



# Caracterización del magmatismo eopaleozoico en los alrededores de El Jarillal, sierra de Ambargasta, provincia de Córdoba

**Pablo Rodrigo LEAL<sup>1</sup>, Pablo Daniel JUÁREZ<sup>2</sup>, Guillermo Arturo COZZI<sup>3</sup> y Roberto MIRO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS). Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), delegación Viedma, Río Negro.

<sup>3</sup>Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) – INTEMIN - CIGA

<sup>4</sup>Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), delegación Córdoba.

E-mails: leal@gl.fcen.uba.ar, pdjuarez@yahoo.com, guillermo.cozzi@segemar.gov.ar, roberto\_miro@yahoo.com.ar

Editor: Mónica López de Luchi

Recibido: 2 de agosto de 2019

Aceptado: 31 de marzo de 2020

## RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo caracterizar la petrografía y la geoquímica de las rocas ígneas que afloran en los alrededores de El Jarillal (Córdoba). Esta zona se caracteriza por preservar las unidades remanentes de las etapas finales de la orogenia Pampeana. Se reconocieron principalmente dos facies hipabisales denominadas pórfiro Cerro de los Burros y dique El Pértigo, y tres unidades plutónicas: Granodiorita Tres Lomitas, Formación Ambargasta y diques Toro Huañusco. Cada una de estas unidades representa etapas distintas del magmatismo eopaleozoico. Si bien, el pórfiro Cerro de los Burros se diferencia de El Pértigo por su composición mineralógica y geoquímica menos evolucionada, ambos representan magmatismo de arco. Por el contrario, los diques de la unidad Toro Huañusco tienen una paragénesis aún más diferenciada y una clara signatura geoquímica poscolisional que sugieren su emplazamiento tardío. Las evidencias compiladas y el análisis de los antecedentes nos permiten confirmar la correlación de este último con la Formación Puesto de Los Caminos localizada a pocos kilómetros al noreste del área de estudio.

**Palabras clave:** *Orogenia Pampeana, pórfiro Cerro de los Burros, dique El Pértigo, diques Toro Huañusco.*

## ABSTRACT

*Study of the Eopaleozoic magmatism surrounding El Jarillal, Ambargasta ranges, province of Córdoba.*

This paper aims to characterize the petrography and the geochemistry of the igneous rocks that crop out in the surroundings of El Jarillal (Córdoba province). This area is characterized by preserving the remnant units of the final stages of the Pampean orogeny. Mainly two hypabyssal (Cerro de los Burros porphyry and El Pértigo dyke) and three plutonic (Granodiorita Tres Lomitas, Ambargasta Formation and Toro Huañusco dykes) units were recognized. Each one of these units represents different stages of Eopaleozoic magmatism. Even though Cerro de los Burros samples evidence less evolved mineralogical and geochemical composition than those from El Pértigo dyke, both units represent arc magmatism. On the other hand, the rocks of the Toro Huañusco dykes have assemblages even more differentiated and a clear postcollisional imprint which suggest their later emplacement. All compiled evidence of this unit allows us to confirm its correlation with Puesto de Los Caminos Formation located a few kilometers northeast of the study area.

**Keywords:** *Pampean Orogeny, Cerro de los Burros porphyry, El Pértigo dyke, Toro Huañusco dykes.*

## INTRODUCCIÓN

En el norte de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero se encuentran amplias evidencias del magmatismo generado durante el ciclo Pampeano entre el Cámbrico Medio y Tardío en las Sierras Pampeanas de Argentina. El conjunto de unidades ígneas aflorantes en la región cubre un área de aproximadamente 8000 km<sup>2</sup> y fueron agrupadas bajo la denominación de Complejo Ígneo Ojo de Agua-Ambargasta por Miró y Sapp (2001). Este basamento de la orogenia Pampeana ha despertado el interés geológico desde mediados del siglo pasado y fue descrito principalmente en los trabajos realizados por Beder (1931), Videla (1944), Lucero (1969, 1979), Quartino et al. (1978), Quartino y Quartino (1996), Castellote (1978, 1982, 1985a, 1985b), González et al. (1985) y Bonalumi (1988).

Al estudiar las características geológicas regionales dichos autores diferenciaron dos sectores con asociaciones litológicas diferentes: un bloque occidental que coincide con la Sierra de Ambargasta y un bloque oriental que se extiende a lo largo de la sierra Norte de Córdoba y las sierras de Sumampa y Ojo de Agua (Fig. 1). Trabajos más recientes no solo corroboraron dicha zonación, sino que además precisaron sus límites y propusieron su correlación con la historia geológica del área (Koukharsky et al. 1999, 2002 y 2003, Lira et al. 1997 y 2014, Schwartz et al. 2008, Millone et al. 2003, O'Leary et al. 2014).

No obstante, el modelo de evolución tectónica de este amplio sector de las Sierras Pampeanas de Argentina es aún objeto de discusión y análisis. Por tal motivo se decidió realizar un estudio de detalle en un área de aproximadamente 70 km<sup>2</sup> situada en el borde occidental de la sierra Norte de Córdoba (al oeste de la localidad de Chuña Huasi) en el que aparecen la mayoría de los elementos ígneos formados durante la mayor parte de la historia orogénica. El sector se caracteriza por la presencia de cuerpos hipabisales, que forman una importante suite magmática de amplia presencia en el margen occidental de las sierras, y cuerpos filonianos, que representan las facies póstumias de la orogenia Pampeana; cuya exposición se restringe entre los 29°30' y los 30°00' latitud Sur y los 64°00' y 64°30' longitud Oeste. Trabajos regionales de mapeo e interpretación de los datos geoquímicos fueron realizados por Lucero (1969), Lira et al. (1997), Miró y Sapp (2001) y O'Leary et al. (2009). Estos trabajos por su naturaleza no describieron con detalle las características litológicas, ni las relaciones de emplazamiento entre las unidades presentes en el área. Un primer estudio de relevamiento de detalle de un sector de la zona fue realizado por Gordillo (1955) quien

caracterizó la composición química y petrográfica del dique El Pértigo, ubicado inmediatamente al sur del pórfiro Cerro de los Burros y al este de un conjunto de diques anulares ácidos agrupados como diques Toro Huafusco (Lira et al. 2014). El objetivo de esta contribución es investigar las características litológicas y relaciones de emplazamiento de las unidades que afloran en los alrededores de El Jarillal, puesto que este sector del bloque occidental (Sierra de Ambargasta) reúne una amplia exposición de la secuencia magmática eopaleozoica. Se aportan nuevos datos petrológicos de la actividad ígnea reconocida y se los relaciona con el evento tecto-magmático regional eopaleozoico. La caracterización petrológica de dichas unidades nos ha permitido precisar la evolución geoquímica del magmatismo para establecer un cuadro de la posible evolución de la etapa final del evento orogénico Pampeano.

## MARCO GEOLÓGICO

La sierra Norte de Córdoba está compuesta por un basamento ígneo-metamórfico que comprende la mayor parte de la historia evolutiva del Ciclo Pampeano. Las rocas metamórficas afloran en forma dispersa como núcleos metamórficos en medio de las facies magmáticas y han sido objeto de descripciones regionales (Miro y Sapp 2001, Schwartz et al. 2003). La extensión del ciclo orogénico y el modelo tectónico al que se adscribe han sido motivo de controversia (Sims et al. 1998, Ramos et al. 2010, Steenken et al. 2004, Rapela et al. 2016). El primer modelo evolutivo del ciclo Pampeano fue esbozado por Aceñolaza y Toselli (1982) tomando como base las secuencias eoproterozoicas y cámbricas del noroeste de Argentina (al norte de los 29°S). Incluye una primera etapa de sedimentación ocurrida en el Ediacarano (Neo-Proterozoico) en una amplia cuenca en el margen pasivo situado en el oeste del Gondwana (según coordenadas actuales). Durante el Cámbrico Temprano este margen habría pasado a una etapa de convergencia activa dando lugar al desarrollo de una amplia actividad magmática que se extendió hasta comienzos del Ordovícico. Entre los 29° y 30° latitud Sur, en el área que comprenden las sierras Norte de Córdoba, las sierras de Ambargasta y las sierras de Sumampa (Fig. 1), el conjunto ígneo fue agrupado en sentido regional como Complejo ígneo Ojo de Agua-Ambargasta por Miró y Sapp (2001), incluyendo a todas las rocas plutónicas y subvolcánicas de una amplia variedad litológica que se formaron mayormente durante el Cámbrico Medio al Tardío, entre los 540 y 515 Ma.

