. Son rocas de grano grueso con megacrystales de feldespato potásico de hasta 5 cm en los que se puede observar macla Carlsbad y finas perfitas. La matriz está compuesta por Pl (40 vol%) de forma subhedral de hasta 6 mm, con maclado según Ley Albita y Albita-Carlsbad, y a veces zonada. Se encuentra alterada a sericita y epidoto. El Qz se encuentra en menor proporción (24 vol%) mientras que el Mc (18 vol%) si bien es de mayor tamaño que los otros minerales, se desarrolla en los espacios entre éstos o los engloba, lo que sugiere un crecimiento póstumo. La Bt (18 vol%) se presenta como láminas subhedrales de hasta 2,6 mm agrupadas en nidos y algo cloritizada.

GEOQUÍMICA

En este trabajo se presentan nuevos análisis geoquímicos de granitoides de la Sierra de Guasayán. Elementos mayores fueron analizados mediante XRF en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy (metodología analítica en Caffè *et al.*, 2002), mientras que los elementos trazas se analizaron en la Universidad de Huelva (España) mediante ICP-MS (metodología analítica en Bellos *et al.*, 2015).

Las muestras tratadas corresponden al plutón San José, al plutón Guasayán y al Granito La Calera-La Punta. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla

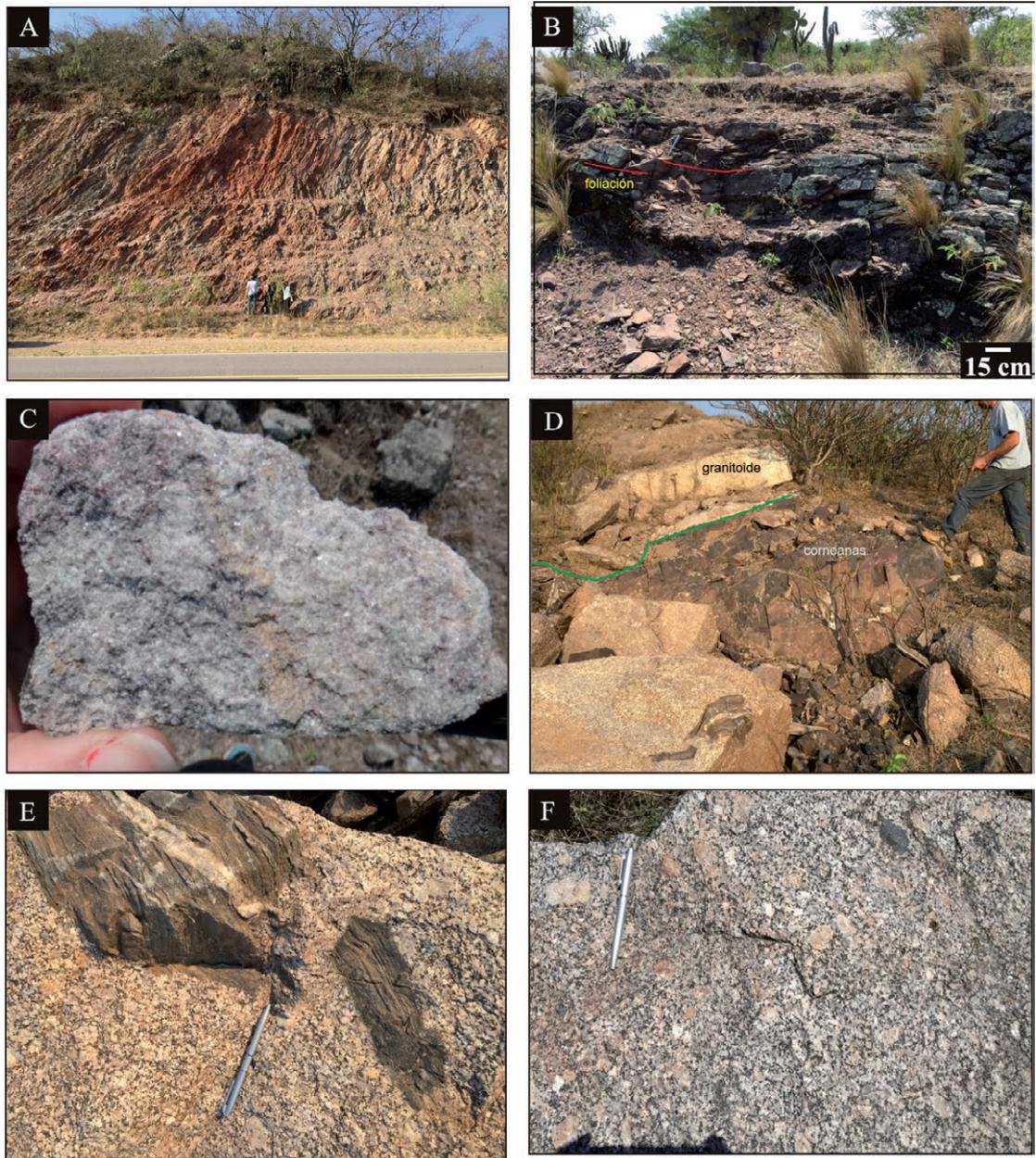


Figura 3. (A) Filitas y pizarras aflorantes en el sector norte de la Sierra de Guasayán deformadas y plegadas. (B) esquistos biotíticos bandeados aflorantes en el centro y sur de la sierra. (C) muestra de mármol de la cantera Alto Bello. (D) contacto (línea verde) entre corneanas cordieríticas y los granitoides del Plutón Guasayán (E) Xenolitos metamórficos en el Plutón Guasayán. (F) Monzogranito porfírico (Granito La Calera-La Punta).

1. Adicionalmente, se han representado en los diagramas muestras de granitoides de la sierra correspondientes a Omil (1992) y una muestra del plutón Guasayán de Dahlquist *et al.* (2016). A modo comparativo se agregaron también rocas correspondientes a los granitoides de edad pampeana del TaB (Hauser *et al.*, 2011) y de la Isc-NA (Ianizzotto *et al.*, 2013).

Los granitoides de la sierra de Guasayán, de acuerdo al esquema de clasificación de Frost *et al.*, (2001), se proyectan mayormente en el campo de las series calcoalcalinas, mientras que algunas muestras correspondientes a Omil (1992) lo hacen en

Tabla 1. Elementos mayores (wt.%) y trazas (ppm) de los granitoides de la Sierra de Guasayán.