En las sierras de Ambargasta, en particular, se han reco-

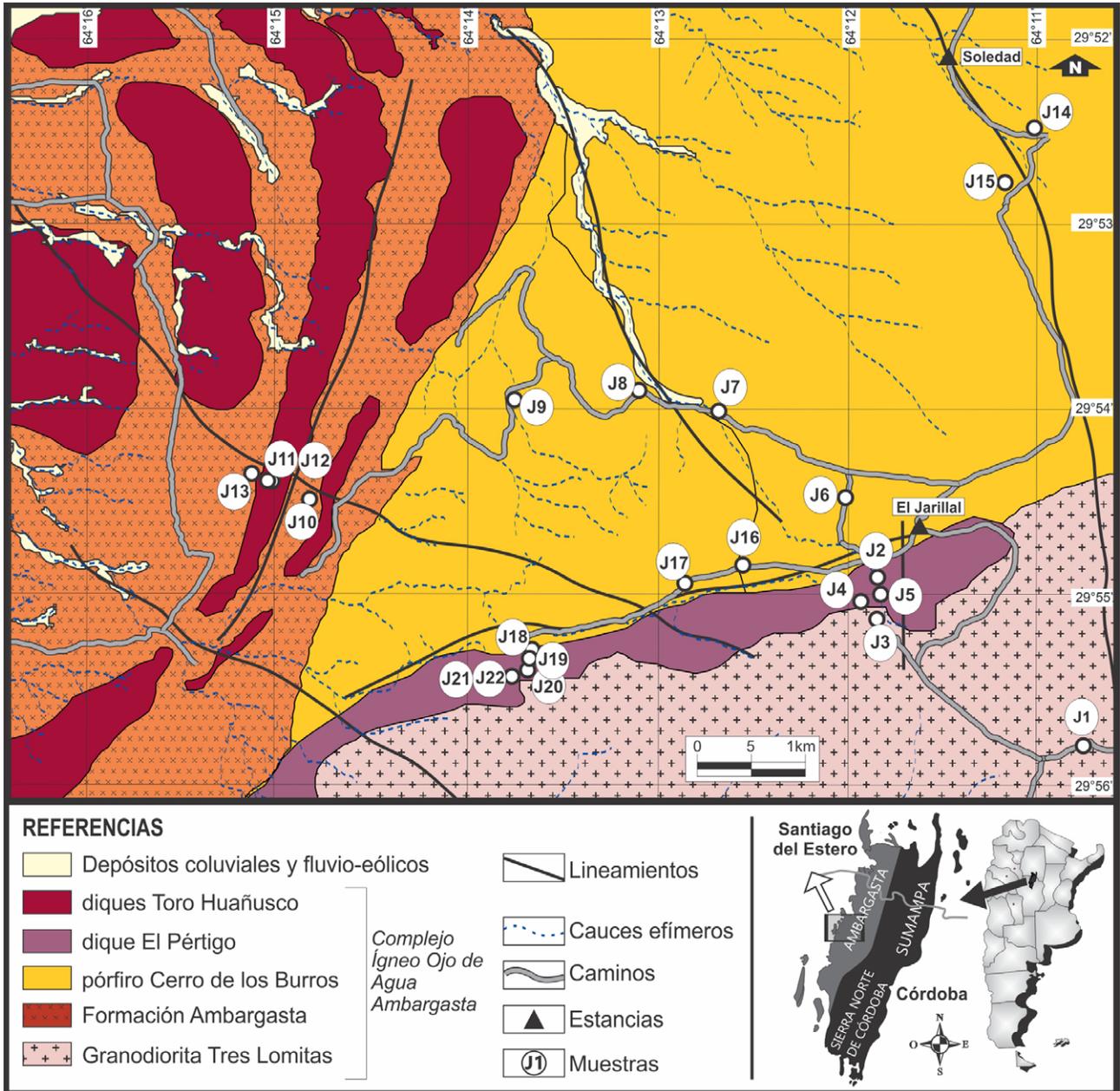
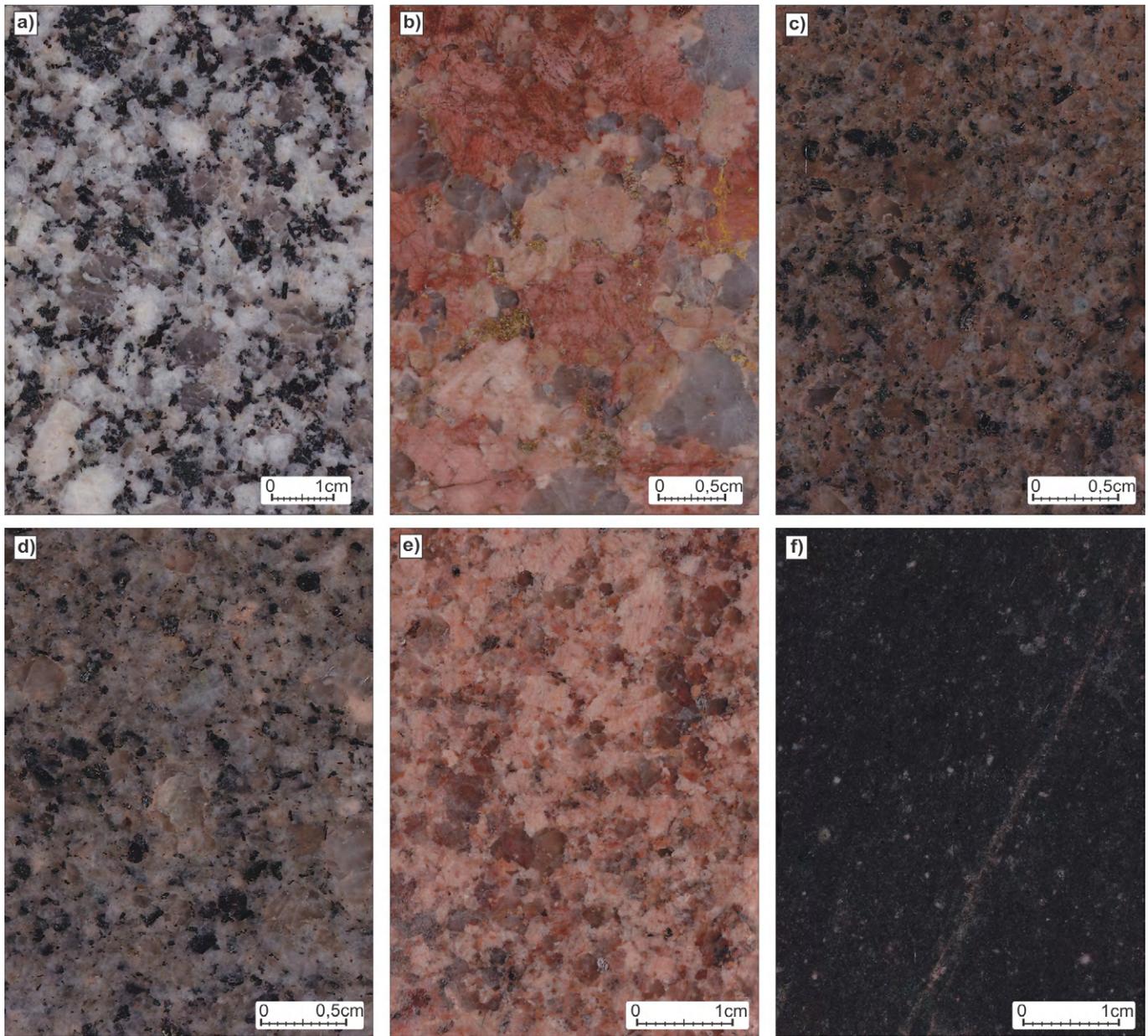


Figura 1. Mapa geológico del área de estudio. Los círculos representan las localidades de muestreo con el código de cada muestra.

nocido como facies iniciales de dicho evento magmático a dos unidades: Granodiorita Tres Lomitas (Bonalmi 1988) o granodiorita de la Formación La Isla (según Lira et al. 2014) y la Formación Ambargasta (Castellote 1985b) también denominada monzogranito de la Formación La Isla por Lira et al. (2014). En términos generales ambas unidades son las de mayor presencia en el terreno y se reconocen por tener texturas granosas medias hipidiomórficas e inequigranulares y un color gris claro a gris azulado pálido con un gradual cambio de sur a norte en su contenido de minerales máficos.

En mayor detalle se ha descrito a la Granodiorita Tres Lomitas (Figs. 1 y 2a) como una roca con textura granosa me-

dia equigranular de tonalidades grisáceas, formada principalmente por cristales de plagioclasa ( $An_{52}$ ), cuarzo, hornblenda, biotita y ortosa intersticial (Lucero 1969, Bonalmi 1988, Lira et al. 1997, Leal 2002, Juárez 2016). En cantidades accesorias, se menciona la presencia de apatita, allanita, magnetita, ilmenita, pirita y circón. Como productos de alteración son frecuentes arcillas y sericita debidas a la hidrólisis de los feldespatos que ocasionalmente presentan también parches de epidoto y carbonatos. Los máficos, por otra parte, suelen degradarse para formar agregados de clorita, prehnita y titanita (Leal 2002). Caracterizan a esta unidad la presencia de abundantes enclaves de varios centímetros de diámetro



**Figura 2.** Fotografías de superficies pulidas de las principales litologías del área de estudio: a) unidad Granodiorita Tres Lomitas (J3); b) Monzogranito de la Formación Ambargasta (J10); c) pórfiro Cerro de los Burros (J16); d) dique El Pértigo (J21); e) diques Toro Huañusco (J13); f) Lamprófire Sierra Norte (J5). En la figura 1 se indica la ubicación geográfica de cada muestra.

promedio, cuya cantidad disminuye paulatinamente hacia el norte. Gordillo (1955) fue el primero en reconocer “masas oscuras de 10 a 20 cm” dentro de la Granodiorita Tres Lomitas que consideró productos de la diferenciación del propio plutón. Lucero (1969, 1979) menciona la presencia de *schlierens* melanocráticos de variada forma y tamaño, de composición diorítica a los que define como enclaves homogéneos. Castellote (1989) describe “xenolitos de una roca muy oscura, de grano fino. Su forma es casi siempre redondeada u ovalada; su tamaño diverso, llegando a ser pugilares; su composición tonalítica”. Finalmente, Lira et al. (1997, 2014) realizan una

completa descripción petrográfica de los enclaves hallados en la Granodiorita Tres Lomitas. Según estos últimos autores pueden encontrarse términos que petrográficamente se clasifican como dioritas cuarzosas, monzodioritas o tonalitas. Al mismo tiempo, realizaron los primeros análisis químicos que permitieron no solo corroborar las observaciones macro y microscópicas si no también proponer una vinculación genética con la roca que los hospeda según la cual representarían los términos menos evolucionados (diorita La Aguada) del mismo evento magmático que produjo la caja. Por último, Miró y Sapp (2001) destacan la presencia de enclaves de composi-

ción diorítica en la Granodiorita Tres Lomitas sin evidencias de procesos de asimilación o mezcla con la caja. Dichos autores destacan además que los mismos son particularmente abundantes en las inmediaciones del pórfiro Cerro de los Burros; es decir dentro del área que atañe a esta contribución.

La Formación Ambargasta (Fig. 1) se compone de monzogranitos que se extienden principalmente al norte de los 29°40' S (Lira et al. 2014); mientras que en el área de estudio solo se reconocen afloramientos aislados y de menor extensión. Poseen una textura granosa seriada con cristales mayores de microclino que le confieren aspecto porfiroide (Fig. 2b, Castellote 1985b, Miró y Sapp 2001, Correa 2003). La asociación mineral mayoritaria se compone de cuarzo, plagioclasa y cantidades subordinadas de biotita. Como componentes minoritarios se observa circón, apatita, magnetita, pirita, allanita, titanita y turmalina. Es común el reemplazo por una asociación de minerales de alteración formada por hematita, epidoto, clorita, sericita y arcillas (Castellote 1985b, Lira et al. 1997, Correa 2003).

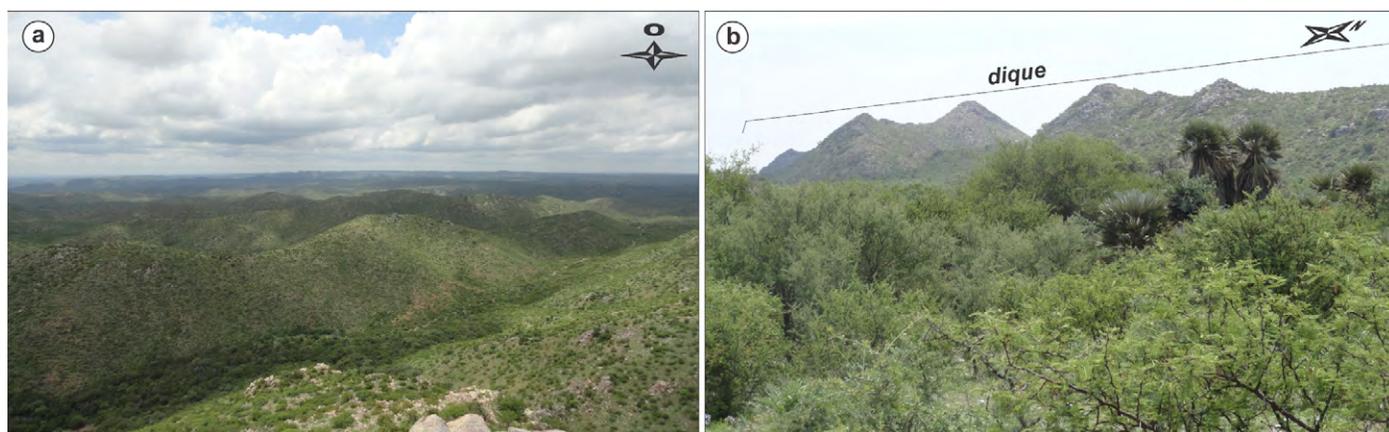
La composición geoquímica de la granodiorita Tres Lomitas y Formación Ambargasta fue estudiada por Bonalumi (1988), Lira et al. (1997), Leal (2002) y Correa (2003), quienes remarcaron su tendencia de meta a peraluminosa, con términos peralcalinos y una impronta característica de arcos volcánicos. Poklepovic et al. (2005) determinaron, tomando como base el contenido de Al en anfíboles, que sus condiciones de emplazamiento corresponden a una presión litostática máxima de 3 kbar o una profundidad media de 11 km.

Dichos plutones fueron intruidos por un abundante cortejo de cuerpos subvolcánicos agrupados por O'Leary et al. (2014) dentro de una facies de volcanismo ácido y que han sido objeto de especial estudio en este trabajo. Los cuerpos mayores a escala regional corresponden al pórfiro de la For-

mación Cerro de los Burros, al dique Él Pértigo y a los diques anulares Toro Huañusco.

El pórfiro de la Formación Cerro de los Burros posee una forma semielíptica con su eje mayor de aproximadamente 35 km orientado en sentido norte-sur. Su afloramiento ocupa un área de unos 150 km<sup>2</sup> (Lira et al. 2014) siendo su caja predominante la Granodiorita Tres Lomitas. En general presenta una textura porfírica holocristalina (Fig. 2c) y su composición varía entre dacítica y riolítica. Si bien se trata de una misma unidad litológica sus variaciones composicionales y geocronológicas sugieren que se habría formado en varios pulsos magmáticos ocurridos principalmente entre los 530 y los 512 Ma (según edades U/Pb: Schwartz et al. 2003, Leal et al. 2003, Ramos et al. 2015). A partir de las edades isotópicas, su petrología y sus relaciones estratigráficas Lira et al. (1997) interpretaron a este cuerpo riodacítico como un producto de la diferenciación de los plutones de la Formación La Isla. Dadas las presiones de emplazamiento de aproximadamente 2.5 kbar determinadas por Poklepovic et al. (2005) el pórfiro riodacítico se habría consolidado a profundidades de alrededor de 9 km.

El dique El Pértigo aflora en el margen sureste del pórfiro Cerro de los Burros en su contacto con la Granodiorita Tres Lomitas (Fig. 1), evidenciando el control estructural que ejercieron ambos. Este dique se destaca en el paisaje formando una sierra dentada que constituye el principal alto topográfico de los alrededores, con una altura de aproximadamente 900 m s.n.m (Fig. 3a, b). Posee un rumbo N 30° E, un largo de 8 km y un ancho medio (medido en forma transversal a la estructura) de aproximadamente 500 m; lo que le confiere una superficie de aproximadamente 4 km<sup>2</sup> (Miró y Sapp 2001). Las características petrográficas fueron descritas por Gordillo (1955), Lucero (1969) y O'Leary et al. (2006, 2014). Se trata de un cuerpo hipabisal de textura porfírica y gran



**Figura 3.** a) Fotografía del relieve general de las sierras de Ambargasta tomada desde el punto más elevado del área de estudio (punto de muestreo J21); b) Fotografía del dique El Pértigo desde la estancia El Jarrillal.

cantidad de enclaves máficos de formas irregulares y tamaños que alcanzan los 10 cm (Fig. 2d). Si bien no existe aún una edad geocronológica del mismo se considera que, por su relación de intrusividad, corresponde a una etapa tardía en el emplazamiento del pórfiro Cerro de los Burros. Diques similares al cuerpo de El Pértigo se encuentran intruyendo a los plutones calcoalcalinos regionales y forman una facies de extensión regional de composición definidamente más ácida que las rocas que los hospedan.

Un conjunto de diques anulares, denominados diques Toro Huañusco (Lira et al. 2014), que afloran inmediatamente al suroeste del pórfido Cerro de los Burros, en el margen occidental de la Sierra Norte (Fig. 1), muestra una coincidencia composicional con la unidad Puesto de Los Caminos que fue definida por Lira et al. (1997) para un pequeño granito que aflora unos ocho kilómetros al norte del área de estudio. Esta unidad agrupa a varios cuerpos epizonales (<2 Kb) de dimensiones inferiores a 20 km<sup>2</sup> generados a partir de magmas muy evolucionados (Fig. 2e). Millone et al. (2003) obtuvieron una edad (mediante Rb/Sr en roca total) de  $523 \pm 4$  Ma en una muestra de la localidad tipo del granito Puesto de los Caminos. Sus características petrográficas y geoquímicas permiten inferir que el emplazamiento de estos cuerpos menores corresponde a una etapa final en la formación del arco magmático Pampeano (Schwartz et al. 2003, Lira et al. 2014).