Muestra	Plutón San José		Plutón Guasayán	Granito La Calera-La Punta	
	P19	P20	P23	P24	P26
SiO ₂	68,58	67,92	68,14	66,38	68,88
TiO ₂	0,52	0,66	0,82	0,97	0,76
Al ₂ O ₃	14,60	13,89	14,08	13,66	14,00
FeOt	3,06	3,81	4,91	6,19	4,66
MgO	1,44	1,61	1,66	1,91	1,45
MnO	0,07	0,07	0,09	0,10	0,08
CaO	2,31	2,40	2,45	2,40	2,31
Na ₂ O	3,18	3,14	2,81	2,63	2,82
K ₂ O	4,13	4,05	3,69	3,79	3,72
P ₂ O ₅	0,20	0,22	0,23	0,37	0,19
Loi	0,62	1,00	0,56	0,78	0,67
Total	99,04	99,18	99,98	99,85	100,05
ASI (a)	1,05	1,00	1,08	1,07	1,09
<i>Elementos traza</i>					
Li	80,84	69,36	53,54	54,70	77,30
Be	4,64	3,82	3,26	3,36	2,96
Sc	7,84	8,44	12,29	12,59	9,93
V	54,07	60,79	92,40	79,26	67,57
Cr	76,49	73,58	70,73	64,64	72,30
Co	15,95	17,83	18,30	20,24	17,17
Ni	16,67	18,32	16,03	16,37	13,99
Cu	18,71	22,04	13,44	32,91	24,82
Zn	55,46	63,43	83,09	93,33	81,59
Ga	18,90	19,37	20,71	22,14	20,24
Rb	199,79	189,02	190,70	182,87	132,10
Sr	148,08	152,40	137,74	146,26	132,12
Y	24,64	34,99	36,66	39,66	25,21
Zr	128,23	139,19	103,83	98,80	146,72
Nb	14,97	15,12	17,39	19,79	16,94
Cs	11,75	9,86	12,31	10,78	10,75
Ba	409,23	426,17	480,89	511,86	639,75
La	31,37	38,54	41,82	33,27	24,18
Ce	66,06	85,90	87,99	70,93	51,55
Pr	7,70	9,93	10,61	8,75	6,08
Nd	29,47	38,46	41,61	35,49	24,70
Sm	6,47	8,56	9,10	8,82	5,97
Eu	1,12	1,33	1,60	1,57	1,66
Gd	5,23	7,26	7,94	8,30	5,66
Tb	0,80	1,11	1,21	1,31	0,86
Dy	4,45	6,30	6,86	7,59	4,93
Ho	0,87	1,25	1,33	1,48	0,96
Er	2,24	3,25	3,33	3,55	2,20
Tm	0,35	0,51	0,50	0,50	0,29
Yb	2,16	3,08	2,98	2,73	1,41
Lu	0,32	0,45	0,43	0,37	0,20
Hf	3,61	4,00	3,02	2,80	3,75
Ta	2,50	2,23	2,15	2,33	1,85
Pb	24,20	24,37	21,46	20,31	19,77
Th	12,95	18,69	14,87	10,32	6,70
U	2,53	4,43	2,10	2,97	1,29
Mo	0,37	0,47	0,51	0,43	0,41
Tl	1,08	0,99	1,01	1,00	0,87
Sn	4,89	5,34	6,08	6,00	5,01
Eu/Eu* (b)	0,59	0,52	0,57	0,56	0,87
La _N /Yb _N (b)	9,88	8,51	9,52	8,28	11,67

(a) ASI = Mol Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO)

(b) normalizado a condrito (McDonough and Sun, 1995)

el campo cálcico (Figura 4A). Presentan un carácter débilmente peraluminoso con valores del índice de saturación en alúmina (ASI) entre 1,00 y 1,09 (Figura 4B) y varían entre 66 y 69 % en peso de SiO_2 . Sin embargo las muestras analizadas por Omil (1992) presentan mayor contenido de SiO_2 (66 y 73 % en peso) y un ASI entre 1,01 y 1,29, siendo más peraluminosas. Comparativamente, los granitoides de la Isc-NA con valores de SiO_2 similares a las rocas estudiadas, presentan un ASI considerablemente mayor, mientras que las del TaB son similares.

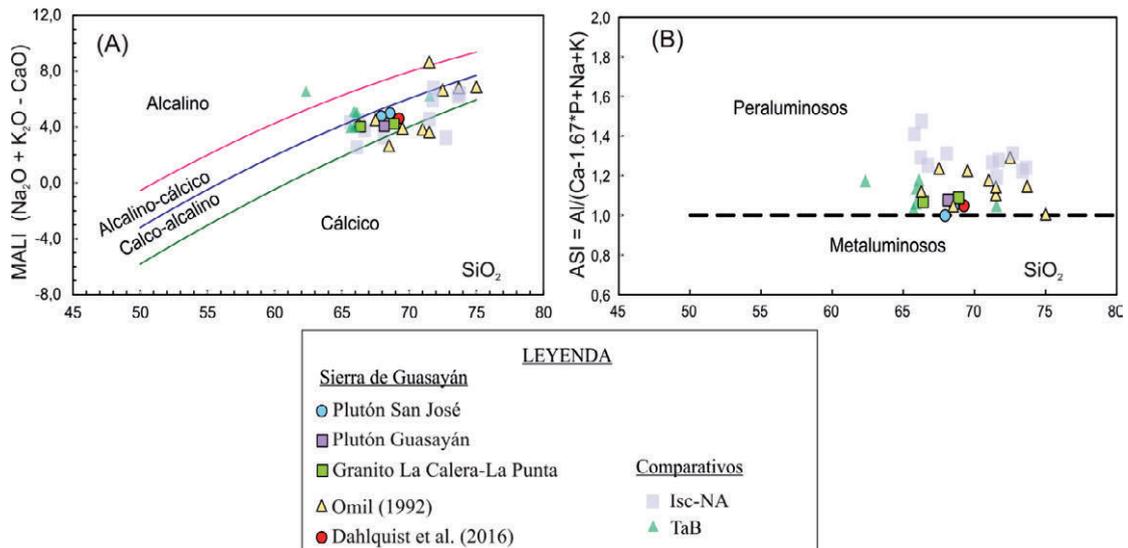


Figura 4. Características composicionales generales de los granitoides cámbricos (A) diagrama MALI vs. Sílice. (B) Diagrama ASI vs. SiO_2 (Frost *et al.*, 2001).

A partir de los diagramas de variación Harker (Figura 5) se pueden hacer las siguientes consideraciones: para las muestras analizadas de la Sierra de Guasayán se observa una tendencia lineal, con una correlación negativa para MgO , CaO , TiO_2 , FeO con el aumento de la SiO_2 , mientras que es levemente positiva para Al_2O_3 , Na_2O y K_2O . Al considerar las muestras analizadas por Omil (1992), se observan dos grupos diferenciados por un pequeño *gap* alrededor del 70% de SiO_2 . Posiblemente las rocas más ricas en SiO_2 correspondan a granitos evolucionados y más peraluminosos, que constituyen en general pequeños cuerpos y que son recurrentes en el ámbito de las Sierras Pampeanas.

Por otra parte, lo mismo ocurre para las rocas correspondientes a la Isc-NA; aquellas que presentan similares valores de SiO_2 que las rocas presentadas en este trabajo, poseen valores más altos de Al_2O_3 (y una tendencia negativa) y CaO , más bajos en MgO , TiO_2 y FeO , y similares de Na_2O y K_2O . Las que poseen mayor concentración de SiO_2 son mayormente coincidentes con las muestras de Omil (1992) de similar proporción de SiO_2 .

Las rocas del TaB se presentan mayormente agrupadas debido a su poca variación en SiO_2 y poseen valores de estos óxidos similares a los de la Sierra de Guasayán. En la Figura 5G se han adicionado las divisiones propuestas por Le Maitre *et al.* (1982) observándose que la mayoría de las muestras corresponden a rocas calcoalcalinas altas en K_2O .

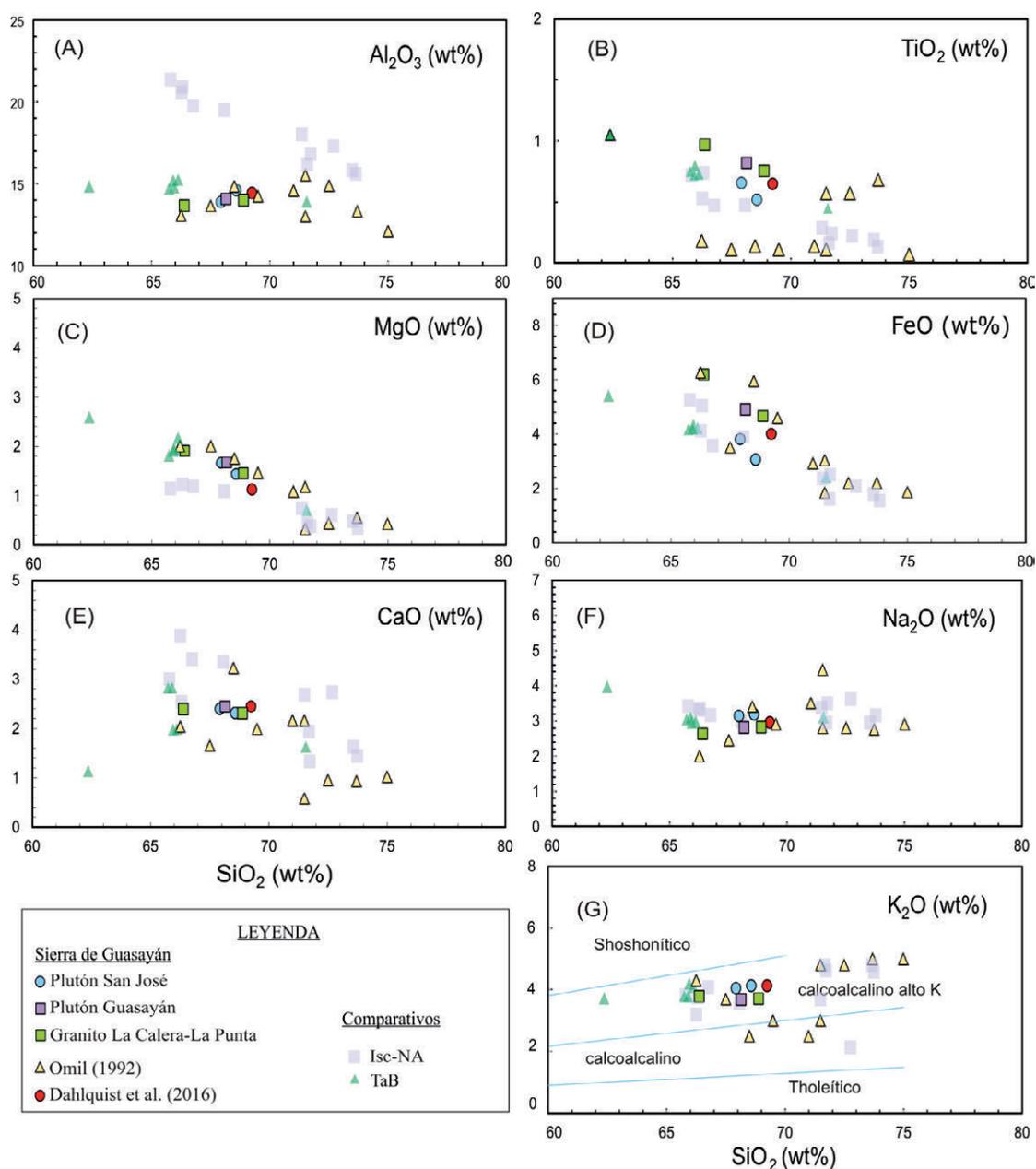


Figura 5. Diagramas de variación (Harker) de los granitoides de la Sierra de Guasayán. Se han proyectado además las rocas graníticas del Batolito de Tastil y de la Sierra de Ischilín y sector sur la Sierra Norte-Ambargasta. En la figura (G) se han adicionado las divisiones propuestas por Le Maitre *et al.* (1982). Ver explicaciones en el texto.

En la Figura 6 se han representado algunos elementos trazas vs SiO₂. Las rocas analizadas por Omil (1992) no han sido representadas en esta figura debido a que no fueron analizadas para elementos traza. Con respecto a estos elementos, las rocas estudiadas se caracterizan por bajos contenidos de Sr (130-180 ppm) y baja relación Sr/Y (Sr/Y < 12). Se observa en general para granitos con mismo rango de SiO₂, similares contenidos de Rb, Y y Ba con respecto al TaB y a la Isc-NA, salvo para Zr que es más bajo en los granitoides de Guasayán, y el Sr que es ligeramente mayor en la Isc-NA.

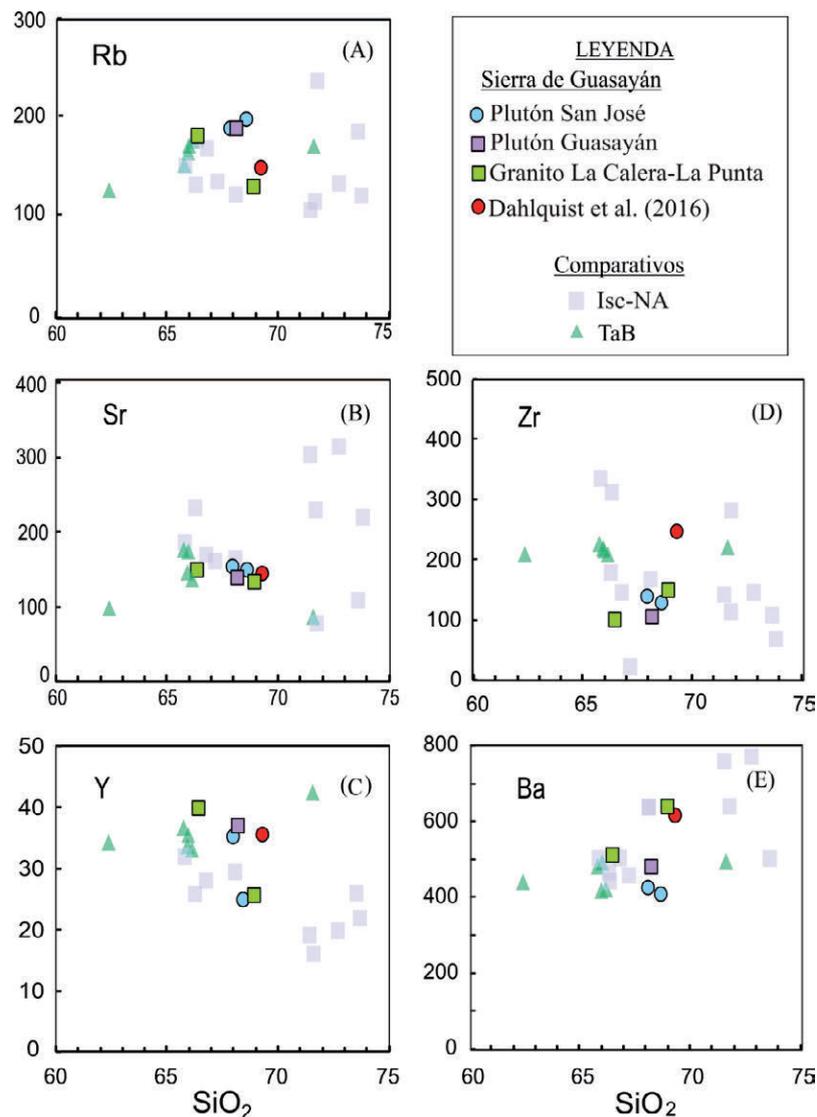


Figura 6. Diagramas de variación de algunos elementos traza vs. SiO_2 . Ver explicaciones en el texto.