Finalmente se completa la asociación de facies ígneas con pequeños diques lamprófiros agrupados por O'Leary et al. (2014) como lamprófiros Sierra Norte (Fig. 2f). Sus características fueron descritas por Gordillo (1955), Lucero (1969), Miró y Sapp (2001) y O'Leary et al. (2009). Si bien en el área de estudio no son muy abundantes se los observó principalmente dentro del pórfiro Cerro de los Burros. Se trata de diques subverticales de escasos centímetros de espesor compuestos por anfíboles, cantidades subordinadas de clinopiroxeno y muy raramente plagioclasas que permiten definirlos como espessartitas (O'Leary et al. 2009). Su edad fue determinada por O'Leary et al. (2009) en  $485 \pm 25$  Ma (mediante Rb/Sr en roca total) lo que indicaría que su emplazamiento corresponde a una etapa final del evento colisional del ciclo Pampeano (posible colapso extensional).

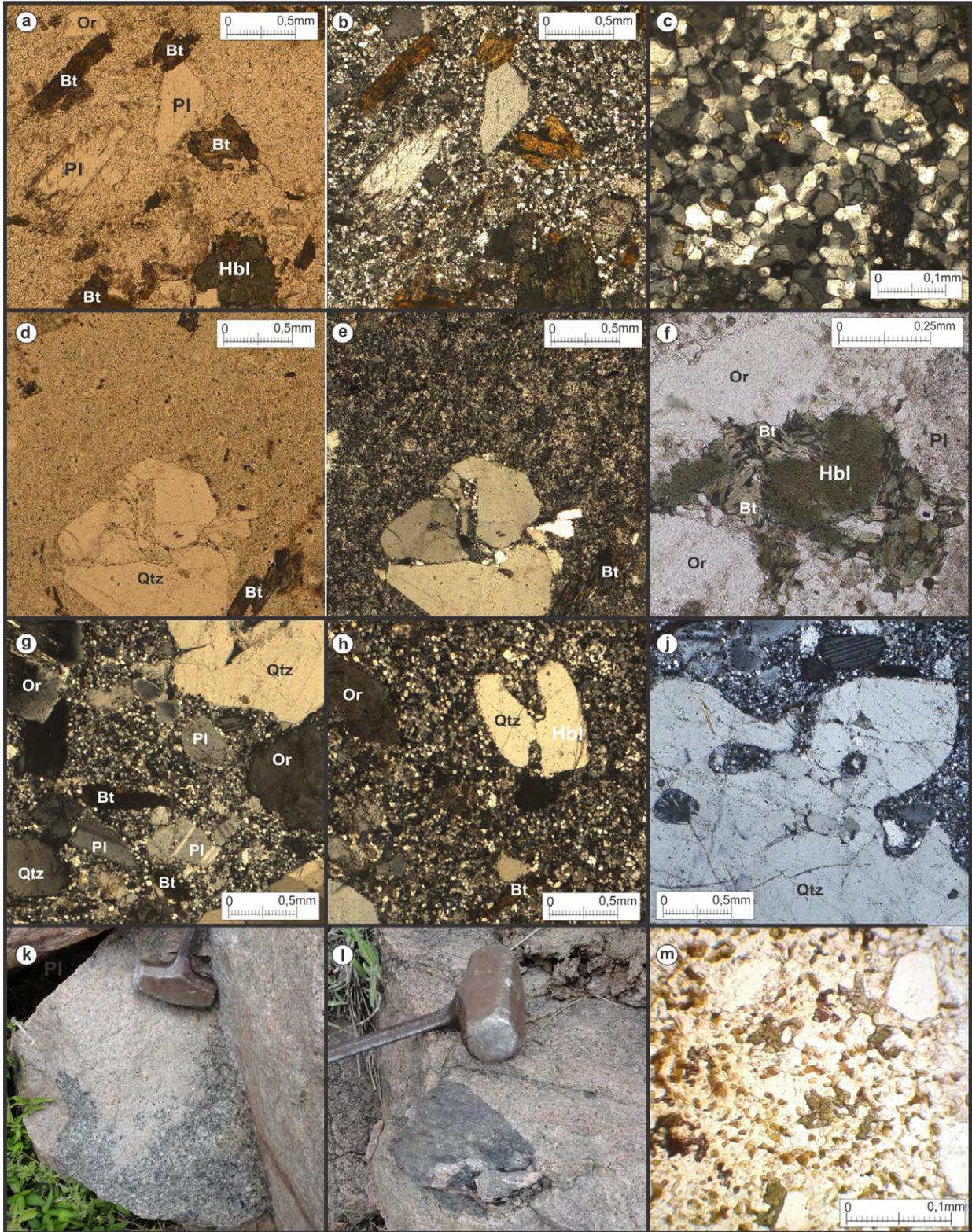
Completando el cuadro geológico del área serrana se destaca una amplia cobertura sedimentaria moderna formada por amplios depósitos aluviales, coluviales y fluviales.

## METODOLOGÍA

Para el estudio petrográfico se recolectaron muestras en

sitios que fueron seleccionados por el estado de preservación de las rocas, por su grado de representatividad o por la presencia de anomalías texturales. Entre ellos se seleccionaron 15 muestras para su caracterización geoquímica, que fueron premolidas en los laboratorios del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) para descartar las superficies de alteración. Los análisis fueron realizados en los laboratorios *Bureau Veritas Minerals Laboratories* (Australia) y en el Laboratorio Químico del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN - SEGEMAR). En el primer caso se utilizó la combinación de espectrometría de emisión de plasma (ICP) y espectrometría de masa (MS). En el segundo caso las técnicas utilizadas fueron fluorescencia de rayos X dispersivo en longitud de onda para elementos mayoritarios y espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo con detector óptico (ICP-OES) o espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) para elementos traza. El grado de alteración de cada muestra se estimó solo a partir del contenido de LOI (*loss on ignition*).

Los análisis obtenidos para esta contribución se integraron con numerosos antecedentes para construir una base de datos geoquímicos que permita comparar el conjunto de rocas ígneas que componen a las sierras de Ambargasta para establecer correlaciones y elaborar hipótesis sobre la evolución del ambiente tectónico durante el ciclo orogénico Pampeano. Dicha compilación fue dividida en tres grupos de rocas: la primera corresponde a los análisis obtenidos para el pórfiro Cerro de los Burros cuyos antecedentes fueron realizados por Gordillo (1955), Bonalumi (1988), Lira et al. (1997) y Leal (2002) sobre distintos sectores del mismo. El segundo grupo de análisis corresponde a los antecedentes sobre la composición química del dique El Pértigo que fueron publicados por Gordillo (1955) y Leal (2002). Para el análisis regional, en este grupo se incluyen también los datos de la composición química del pórfiro granítico Oncán (Bonalumi 1988, Rapela et al. 1991, Lira et al. 1997), que posee extensos afloramientos al norte y al sur del área de estudio, y el pórfiro riolítico La Lidia (Massabie et al. 2002) dada la posible correlación propuesta por Miró y Sapp (2001) y O'Leary et al. (2014). Este último aflora en el extremo suroeste de la Sierra Norte, en la sierra de Sauce Puncu; aproximadamente a 17 km al noreste de la localidad Deán Funes (Massabie et al. 2002). Por último, el tercer grupo de análisis compila los resultados para los diques Toro Huañusco, que al día de la fecha no poseen análisis químicos publicados fuera de los presentados en este trabajo. No obstante, los datos obtenidos son contrastados con la signatura geoquímica de los intrusivos post-colisionales a los que Lira et al. (1997) definen como



**Figura 4.** Fotografías de afloramientos y de cortes delgados bajo el microscopio compuesto de polarización. Pórfiro Cerro de los Burros: a-b) Textura típica sin analizador y con analizador respectivamente; c) Detalle de su pasta más frecuente; d-e) Textura particular de la localidad J14 donde la pasta alcanza su menor granulometría (fotomicrografías sin y con analizador respectivamente); f) Minerales máficos formado un glomérulo de la misma localidad. Dique El Pértigo: g-h) Texturas representativas (con analizador); j) Detalle de un fenocristal de cuarzo con bordes engolfados (con analizador). Enclaves: k-l) Afloramientos típicos de enclaves; m) Detalle de la pasta de los enclaves afaníticos donde se observa una textura microgranosa compuesta por cuarzo, feldespatos, anfíboles, biotitas y opacos (fotomicrografía sin analizador). Las abreviaturas de los distintos minerales siguen la norma internacional propuesta por Whitney y Evans (2010).

granitoides subcalinos altamente evolucionados: Puesto de los Caminos, Potrerillos, Aguda Vieja (extraídos de Lira et al. 1997), La Baritina (Lira et al. 1997, 2007), Granito Calasuya (Elortegui Palacios et al. 2008), Puesto Rojas (Franchini et al. 2005) y El Cerro (Baldo et al. 1998).