En general presentan el típico empobrecimiento en Nb y Ti y enriquecimiento en Ba, Rb, Th and K, característicos de ambientes de arco (Figura 7).

En la Figura 8 se observa un diagrama de REE normalizadas a condrito (McDonough and Sun 1995) con un patrón similar para todas las muestras representadas. Se puede ver un moderado fraccionamiento entre la LREE y HREE con una relación La_N/Yb_N en el rango de 8,28-11,67 (promedio de 9,63) para las rocas estudiadas, y que además presentan una anomalía negativa de Eu/Eu^* de 0,51-0,87 (promedio = 0,61), lo que indica fraccionamiento de Pl en la fuente, y pendientes más suaves para las MREE y HREE, caracterizadas por una forma cóncava en las MREE (Dy a Tm). Las muestras correspondientes al TaB muestran el mismo patrón que las de Guasayán, mientras que las de la Isc-NA si bien presentan para las LREE un patrón similar a las de Guasayán, el contenido en HREE es mayor y el grado de fraccionamiento es menor, mostrando un patrón plano en la MREE y HREE.

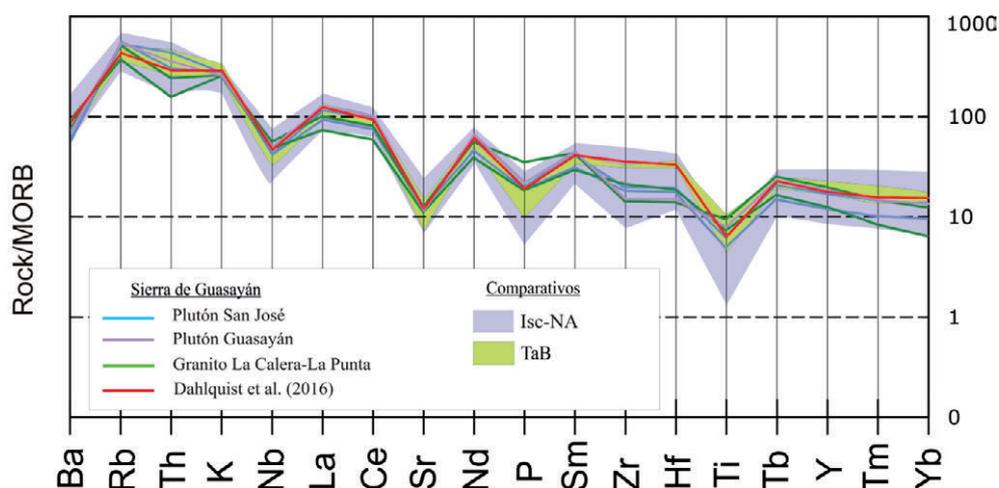


Figura 7. Diagrama de normalización Roca/MORB de Thompson. Se observa el típico empobrecimiento en Nb y Ti y enriquecimiento en Ba, Rb, Th and K, característicos de ambientes de arco.

Por otra parte, en los diagramas tectónicos Nb-Y y Rb- Nb+Y (Pearce 1984, Figura 9), todas las muestras se proyectan en el campo correspondiente a granitos de arco volcánico (VAG) hacia el límite con el campo de granitos de intraplaca (WPG), esto se debe a un contenido algo mayor de Y y Nb en estas muestras, siendo coincidentes con las características de granitos postcolisionales (Hauser *et al.*, 2011).

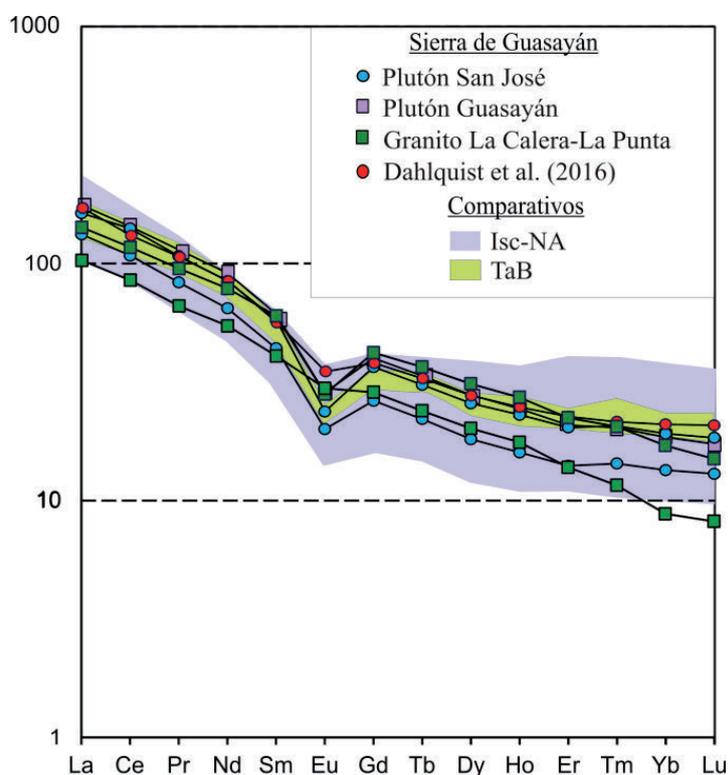


Figura 8. Diagrama de REE normalizadas a condrito (McDonough y Sun 1995). Los granitoides de la Sierra de Guasayán muestran moderado fraccionamiento entre la LREE y HREE con una relación La_N/Yb_N en el rango de 8,28-11,67 (promedio de 9,63) y presentan una anomalía negativa de Eu/Eu^* de 0,51-0,87 (promedio = 0,61). Ver el texto para más detalle.

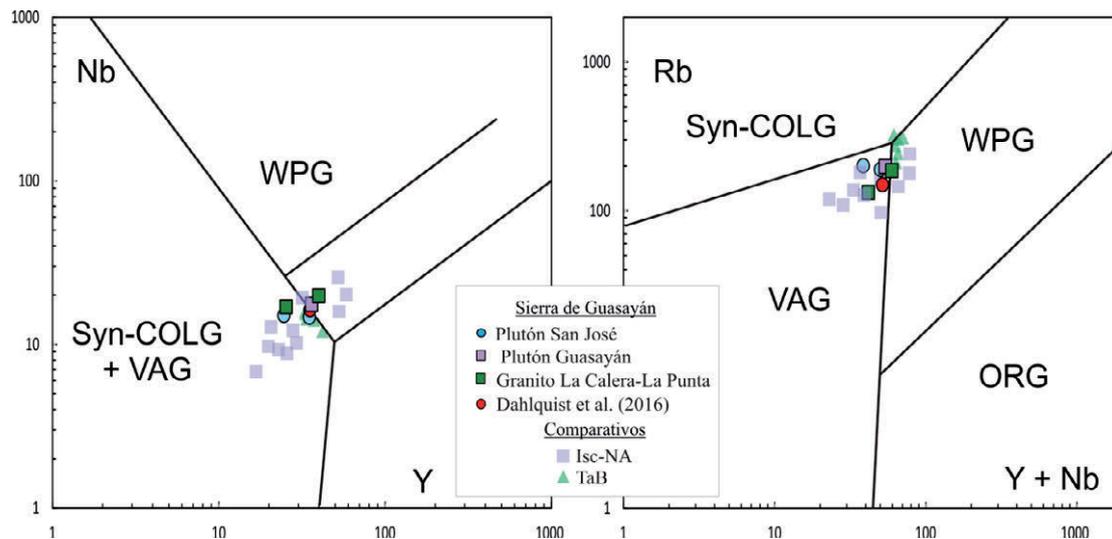


Figura 9. Diagramas de discriminación tectónica (Pearce *et al.*, 1984). VAG: granitos de arco volcánico, ORG: granitos de dorsal oceánica, WPG: granitos de intraplaca, Syn-COLG: granitos sincollisionales.

DISCUSIÓN

En la Sierra de Guasayán afloran una variedad de rocas de edad neoproterozoica a paleozoica inferior, tanto metamórficas como ígneas que constituyen el basamento sobre el que se desarrolla el marco estratigráfico de la región. Sus diferentes unidades y facies fueron relacionadas por diversos autores con aquellas que afloran en las sierras del Noreste de Córdoba y la Sierra de Ancasti adoptando nombres formacionales en común (Dahlquist *et al.*, 2016; Battaglia, 1982; Omil, 1992). Las rocas graníticas en particular fueron relacionadas al magmatismo Cámbrico de la Cordillera Oriental por Dahlquist *et al.* (2016) en base al análisis y edad obtenida de una muestra del plutón Guasayán, sin contar hasta la fecha con estudios geoquímicos de mayor detalle de la sierra homónima, ni estudios comparativos más amplios con las unidades formacionales mencionadas en la bibliografía.

El basamento metasedimentario del sector norte de la Sierra de Guasayán, presenta caracteres litológicos y petrológicos comparables a aquellos de la Fm. Puncoviscana *s.l.*, unidad constituida por filitas y pizarras y representada ampliamente hacia el Norte, en la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y el Sistema de Santa Bárbara. Hacia el Sur de la sierra, los esquistos bandeados con presencia de inyecciones magmáticas cuarzo-feldespáticas se asemejan al basamento metamórfico presente en el ámbito de las Sierras Pampeanas de Tucumán (Cumbres Calchaquíes y Sierra de Aconquija) y Catamarca (Sierra de Ancasti), donde el magmatismo es predominantemente de edad famatiniana.

En base a la petrografía y a los nuevos datos geoquímicos de elementos mayores y trazas aportados, junto a la información disponible en la bibliografía podemos hacer una serie de consideraciones comparativas entre a los intrusivos cámbricos de la región. El magmatismo Cámbrico muestra predominantemente composiciones granodioríticas a monzograníticas con un rango estrecho de sílice entre 65 y

75% en peso. Se han reconocido facies porfíricas con megacristales de Kfs. Bt es el principal mineral máfico con escasa Ms. Las rocas graníticas en la Sierra de Guasayán presentan un carácter calcoalcalino de alto K, son débilmente peraluminosas a peraluminosas. Presentan una edad de 533 ± 4 Ma (Dahlquist *et al.*, 2016), mientras que el TaB, ubicado en el ámbito de Cordillera Oriental, al N del área de estudio y la Isc-NA, perteneciente a las Sierras Pampeanas de NE de Córdoba y SO de Santiago del Estero, inmediatamente al S de la Sierra de Guasayán, presentan características geoquímicas y geocronológicas similares a las antes mencionadas. El TaB, datado en 536-514 Ma, está compuesto de rocas granodioríticas a graníticas, calco-alcalinas y débilmente peraluminosas (Hauser *et al.*, 2011; Casquet *et al.*, 2017). Las rocas graníticas de la Isc-NA, datadas en 537 y 530 Ma, corresponden a granodioritas, clasificadas como calcoalcalinas, meta a débilmente peraluminosas y granitos con un índice de peraluminosidad mayor (Iannizzotto *et al.*, 2013). En el centro y norte de la S-NA fueron descritas rocas de características similares por Lira *et al.* (1997). Las rocas menos evolucionadas de la Sierra de Guasayán presentan similitudes composicionales con los cuerpos ígneos que componen el TaB, mientras que las características geoquímicas de las unidades más evolucionadas se asemejan a las rocas más peraluminosas de la Isc-NA.

Los granitoides cámbricos de la Sierra de Guasayán y TaB muestran características petrográficas y geoquímicas que no concuerdan con el magmatismo típico calco-alcalino, relacionado con subducción (tipo I), como ser ausencia de la asociación Hbl+Ttn+Mag, alto contenido de K_2O y mayor peraluminosidad. En los diagramas de variación (figura 10) se pueden distinguir dos conjuntos magmáticos: las rocas de la Isc-NA muestran una tendencia de evolución lineal más definida, similar a la de magmas calco-alcalinos, con contenidos más altos de CaO y Al_2O_3 y contenidos de MgO ligeramente más bajos (figuras 5 y 10) que las unidades intrusivas del norte a lo largo del cinturón pampeano, o sea de Guasayán y TaB, que están representadas en los diagramas de variación mediante un grupo de muestras con mayor dispersión y parcialmente coincidentes con el campo correspondiente a las rocas de la Fm. Puncoviscana.

Dahlquist *et al.* (2016) reportan para la muestra del Plutón Guasayán estudiada valores de ϵ_{Hf} entre -0,12 a -4,76, que indicarían la interacción entre magmas juveniles y material cortical en la evolución del magma parental de estas rocas, o alternativamente una corteza heterogénea (Villaros *et al.*, 2011). Hauser *et al.* (2011) determina para el TaB valores de ϵ_{Hf} entre -1,5 a -1,8 mayormente, indicando participación cortical en la fuente. La digestión de material metasedimentario por magmas intrusivos genera tendencias geoquímicas que promueven la dilución de CaO y el aumento de FeO, MgO y K_2O (Díaz-Alvarado *et al.*, 2011). Asimismo, un alto grado de fusión parcial de una fuente gnéisica (metagrauvascas o incluso ortogneises más refractarios) podría generar granodioritas y monzogranitos ricos en Ba, Zr y REE (Skjierlie y Patiño Douce, 1995; Patiño Douce, 1999; Stevens *et al.*, 2007; Villaros *et al.*, 2009; Fiannacca *et al.*, 2019). En consecuencia, y como fue también propuesto previamente por Iannizzotto *et al.* (2013), la contaminación con material cortical por magmas intrusivos tonalíticos a granodioríticos podría explicar las características particulares de las unidades intrusivas cámbricas descritas en este trabajo. Recien-

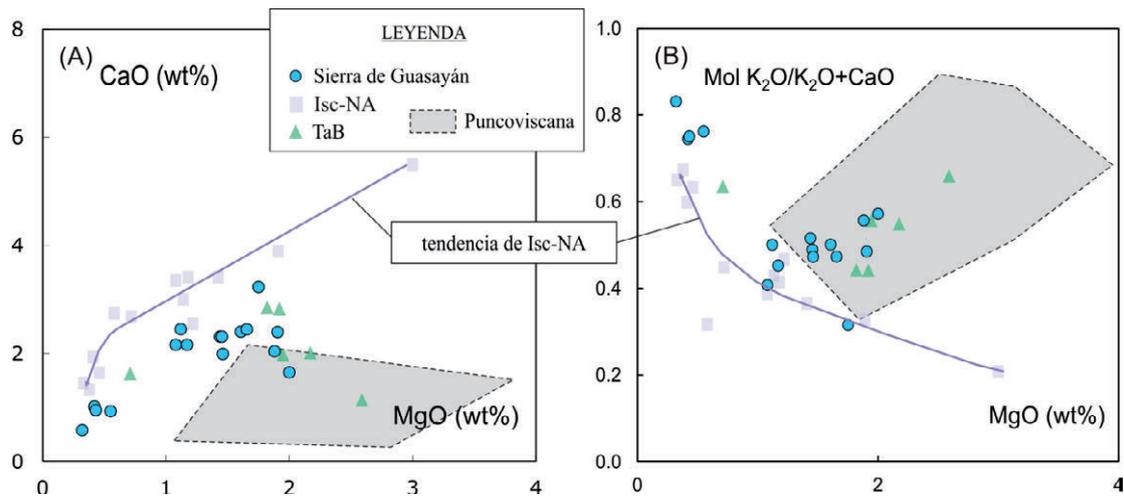


Figura 10. Diagramas de variación geoquímica, (A) CaO y (B) relación molar $K_2O/(K_2O+CaO)$ vs. MgO. Los granitoides Cámbricos están representados junto al campo de proyección de las rocas del encajante metasedimentario.