## DISTRIBUCIÓN Y PETROGRAFÍA DE CADA UNIDAD

Para la caracterización petrográfica de las unidades pórfiro Cerro de los Burros, dique El Pértigo y diques Toro Huañusco se extrajeron numerosas muestras cuya ubicación se indica en la figura 1 y en el cuadro 1. La descripción que sigue detalla las características generales y las singularidades de cada una.

### Pórfiro Cerro de los Burros

Si bien esta unidad ocupa gran parte de la superficie estudiada sus afloramientos se encuentran solo en la cima de diminutos cerros, en una superficie que rara vez supera la centena de metros cuadrados. Allí la vegetación disminuye su densidad y asoma una roca de color gris con tonalidades anaranjadas y clara textura porfírica (Fig. 4a, b). Sus fenocristales se distribuyen en forma homogénea con un tamaño que oscila entre 1 y 3 mm de largo promedio. La relación fenocristales/pasta es de 60/40, pero la misma varía en las distintas localidades sin un patrón definido entre 50/50 y 70/30. Al microscopio la pasta presenta textura microgranosa con microlitos de feldespato alcalino y cuarzo de 20  $\mu\text{m}$  promedio con escasos minerales opacos intersticiales (Fig. 4c). Estas características texturales de la roca se mantienen homogéneas en toda el área recorrida a excepción de su extremo noreste donde aflora una volcanita (muestra J14) con fenocristales de mayor tamaño (5mm) inmersos en una pasta de microlitos más pequeños (5 $\mu\text{m}$ , Fig. 4 d, e).

En todos los casos, los fenocristales se componen de plagioclasas que ocupan entre el 60 y el 45 % de esta fracción. Son frecuentes los cristales con marcada zonación y bordes irregulares. Le siguen en abundancia fenocristales anhedral de cuarzo (25 a 15 % modal) con bordes engolfados y extinción homogénea. Completan esta fracción fenocristales de ortosa cuyo volumen varía entre el 20 y 15 %. Los fenocristales de minerales máficos fluctúan según la localidad entre 10 % y 15 % y se componen principalmente de anfíboles y en menor proporción de láminas de biotita y minerales opacos que ocasionalmente forman glomérulos (Fig. 4f). Los prismas de anfíboles rara vez superan el milímetro de largo, presentan frecuentes maclas de dos individuos y pleocroísmo marcado

del castaño al verde característico de la hornblenda. Las láminas de biotitas son de similar tamaño y en algunos casos se hallan flexuradas. Los minerales opacos presentan tamaños menores a 0.5 milímetros y en su mayoría son secciones de notorio hábito cúbico.

Dentro de la asociación de minerales secundarios se destacan agregados de sericita y variedades de epidoto como alteración de las plagioclasas, y clorita como alteración de los anfíboles y las biotitas.

Según los porcentajes modales estimados todas las rocas analizadas para este trabajo clasifican como riolitas del campo 3b de la clasificación de Streckeisen (1979). Si bien el área de estudio incluye solo una pequeña porción del total de esta unidad, las características petrográficas encontradas coinciden con sus términos más diferenciados (riolitas). Los afloramientos dacíticos descritos al noreste del área de estudio por Leal (2002) no fueron hallados en este extremo austral del pórfiro. En el estudio regional realizado por Miró y Sapp (2001) destacan que la variación composicional del pórfiro Cerro de los Burros se debe principalmente al contenido de feldespato potásico, el cual hace variar el tipo de roca de riolita a dacita sin poder establecer un límite neto entre ambos tipos litológicos.

### Dique El Pértigo

A diferencia del pórfiro Cerro de los Burros el dique El Pértigo destaca en el relieve por su altura cercana a los 900 metros sobre el nivel del mar (Fig. 3b). En muestra de mano está formado por una roca de color castaño grisáceo y textura porfírica (Fig. 4g, h) donde la pasta grada sin límites definidos entre tonalidades grises y anaranjadas. Los fenocristales se distribuyen en forma homogénea, presentan un tamaño de 1 a 5 mm y ocupan entre el 50 y el 65 % de su volumen modal. Dentro de esta fracción el cuarzo es el mineral más abundante (35 al 40 % modal) y el que mayor tamaño desarrolla pudiendo alcanzar los 5 mm. Son frecuentes los bordes engolfados (Fig. 4h, j) y las extinciones inhomogéneas que evidencian una incipiente deformación sobrepuesta. Siguen en abundancia fenocristales de ortosa (30 al 25 %) con formas anhedral y tamaños de 1.5 mm promedio. Las plagioclasas se encuentran siempre en cantidades menores a los feldespatos potásicos y nunca representan más del 25% de esta fracción. Según sus propiedades ópticas su composición se estima de tipo oligoclasa-andesina. Completan la fracción de fenocristales un 10% de minerales máficos entre los que predominan las láminas de biotita, seguidas por anfíboles y opacos. Estos presentan tamaños inferiores al milímetro por lo cual rara vez se los reconoce macroscópicamente.

La pasta presenta una textura microgranosa, con microliti-

tos de 20  $\mu\text{m}$  que en algunas muestras varían gradualmente hasta alcanzar unos 130  $\mu\text{m}$  promedio. En ella se reconocen, además del cuarzo y el feldespato potásico, biotita y escasos minerales opacos que en conjunto no ocupan más del 5% del total de esta fracción. Inmersos en la pasta se reconocen también cristales de titanita y de circón que representan menos del 1% del volumen de las muestras. Según los porcentajes modales estimados todos los ejemplares extraídos de esta unidad clasifican como riolitas según la clasificación de Streckisen (1979).

Si bien el estado de preservación es bueno, las muestras evidencian reacciones de hidrólisis sobre los feldespatos para formar agregados de caolinita + sericita y una incipiente alteración de las láminas de biotita para formar clorita + minerales opacos + epidoto.

### Enclaves

Como se mencionó anteriormente una particularidad de las sierras de Ambargasta es la presencia de enclaves que si bien hasta el momento no despertaron un interés particular, tampoco pasaron desapercibidos para los investigadores que las recorrieron. Si bien en la zona que compete a este trabajo se pudo constatar la presencia de dichos enclaves dentro de todas las unidades mapeadas, la abundancia y el tamaño de los mismos dentro del dique El Pértigo adquieren mayor relevancia. Dentro de esta unidad, los mismos presentan contactos netos y tamaños que varían entre 12 y 25 cm. Destacan de la roca que los hospeda por su color negro a gris oscuro, con formas predominantemente subredondeadas o, en ocasiones, completamente irregular (Fig. 4k, l).

Se reconocieron dos familias distintas: unos de notoria textura porfírica y otros de color negro y textura afanítica. Los primeros, dadas sus texturas y su composición mineralógica, se consideran provenientes del pórfiro Cerro de los Burros que lo circunda. Sus fenocristales poseen 3 mm de largo promedio y se componen de cuarzo, plagioclasas, anfíboles y pequeñas láminas de biotitas de 0.5 mm de largo (muestra J22). La pasta de textura microgranosa ocupa aproximadamente el 50 % del volumen total y se compone de microlitos de tamaños similares al pórfiro (20  $\mu\text{m}$ ). Los enclaves afaníticos, por el contrario, son más frecuentes pero se hallan peor preservados. Presentan una textura primaria seriada (muestras J18, J19, J3b) donde la pasta ocupa entre el 70 y el 90 % del volumen total y dentro de la cual los fenocristales casi nunca superan los 2 mm. Dicha fracción se compone principalmente de cuarzo, anfíboles y feldespatos, de los cuales los dos últimos se hallan frecuentemente alterados. Resulta evidente la incorporación de cuarzo secundario en la fracción más fina y

la alteración de los anfíboles de mayor tamaño a agregados de biotita de color anaranjado y tamaño fino (muestra J19). Las pastas presentan textura microgranosa dentro de la cual se observan numerosos microlitos de biotitas, anfíboles y opacos que son los responsables de las tonalidades oscuras que estos enclaves ofrecen en muestra de mano (Fig. 4m). La variada composición mineralógica y las distintas texturas encontradas en estos enclaves de textura afanítica impiden precisar su composición primaria a partir del número de ejemplares recolectados. No obstante, la cantidad mayoritaria de minerales máficos respecto de feldespatos y cuarzo permite inferir un magma original menos diferenciado consistente con lo propuesto por Lira et al. (1997).