temente, Castro (2019) ha presentado una propuesta sobre el origen de los granitoides calcoalcalinos de medio a alto K_2O , magnesianos y levemente peraluminosos, mediante la simulación experimental de fusión parcial de xenolitos de granulita, desencadenada por magmas máficos ricos en K y H_2O . Los resultados reproducen las características del magmatismo cámbrico descritas anteriormente, incluso las firmas isotópicas híbridas (Bellos *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La Sierra de Guasayán se encuentra constituida por granodioritas y monzogranitos principalmente, calcoalcalinos de alto K_2O , débilmente peraluminosos a peraluminosos que intruyen a unidades equivalentes a la Fm. Puncoviscana s.l., representada al norte de la sierra por pizarras y filitas, y en el centro y Sur por esquistos bandeados de facies Esquistos Verdes. El análisis de los datos petrográficos y geoquímicos permite vincular a estos granitoides con aquellos aflorantes hacia el norte, en el Batolito de Tastil, Cordillera Oriental, y en parte con los que afloran hacia el sur en la Sierra de Ischilín y en el sector sur del Batolito Sierra Norte-Ambargasta, en Sierras Pampeanas Orientales. La Sierra de Guasayán representa la continuidad de NE a SO de un área de importante actividad magmática. Los granitoides de la Sierra de Guasayán presentan características petrográficas y geoquímicas que los diferencian de los típicos intrusivos calcoalcalinos metaluminosos de Tipo I. La participación de material cortical en la génesis de los magmas parentales sería responsable de la signatura geoquímica e isotópica de las rocas estudiadas. El magmatismo Pampeano posiblemente se habría desarrollado primeramente en un ambiente de subducción seguido posteriormente de una colisión continental con engrosamiento cortical asociado (Hauser *et al.*, 2011; Ianizzotto *et al.*, 2013; Dahlquist *et al.*, 2016).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por el financiamiento al Proyecto PIUNT 26/G528 de la Universidad Nacional de Tucumán. A Miguel Azarevich por la colaboración en el tratamiento de imágenes satelitales durante la confección del mapa geológico. Asimismo, agradecemos a los revisores, sus comentarios permitieron mejorar este trabajo, y a la Dra. Ana Fogliata por el trabajo editorial.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, G.F., Aceñolaza, F.G. 2007. Insights in the Neoproterozoic-Early Cambrian transition of NW Argentina: Facies, environments and fossils in the Proto-margin of western Gondwana, en Vickers-Rich P. & Komarower, P. (Eds.): *The Rise and Fall of the Ediacaran Biota: Geological Society, London. Special Publications*, 286: 1-13.
- Aceñolaza, F.G., Miller, H. 1982. Early Paleozoic orogeny in southern South America: *Precambrian Research* 17: 133-146.
- Aceñolaza, F.G., Miller, H., Toselli, A.J. 2000. The Pampean and Famatinian Cycles superposed orogenic events in west Gondwana: *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 1: 337-344.
- Aceñolaza, F.G., Toselli, A.J. 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico Inferior del Noroeste Argentino: *2º Congreso Latinoamericano de Geología* 2: 755-763.
- Baldo, E.G., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Mazieri, C. 1998. Granito El Cerro, magmatismo colisional Famatiniano en el sector austral de la Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba. *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, actas II*: 374-378.
- Baldo, E.G., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Casquet, C., Verdecchia, S., Murra, J. 2014. Geocronología de las Sierras de Córdoba: revisión y comentarios. *Relatorio XIX Congreso Geológico Argentino*, 845- 868. Córdoba.
- Battaglia, A. 1982. Descripción geológica de las hojas 13f, Río Hondo; 13g, Santiago del Estero; 14g, El Alto; 14h, Villa San Martín; 15g, Frías, provincias de Santiago del Estero, Catamarca y Tucumán. *Servicio Geológico Nacional Boletín N° 186*.
- Bachmann, G., Grauert, B. 1987. Análisis isotópico Rb/Sr y edad del granate-almandino en los gneises bandeados polimetamórficos de la Sierra de Ancasti y Tafí del Valle (Sierras Pampeanas, NW- Argentina), *X Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán*, 3, 21-24
- Beder, R. 1928. La Sierra de Guasayán y sus alrededores. Una contribución a la geología e hidrogeología de la provincia de Santiago del Estero: *Dirección General de Minas Publicación N° 39*. Bs As.
- Bellos, L.I., Castro, A., Díaz-Alvarado, J., Toselli, A.J. 2015. Multi-pulse cotectic evolution and in-situ fractionation of calc-alkaline tonalite-granodiorite rocks,

- Velasco Cambro-Ordovician batholith, Famatinian belt, Argentina: *Gondwana Research*, 27 (1), 258-280.
- Bellos, L.I., Aceñolaza, G.F., Nieva, S.M., Toselli, A.J. 2017. Caracterización petrológica y geoquímica de los granitoides y rocas asociadas de la Sierra de Guasayán, Sierras Pampeanas Orientales, provincia de Santiago del Estero. En: Ibañez, L., Grosse, P., Báez, M. (Eds.) XX Congreso Geológico Argentino. Tucumán, Argentina. Actas: 25-31. ISBN 978-987-42-6135-9.
- Bellos, L.I., Díaz-Alvarado, J., López, J.P., Rodríguez, N., Acosta Nagle, A.E., Tassinari, C.C.G., Altenberger, U., Schleicher, A. 2020. Juxtaposition of Cambrian and early Ordovician magmatism in the Tafi del Valle area. Characteristics and recognition of Pampean and Famatinian magmatic suites in the easternmost Sierras Pampeanas. *Journal of South American Earth Sciences*, 104: 102878, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102878>.
- Bonalumi, A. 1988. Características petrológicas y geoquímicas de los granitoides asociados a la mineralización de manganeso en el norte de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero, República Argentina. V Congreso Geológico Chileno, 2: 47-61.
- Büttner, S.H., Glodny, J., Lucassen, F., Wemmer, K., Erdmann, S., Handler, R., Franz, G. 2005. Ordovician metamorphism and plutonism in the Sierra de Quilmes metamorphic complex: implications for the tectonic setting of the Northern Sierras Pampeanas (NW Argentina): *Lithos*, 83: 143-181.
- Caffe, P.J., Trumbull, R.B., Coira, B.L., Romer, R.L. 2002. Petrogenesis of Early Neogene magmatism in the Northern Puna; implications for magma genesis and crustal processes in the Central Andean Plateau: *Journal of Petrology*, 43 (5): 907-942.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. II Simposio Geológico de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 225-291.
- Casquet, C., Dahlquist, J.A., Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Galindo, C., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Morales, M., Murra, J.A., C., Mark Fanning, C.M. 2017. Review of the Cambrian Pampean orogeny of Argentina; a displaced orogen formerly attached to the Saldania Belt of South Africa?: *Earth-Science Reviews*, 177: 209–225.
- Castellote, P. 1985. Algunas observaciones geológicas en las sierras de Ambargasta y Sumampa (provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana* 16 (2): 259-269.
- Castro, A. 2019. The dual origin of I-type granites: the contribution from experiments. Geological Society, London, Special Publications, 491. doi.org/10.1144/SP491-2018-110.
- Dahlquist, J.A., Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Basei, M.A.S, Alasino, P.H., Urán, G.A., Rapela, C.W., Da Costa Campos Neto, M., Zandomeni, P.S. 2016. Early Cambrian U-Pb zircon age and Hf-isotope data from the Guasayán pluton, Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the northwestern boundary of the Pampean arc: *Andean geology*, 43(1): 137-150.