### Diques Toro Huañusco

Si bien no alcanzan la altura del dique El Pértigo, los diques Toro Huañusco destacan del relieve formando resaltes de decenas de metros por encima de su caja evidenciando una geometría anular constituida por, al menos, tres anillos concéntricos (Fig. 1). La cubierta regolítica que se acumula entre los diques esconde el contacto con la roca a la que intruyen, no obstante, los asomos observados en los alrededores de cada anillo evidencian la presencia de un granito que se correlacionó con la Formación Ambargasta. Macroscópicamente estos diques se componen de rocas en estado avanzado de alteración que poseen textura granosa media a fina (entre 2 y 0.5 mm) y tonalidades rojizas debidas a la abundancia de feldespatos alcalinos (Fig. 2e). Dicha tonalidad rojiza y el reducido tamaño de grano son las características más útiles para distinguirlos fácilmente del monzogranito al cual intruyen (Formación Ambargasta). Al microscopio presentan una textura granosa inequigranular en la cual el tamaño de los cristales varía, sin definir una moda, entre 2 y 0.2 mm (Fig. 2e). Sus minerales principales son ortosa (45 %), cuarzo (40 %), biotita (10 %), plagioclasa (5 %) y cantidades subordinadas de minerales opacos. El feldespato potásico alcanza el mayor tamaño dentro de los cristales (2 mm), posee formas subhedrales y una moderada alteración a arcillas (Fig. 5a). La abundancia de maclas de dos individuos y su índice de refracción pone en evidencia que se trata de cristales de ortosa, alguno de los cuales presentan microtextura perfitica. El cuarzo desarrolla formas anhedrales de menor tamaño y una extinción tipo relámpago que sugiere escasa deformación sobreimpuesta. La biotita es el máfico más abundante cuyos tamaños varían entre 1 y 1.5 mm y se hallan siempre en asociación con los minerales opacos (Fig. 5a). Por último, prismas de plagioclasa que no superan los 0.5 mm de largo promedio se reconocen por su característico maclado polisintético y una moderada alteración



**Figura 5.** a) Diques aplíticos atravesando afloramientos de los diques Toro Huañusco; b) Fotomicrografía que muestra textura y paragénesis típica de los granitoides que integran a los diques Toro Huañusco (con analizador); c) Fotomicrografía de las facies aplíticas con las dos granulometrías extremas, separadas por una línea blanca (con analizador).

a sericita (Fig. 5a). Como minerales accesorios se distinguen prismas de circones y diminutas láminas de muscovita. Sobre la base de los porcentajes modales determinados las muestras estudiadas se clasifican como granitos (campo 3a) según la clasificación de Streckeisen (1979).

Completan a esta unidad numerosos diques aplíticos que atraviesan a las facies descriptas con similar mineralogía, pero con distinta textura (Fig. 5b). Se los interpretan como diques sinmagmáticos que resultan fácilmente reconocibles debido a sus tonalidades rosadas, sus mayores tenacidades y sus texturas granosa fina (tamaño promedio inferior a los 0.5 mm (J12, Fig. 5c). Están compuestos por cuarzo (50 %), ortosa (45 %), plagioclasa (5 %) y cantidades subordinadas de minerales opacos y biotita. Los cristales de cuarzo presentan formas anhedrales y extinciones homogéneas. La ortosa posee formas subhedrales, algunos cristales presentan textura perfitica y poseen una moderada alteración a arcillas. Tanto estos últimos como el cuarzo presentan una variación en el tamaño de grano de 0.06 a 1 mm que se distribuyen en forma inhomogénea provocando sectores de distinta granulometría en el mismo preparado. La plagioclasa presenta un tamaño promedio de 0.3 mm, hábito prismático y maclado polisintético. Por último, los minerales opacos son los máficos más abundantes puesto que las biotitas se hallan solo esporádicamente en proporciones despreciables en relación con los primeros. En conjunto estos minerales ocupan un volumen inferior al 1 % y su tamaño promedio es de 0.3 mm.

## GEOQUIMICA

Con el objetivo de caracterizar geoquímicamente los esta-

dios finales del magmatismo pampeano en la región, se analizaron 15 muestras representativas del pórfido Cerro de los Burros, del dique El Pértigo y de los diques Toro Huañusco (Cuadro 1).

Las rocas del pórfido Cerro de los Burros se diferencian del resto principalmente por contenidos de  $\text{SiO}_2$  entre 65.59-70.46 %, bajos contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  (3.19-3.47 %) y mayores cantidades de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.54-3.86 %). En cuanto a sus elementos trazas, resultan relevantes las elevadas concentraciones de Ba (553-752 ppm) y Sr (80.4-172.3 ppm). Las muestras analizadas del dique El Pértigo presentan contenidos de  $\text{SiO}_2$  aún más elevados (70.28-73.29 %), mayor concentración de  $\text{K}_2\text{O}$  (3.79-4.31 %) y menor contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.19-3.04%). Sus elementos trazas evidencian menores cantidades de Ba (462-576 ppm) y Sr (101.5-114.8 ppm). Los diques Toro Huañusco poseen diferencias más significativas respecto de las unidades descriptas. Sus contenidos de  $\text{SiO}_2$  varían entre 76.28-77.13 %, poseen además elevada concentración de elementos alcalinos ( $4.2 < \text{K}_2\text{O} < 5\%$  y  $3.15 < \text{Na}_2\text{O} < 4.47$ ) y escaso contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y MgO (0.68-1.65% y 0.04-0.19%, respectivamente). Respecto del contenido de elementos traza destacan la baja concentración de Ba (176-338 ppm) y Sr (21.4-41.1 ppm); así como los elevados contenidos de W (1.8-3719.8 ppm). La tendencia evolutiva general de las tres unidades estudiadas resulta evidente al realizar los diagramas Harker de los óxidos más importantes (Fig. 6 a-d). En todos ellos las rocas hipabisales del pórfido Cerro de los Burros representan términos menos diferenciados que las muestras del dique El Pértigo, los que a su vez, son menos diferenciadas que los diques Toro Huañusco. Estos últimos muestran la misma signatura que el conjunto de granitoides más evolucionados de la sierra Norte (denominados Granitoides Subalca-

**Cuadro 1.** Composición química de las muestras estudiadas.

Unidad	pórfido Cerro de los Burros						dique El Pértigo					diques Toro Huañusco			
	Muestra	J 17*	J 6*	J 7	J 9	J 14	J 16	J2	J 4*	J 4	J 20	J 21	J 11*	J 11	J 12b
Lat. S.	29.9158	29.9081	29.9005	29.8995	29.8753	29.9142	29.9152	29.9174	29.9174	29.9235	29.9240	29.9067	29.9067	29.9067	29.9060
Long. O.	64.2143	64.2001	64.2113	64.2294	64.1833	64.2092	64.1972	64.1986	64.1987	64.2282	64.2296	64.2513	64.2513	64.2513	64.2527
SiO <sub>2</sub>	67.87	68.69	70.46	65.59	68.91	69.61	72.57	70.28	73.25	73.79	72.41	77.13	76.28	76.44	76.29
TiO <sub>2</sub>	0.37	0.33	0.39	0.44	0.45	0.43	0.29	0.24	0.24	0.23	0.27	0.05	0.06	0.05	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.52	15.43	14.22	15.38	14.85	14.16	13.56	14.2	13.18	13.11	13.33	11.25	12.62	12.21	12.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.35	3.00	3.58	2.54	3.86	3.81	3.04	2.19	2.43	2.30	2.96	0.68	0.85	0.89	1.60
MnO	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03
MgO	0.52	0.48	0.89	0.17	1.06	1.04	0.59	0.39	0.48	0.43	0.55	0.19	0.05	0.05	0.04
CaO	2.38	2.56	3.11	3.37	3.07	2.75	2.03	1.59	1.64	1.64	1.93	0.52	0.62	0.45	0.54
Na <sub>2</sub> O	5.05	4.90	3.24	1.39	3.25	3.21	3.25	5.56	3.2	3.22	3.09	4.47	3.24	3.15	3.21
K <sub>2</sub> O	3.39	3.19	3.29	3.31	3.27	3.47	3.79	3.92	4.31	4.28	4.18	4.2	4.99	5.00	4.98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.05	0.08	0.07	0.08	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.01	0.03	0.02	0.01
LOI	1.22	0.98	0.50	6.90	1.00	1.20	0.60	1.36	1.10	0.80	1.00	0.92	1.10	1.10	0.50
<b>Total</b>	<b>99.8</b>	<b>99.67</b>	<b>99.90</b>	<b>99.21</b>	<b>99.87</b>	<b>99.83</b>	<b>99.90</b>	<b>99.83</b>	<b>99.93</b>	<b>99.89</b>	<b>99.91</b>	<b>99.43</b>	<b>99.86</b>	<b>99.38</b>	<b>99.95</b>
SO <sub>3</sub>	0.05	0.05	--	--	--	--	--	0.05	--	--	--	0.05	--	--	--
Rb*	136	140	121	112.3	112.5	124.6	152.3	174	185.3	167.5	158.9	198	198	226.2	191.2
Ba*	553	612	693	752	701	649	501	462	576	530	513	290	338	176	321
Sr*	165	167	158.3	80.4	198.6	172.3	108.6	112	114.8	112.4	101.5	40	41.1	21.4	35.9
V*	13	< 10	42	51	51	47	37	< 10	22	19	24	<10	<8	<8	<8
Zr*	76	62	161.3	190.6	180.5	180.7	160.7	68	144.4	121.6	143	72	74.7	62.2	92.7
Sc*	7.9	7.1	8	9	9	9	6	5.9	5	5	6	2.9	3	4	3
Nb*	15	9.2	10.4	10.7	9.6	10.4	13	11	10.7	10.8	12.3	9.9	12.1	21.5	9.6
Be*	< 5	< 5	1	1	2	3	2	< 5	4	2	2	<5	4	<1	2
La*	26	34	40.8	50.4	33.4	37.3	42.5	26	31.8	37.5	37	15	18.9	15.6	10.3
Ce*	65	74	70.4	96.3	71.2	76.6	78.4	65	67.8	72.9	71.3	35	40.6	33.8	33.9
Nd*	20	22	29.3	35.5	26.4	30.7	32.7	19	25.2	28.4	29.3	16	20	18	11.6
Sm*	4.5	4.5	5.51	5.77	4.92	5.64	5.9	4.5	4.76	5.36	5.63	3.7	4.78	6.01	3.15
Eu*	0.93	0.98	1.11	1.12	1.09	1.08	0.89	0.82	0.85	0.85	0.89	0.53	0.53	0.27	0.46
Gd*	4.9	4.71	5.06	4.94	4.58	5.25	5.60	4.9	4.61	5.01	5.3	3.7	5.21	6.94	3.67
Dy*	3.9	3.6	4.46	4.42	4.47	5.26	5.24	4.2	4.47	5.35	5.2	3	6.15	10.14	4.69
Er*	2.5	2.1	2.86	2.34	2.8	3.03	3.56	2.6	2.67	3.25	3.57	1.9	3.88	6.51	3.10
Yb*	2.7	2.3	3.00	2.42	2.87	3.24	3.72	3.1	2.97	3.63	3.58	2.1	4.35	6.67	3.20
Y*	24.06	21	26.8	25.3	25.4	29	32.9	26	27.5	32.8	32.7	16	39.9	58.9	28.50
Lu*	0.35	0.31	0.44	0.41	0.42	0.51	0.57	0.39	0.53	0.54	0.54	0.28	0.68	1.01	0.49
Th*	11	11	13.2	15.7	14.6	15.2	16.8	13	17.4	17.6	17.4	12	17.3	23.5	27.4
U*	105	100	1.5	2.3	13.8	2.5	3.2	70	3	3.4	3.8	32	2.9	5	2.9
Zn*	52	43	--	--	--	--	--	39	--	--	--	19	--	--	--
Co*	628	53	6.6	5	7.7	7.8	4.5	36	4	3	4	69	66	441	1.5
Ga*	--	--	14.8	18.7	16.5	15.8	15.0	--	14.7	13.3	13.7	--	12.9	13.6	12
Sn*	--	--	2	3	3	3	4	--	4	4	4	--	2	3	2
Cs*	--	--	4.2	6.7	3.5	4.3	6.5	--	6.7	5.9	5.3	--	8.3	5.9	5.3
Hf*	--	--	4.8	5.7	5.7	5.5	5.1	--	4.7	4.1	4.3	--	3.7	3.3	4.0
Ta*	--	--	0.8	0.9	0.7	1	1	--	1.1	1.1	1	--	2.3	3	1.1
W*	--	--	1.2	1.5	1.9	2.1	0.9	--	2.2	1.8	3.6	--	595.6	3719.8	1.8
Pr*	5.6	6.5	8.52	9.96	7.43	8.5	9.22	5.6	7.23	8.15	8.42	3.9	5.17	4.65	2.89
Tb*	0.64	0.58	0.77	0.81	0.76	0.88	0.87	0.66	0.78	0.87	0.83	0.48	0.99	1.52	0.71
Ho*	0.75	0.66	0.97	0.81	0.9	0.98	1.12	0.81	0.91	1.06	1.15	0.56	1.29	2.2	0.98
Tm*	0.34	0.3	0.43	0.37	0.42	0.47	0.54	0.38	0.45	0.52	0.53	0.27	0.61	1.06	0.47
Li*	34	34	--	--	--	--	--	41	--	--	--	30	--	--	--