- Dalla Salda, L., Cingolani, C.A., Valera, R. 1992. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South America. Result of Laurentian–Gondwana collision?: *Geology*, 20: 617-620.
- Díaz-Alvarado, J., Castro, A., Fernández, C., Moreno-Ventas, I. 2011. Assessing bulk assimilation in cordierite-bearing granitoids from the Central System Batholith, Spain; experimental, geochemical and geochronological constraints. *Journal of Petrology* 52, 223-256.
- Do Campo, M. 1999. Metamorfismo del basamento de Cordillera Oriental y borde oriental de LA Puna. En: González Bonorino, G., Omarini, R., y Viramonte, J. (Eds.). *Geología del Noroeste Argentino: Relatorio 14º Congreso Geológico Argentino 1*: 41-51.
- Do Campo, M., Ribeiro Guevara, S. 2005. Provenance analysis and tectonic setting of late Neoproterozoic metasedimentary successions in NW Argentina: *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 143-153.
- Escayola, M.P., Van Staal, C.R., Davis, W.J. 2011. The age and tectonic setting of the Puncoviscana Formation in the northwestern Argentina: An accretionary complex related to Early Cambrian closure of the Puncoviscana Ocean and accretion of the Arequipa-Antofalla block: *Journal of South American Earth Sciences*, 32 (4): 438-459.
- Fiannacca, P., Williams, I.S., Cirrincione, R., Pezzino, A. 2019. Poly-orogenic melting of metasedimentary crust from a granite geochemistry and inherited zircon perspective (southern Calabria-Peloritani orogen, Italy). *Frontiers in Earth Science* 7, 119. doi: 10.3389/feart.2019.00119.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks: *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5: 81-110.
- González, R.R., Toselli, A.J., 1974, Radimetric dating of igneous rocks from Sierras Pampeanas, Argentina: *Geociencias* 4 (3): 137-141.
- Grissom, G.C., De Bari, S.M., Lawrence, W.S. 1998. Geology of the Sierra de Fiambalá, northwestern Argentina: implications for Early Paleozoic Andean tectonics. En: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds.) *The Proto-Andean margin of Gondwana: Geological Society of London, Special Publications* 142: 297-323.
- Hauser, H., Matteini, M., Omarini, R.H., Pimentel, M.M. 2011. Combined U–Pb and Lu–Hf isotope data on turbidites of the Paleozoic basement of NW Argentina and petrology of associated igneous rocks: Implications for the tectonic evolution of western Gondwana between 560 and 460 Ma: *Gondwana Research*, 19: 100-127.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*: Editorial Prentice Hall. Tomo I. 274 pp.
- Höckenreiner, M., Söllner, F., Miller, H. 2003. Dating the TIPA shear zone: an Early Devonian terrane boundary between Famatinian and Pampean systems (NW Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 45-66.

- Hongn, F., Tubia, J.M., Aranguren, A., Vegas, N., Mon, R., Dunning, G. 2010. Magmatism coeval with lower Paleozoic shelf basins in NW-Argentina (Tastil batholith): Constraints on current stratigraphic and tectonic interpretations: *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 289-305.
- Iannizzotto, N.F., Rapela, C.W., Baldo, E.G.A., Galindo, C., Fanning, C.M., and Pankhurst, R.J. 2013. The Sierra Norte–Ambargasta batholith: Late Ediacaran–Early Cambrian magmatism associated with Pampean transpressional tectonics: *Journal of South American Earth Sciences* 42, 127-143.
- Isacks, B. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline: *Journal of Geophysical Research* B93, 3211-3231.
- Jezek, P. 1990. Análisis sedimentológico de la Formación Puncoviscana entre Tucumán y Salta. In: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.). *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino: Serie de Correlación Geológica*, 4: 9-36.
- Jezek, P., Willner, A.P., Aceñolaza, F.G., Miller, H. 1985. The Puncoviscana trough—a large basin of Late Precambrian to Early Cambrian age on the Pacific edge of the Brazilian shield: *Geologische Rundschau*, 74: 573-584.
- Jordan, T.E., Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation: *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Keppie, J.D., Bahlburg, H. 1999. Puncoviscana Formation of northwestern and central Argentina: Passive margin or foreland basin deposits? En: Ramos V. y Keppie, J. (Eds). *Laurentia-Gondwana connections before Pangaea: Geological Society of America, Special Publication 336*: 139-144.
- Kraemer, P.E., Escayola, M.P., Martino, R.D. 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (3040'–3240'S), Argentina: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50: 47-59.
- Leal, P., Miró, R. 2010. Basaltos Ramirez de Velasco, nuevos afloramientos de rocas básicas en la sierra homónima, Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67 (1) 65-76.
- Leal, P., Juarez, P., Cozzi, G., Miró, R. 2020. Caracterización del Magmatismo Eopaleozoico en los Alrededores de El Jarillal, Sierra de Ambargasta, Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (4). En prensa.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Strekeisen, A., Woolley, A.R., Zanettin, B. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*: Blackwell Scientific Publications, 193 p, London.
- Lira, R., Millone, H., Kirschbaum, A., Moreno, R. 1997. Calc-Alkaline Arc Granitoid Activity in the Sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 157-177.
- Lira, R., Poklepovic, M.F., O'leary, M.S. 2014. El magmatismo cámbrico en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta. En: Martino R.D., Guerreschi A.B. (eds.) *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*, 183-216, Córdoba.
- López de Luchi, M.G., Siegesmund, S., Wemmer, K., Steenken, A., Naumann, R. 2007. Geochemical constraints on the petrogenesis of the Paleozoic granitoids of