Las muestras de código J4\*, J17\* y J6\* fueron analizadas en los laboratorios del INTEMIN (SEGEMAR), las restantes en *Bureau Veritas Minerals Laboratories* (Australia). Los elementos Cr, Ni, Cu, As, Mo, Ag, Sb, Tl, Pb, Bi y Cd, si bien fueron analizados, se eliminaron del cuadro por presentar valores por debajo del límite de detección. Los decimales fueron ajustados al error de cada óxido/elemento (0.01% para los elementos mayoritarios, 0.005% para el TiO<sub>2</sub> y 0.1ppm para la mayoría de los elementos traza). Los elementos mayoritarios se expresan en % en peso, mientras que los elementos traza (identificados con un asterisco) en ppm.

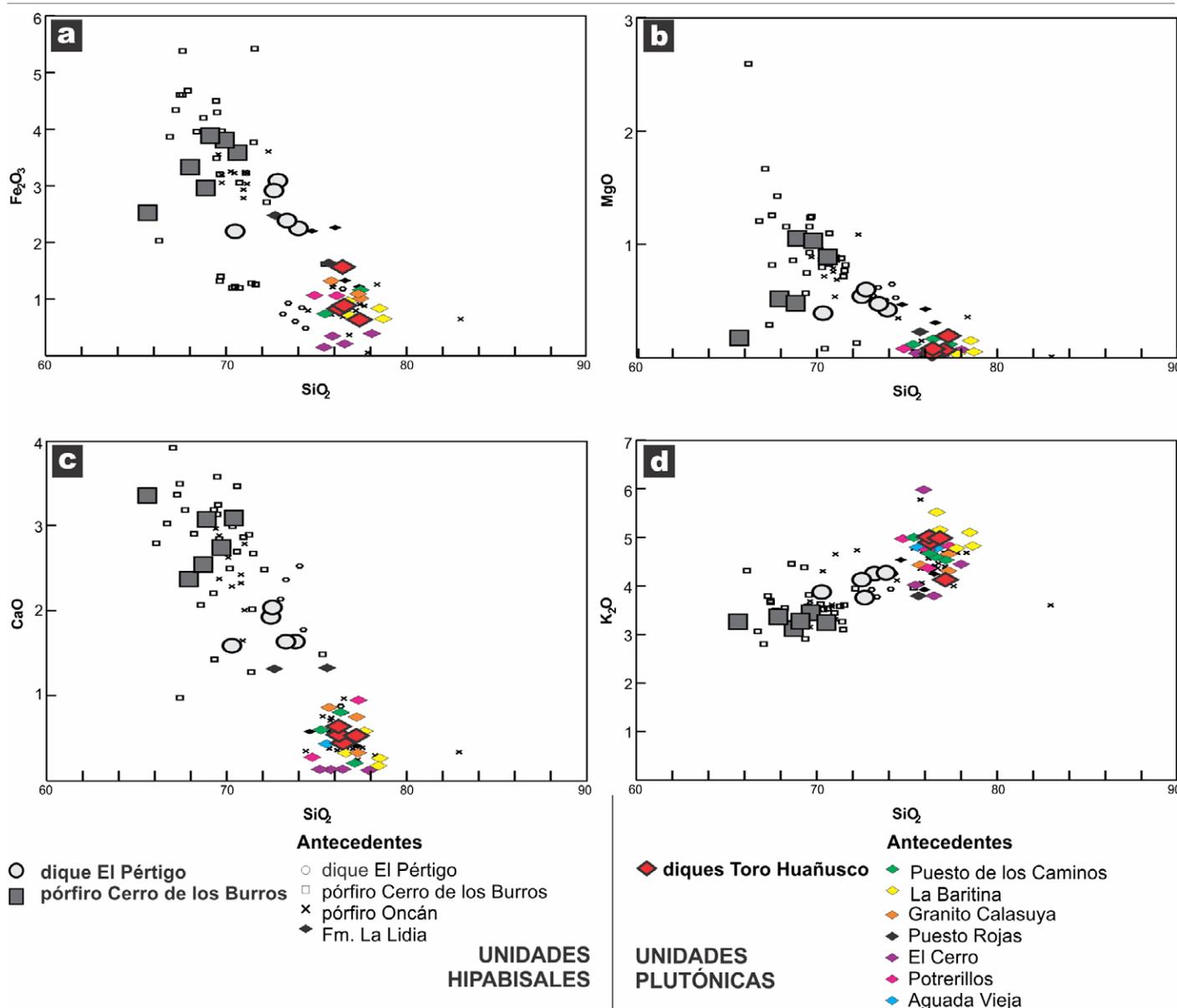
linos Altamente Evolucionados por Lira et al. 1997). La misma figura permite comprobar que los resultados obtenidos son, además, consistentes con los análisis previos compilados de los antecedentes.