- the Sierra de San Luis, Sierras Pampeanas, Argentina: *Journal of South America Earth Sciences*, 24: 138-166.
- Lucero Michaut, H.N. 1979. Sierras Pampeanas del Norte de Córdoba, Sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y Sudeste de Tucumán: II Simposio de Geología Regional Argentina, II: 293-347.
- McDonough, W.F., Sun S.-S. 1995. The composition of the Earth: *Chemical Geology*, 120 (3-4): 223-253
- Miller, H., Söllner, F. 2005. The Famatina complex (NW-Argentina): back-docking of an island arc or terrane accretion? Early Palaeozoic geodynamics at the western Gondwana margin. En: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T., Pankhurst, R.J. (eds.) *Terrane Processes at the margins of Gondwana: Geological Society of London, Special Publications 246*: 241-256.
- Minera Tea. 1968. Estudio geológico-minero, edafológico e hidrogeológico de la Sierra de Guasayán. Consejo Federal de Inversión. Santiago del Estero. Inédito.
- Miró, R.C., Sapp, M. 2001. Hoja Geológica 2963-III, Villa Ojo de Agua, provincias de Santiago del Estero y Córdoba. Secretaría de Minería de la Nación, *Boletín* 315: 59 pp.
- Miró, R., Schwartz, C., Gromet, J. 2005. Magmatismo calcoalcalino en la Sierra Norte de Córdoba. Su extensión temporal. En: Aceñolaza, F. G., Aceñolaza, G. F., Hünicken, M., Toselli, A. J. (eds.), *Simposio Bodenbender. Serie Correlación Geológica*, 19: 199-210. Tucumán, Argentina.
- Nieva, S.M., Bellos, L.I., Aceñolaza, G.F., Toselli, A.J. 2017. Consideraciones geológicas sobre el Cámbrico Post-Tilcárico del sector austral del Sistema de Santa Bárbara (Provincias de Salta, Tucumán y Santiago del Estero). En: Muruaga, C.; Grosse, P. (Eds.) *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA*: 199-208
- Omarini, R.H., Sureda, R.J., Gftze, H.-J., Seilacher, A., Pflüger, F. 1999a. Puncoviscana folded belt in northwestern Argentina: testimony of Late Proterozoic Rodinia fragmentation and pre-Gondwana collisional episodes: *International Journal of Earth Science* 88: 76-97.
- Omarini, R.H., Sureda, R.J., Toselli, A.J., Rossi, J.N. 1999b. Ciclo Pampeano, Magmatismo. En: González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J. (Eds.): *Geología del Noroeste Argentino, XIV Congreso Geológico Argentino, Relatorio*, 1: 29-40, Salta.
- Omil, M. 1992. Geología y Geocronología del basamento de la Sierra de Guasayán provincia de Santiago del Estero. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales e IML-UNT (inédita), 195 p. Tucumán.
- Omil, M. 1996. Las edades de las rocas graníticas de la Sierra de Guasayán, provincia de Santiago del Estero, Argentina. XII Congreso Geológico de Bolivia, *Actas*: 1291-1301. Tarija.
- Omil, M. 2000. Estratigrafía de la Sierra de Guasayán, Santiago del Estero, Argentina. V Congreso Geológico de España. *Actas*: 289-292. Alicante.
- Omil y Bobovnikov, J. 2000. Las milonitas de Sierra de Guasayan, Santiago del Estero, Argentina. IX Congreso Geológico Chileno, *Actas* (1): 805-809.
- Patiño Douce, A.E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro, A.,

- Fernandez, C., Vigneresse, J.L. (Eds.), *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques*. Geological society of London special publications. Geological society, London, 55-75.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granites rocks: *Journal of Petrology*, 25: 956-983.
- Piñan-Llamas, A., Simpson. C. 2006. Deformation of Gondwana margin turbidites during the Pampean Orogeny, north central Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 118, 1270-1279.
- Ramos, V.A. 1995. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos: *Ciencia hoy*. 6: 24-29.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic – Early Paleozoic of South America: a collisional history: *Episodes*, 11: 168-174.
- Ramos, V.A. 1999. Rasgos estructurales del territorio Argentino: Evolución Tectónica de la Argentina. En: R. Caminos (Ed.), *Geología Argentina. Anales del Instituto de Geología y Recursos Minerales*, 29: 715-784.
- Ramos, V.A. 2008. The basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36: 289-324.
- Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortés, J.M., Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine Chilean Andes: *Tectonics*, 5: 855-880.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Saavedra, J. 2001. La Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen protoandino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina: *Journal of Iberian Geology*, 27: 23-41.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. 1998. Early evolution of the Proto-Andean margin of South America: *Geology*, 26: 707-710.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Baldo, E.G., González-Casado, J.M., Galindo, C., Dahlquist, J. 2007. The Río de la Plata craton and the assembly of Gondwana: *Earth Science Reviews*, 83: 49-82.
- Siegesmund, S.; Steenken, A.; López de Luchi, M.G.; Wemmer, K.; Hoffmann, A.; Mosch, S. 2004. “The Las Chacras-Potrerrillos batholith (Pampean Ranges, Argentina): Structural evidences, emplacement and timing of the intrusion”: *International Journal of Earth Sciences*, 93 (1): 23-43
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R., Stuart Smith, P y Miró, R. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds). *The Proto-Andean Margin of Gondwana: Geological Society of London, Special Publications* 142: 259-281.
- Skjierlie, K.P., Patiño Douce, A.E. 1995. Anatexis of interlayered amphibolite and pelite at 10 kbar: effect of diffusion of major components on phase relations and melt fraction. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 122, 62-78.

- Steenken, A., Siegesmund, S., Wemmer, K., López de Luchi, M. 2008. Time constraints on the Famatinian and Achaian structural evolution of the basement of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina): *Journal of South American Earth Sciences*, 25: 336-358.
- Stevens, G., Villarros, A., Moyen, J.-F. 2007. Selective peritectic garnet entrainment as the origin of geochemical diversity in S-type granites. *Geology* 35 (1), 9-12.
- Suzaño, N.O., Sola, A.M., Elortegui Palacios, J., Becchio, R.A., Ortiz, A., Nieves, A.A., Quiroga, M.F., 2017, Magmatismo plutónico del Paleozoico Inferior de Saltaby Jujuy: XX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 323-351.
- Toselli, A.J., Aceñolaza, G.F., Rossi, J. 2017. Evolución del basamento Neoproterozoico/Terreneuviano en la Cordillera Oriental y Sierras Pampeanas del Noroeste de Argentina. En: Muruaga, C.M. y Grosse, P. (Eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA: XX Congreso Geológico Argentino*, San Miguel de Tucumán: Relatorio, 141-165. ISBN 978-987-42-6666-8.
- Turner, J.C.M. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias: *Boletín Academia Nacional de Ciencias*, 41 (2): 163-196.
- Whitney D. y Evans, B. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Villarros, A., Stevens, G., Moyen, J.-F., Buick, I.S. 2009. The trace element composition of S-type granites: evidence for disequilibrium melting and accessory phase entrainment in the source. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 158 (4), 543-561.
- Villarros, A., Buick, I.S., Stevens, G. 2011. Isotopic variations in S-type granites: an inheritance from a heterogeneous source? *Contributions to Mineralogy and Petrology* 163 (2), 243-257.
- Willner, A. 1990. División tectonometamórfica del basamento de Noroeste Argentino. En: Aceñolaza, G., Miller, H., Toselli, A. (Eds.). *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino: Serie Correlación Geológica*, 4: 113-159.
- Willner, A., Toselli, A.J., Bazán, C., Vides de Bazán, M.E. 1983. Rocas Metamórficas. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H., y Toselli, A.J. (Eds.). *La Geología de la Sierra de Ancasti: Muntersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 59: 31-78.
- Zappettini, E.O., Coira, B. y Santos, O.J. 2008. Edad U/Pb de la Formación Chañi: un granito del arco magmático Tilcárlico. En: Coira, B. y Zappettini, E.O. (ed.): *Geología de la provincia de Jujuy: XVII Congreso Geológico Argentino, Actas I*: 248-249. San Salvador de Jujuy.
- Zimmermann, U. 2005. Provenance studies of very low-to low-grade metasedimentary rocks of the Puncoviscana Complex, northwest Argentina. En: Vaughan, A., Leat, P. y Pankhurst, R. (Eds.). *Geological Society of London. Special Publication*, 246: 381-416.