Respecto de los diagramas de discriminación geoquímica, las muestras del pórfiro Cerro de los Burros, el dique El Pértigo y los diques Toro Huañusco poseen una composición subcalina y el mismo tren evolutivo observado en los diagramas Harker; lo que además se condice con las paragénesis observadas y con lo expuesto en trabajos previos (Fig. 7a, Gordillo 1955, Bonalumi 1988, Lira et al. 1997, Leal 2002). La mayor dispersión de los análisis compilados para el pórfiro Cerro de los Burros sustenta también las observaciones petrográficas que destacan variaciones texturales en la pasta y

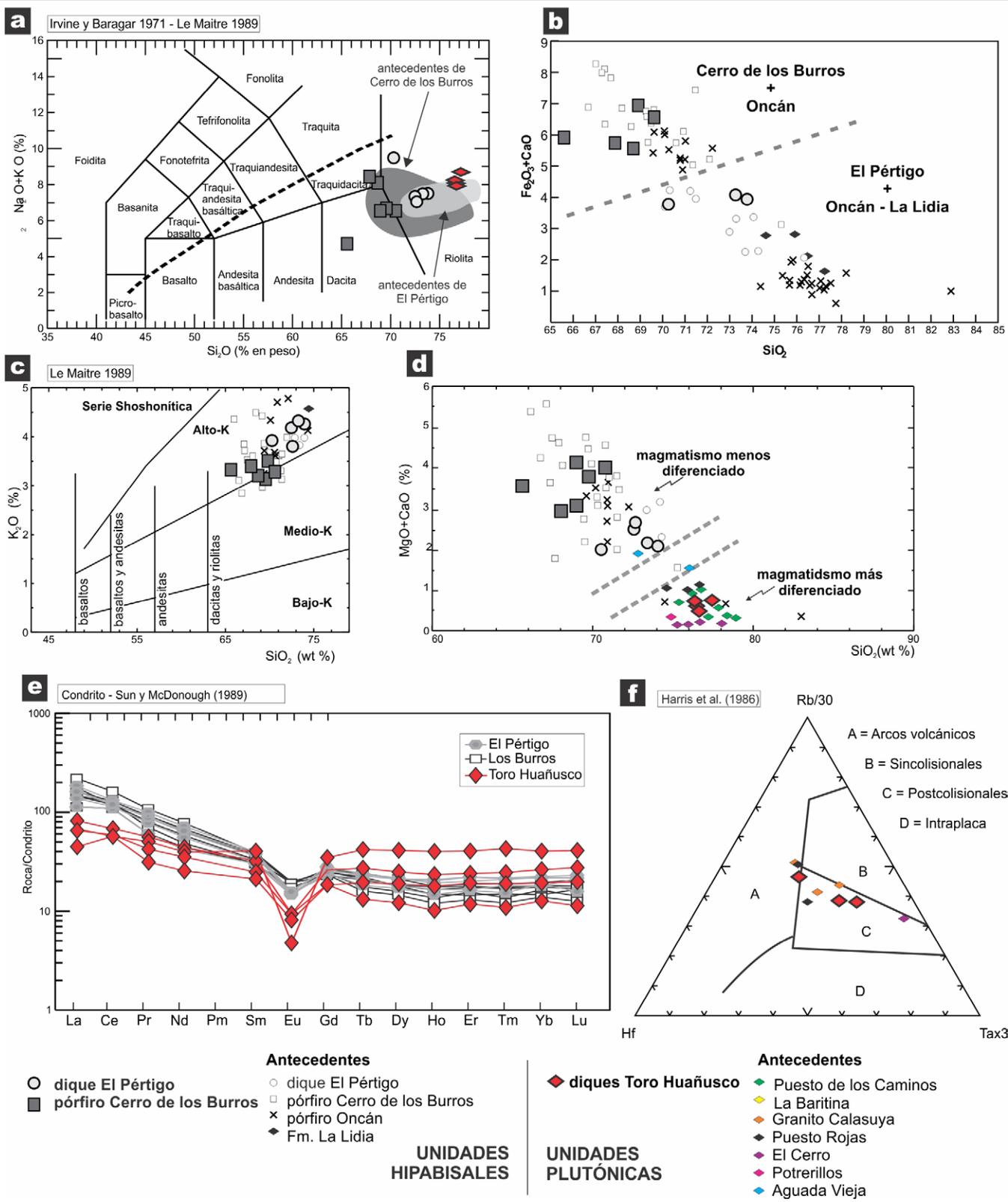
fracciones de fenocristales con distinta proporción de cuarzo y feldespatos.

El carácter más evolucionado del dique El Pértigo respecto del pórfiro Cerro de los Burros adquiere mayor notoriedad si se compara la concentración de  $\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  vs  $\text{SiO}_2$  (Fig. 7b). En esta última figura se observa que no existe superposición entre los campos que incluyen a ambas unidades. Por el contrario, las muestras de la unidad pórfido granítico Oncán poseen una variación composicional con una distribución bimodal que se solapa con todas las muestras representadas. Por otro lado, acorde con lo obtenido por Lira et al. (1997), todas las unidades consideradas se ubican en el campo de alto potasio (Fig. 7c) de Le Maitre (1989).

Al estudiar los distintos términos evolutivos del arco Pam-



**Figura 6.** Diagramas Harker más relevantes de las tres unidades estudiadas. Se incluyen también todos los análisis previos de las mismas y los análisis de las unidades equivalentes. a)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vs  $\text{SiO}_2$ ; b)  $\text{MgO}$  vs  $\text{SiO}_2$ ; c)  $\text{CaO}$  vs  $\text{SiO}_2$ ; d)  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$ .



**Figura 7.** a) Diagrama *Total Alkali-Silica* (TAS) de Le Maitre et al. (1989) con separación de los campos alcalino y subalcalino de Irvine y Baragar (1971); b) Diagrama de  $Fe_2O_3 + CaO$  vs  $SiO_2$  donde se observa una separación en dos poblaciones de las muestras analizadas; c) Diagrama  $K_2O$  vs  $SiO_2$  para discriminar la serie subalcalina de Le Maitre et al. (1989); d) Diagrama de  $MgO + CaO$  vs  $SiO_2$  donde se observa un gap composicional de las rocas del arco Pampeano; e) Diagrama de Tierras Raras normalizado al condrito según Sun y McDonough (1989); f) Diagrama de Harris et al. (1986) donde se observa la impronta postcolisional de las muestras de los diques Toro Huañusco. Según el caso, se graficaron las muestras de este trabajo junto con los valores obtenidos de los antecedentes descritos en el texto.

peano, mediante diagramas Harker, Lira et al. (1997) determinaron la existencia de un gap composicional en el tren de diferenciación entre los 74 y 75 % de  $\text{SiO}_2$  que atribuyeron a la ausencia de magmatismo sincollisional. Al graficar la relación  $\text{MgO} + \text{CaO}$  vs  $\text{SiO}_2$  se observa también dos grupos separados de muestras que permiten discriminar entre los granitoides pos-collisionales (diques Toro Huañusco) del magmatismo de arco (pórfiro Cerro de los Burros y dique El Pértigo, Fig. 7d). La misma figura muestra que la composición geoquímica de los diques Toro Huañusco es similar a la de los granitoides postcollisionales, tal como fuera expuesto por Lira et al. (2014). Sobre la base de esta correlación los diques serían la expresión más austral de los granitos Puesto de Los Caminos.

El patrón de tierras raras, normalizadas a condrito (Sun y McDonough 1989), muestra un claro empobrecimiento de Eu en todas las muestras estudiadas debido al fraccionamiento de plagioclasas (Fig. 7e). Esta anomalía negativa se hace más significativa para las muestras de los diques Toro Huañusco, consistente con la impronta del resto de los plutones postcollisionales de la región occidental (Lira et al. 2014). Al mismo tiempo, la figura permite observar que dichos diques evidencian patrones más horizontales, con menor contenido en LREE.

Por último, al graficar los granitoides en el diagrama de Harris et al. (1986) se observa que todas las muestras se ubican en el campo que corresponde a los granitoides postcollisionales, al igual que el conjunto de plutones generados durante la etapa póstuma de la orogenia Pampeana (Fig. 7f).

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, todas las rocas aflorantes en los alrededores de El Jarrillal pertenecen al Complejo Ígneo Ojo de Agua-Ambargasta en el sentido amplio descrito por Miró y Sapp (2001) que en su conjunto muestran el desarrollo del magmatismo asociado a un único ciclo orogénico (Pampeano) compuesto por varias etapas.

Dentro de este marco general de coincidencias, el área de estudio presenta algunas diferencias importantes de resaltar. En lo que refiere a las rocas plutónicas, las muestras estudiadas coinciden petrográficamente con los antecedentes regionales (Miró y Sapp 2001, Lira et al. 1997, 2014); solo que en el mapeo a escala menor se pudo observar que la Formación Ambargasta posee una extensión mayor en lo que se suponía era dominio de la unidad Granodiorita Tres Lomitas, tal como fuera parcialmente indicado en el mapa realizado por

Lira et al. (2014). Una mención aparte merecen los diques anulares de la unidad Toro Huañusco cuya petrografía muestra una gran similitud petrológica con las unidades más evolucionadas (Granitoides Subalcalinos Altamente Evolucionados según Lira et al. 1997), y en particular con rocas de la Formación Puesto de Los Caminos que afloran pocos kilómetros al noreste del área de estudio. Al mismo tiempo, la composición química evidencia una impronta subalcalina, de carácter más evolucionado que el plutón que lo hospeda y un ambiente postcollisional de formación. Estas características son idénticas a las que poseen el conjunto de los granitos subalcalinos altamente evolucionados que se asocian a los últimos diferenciados ácidos del evento magmático Pampeano.

En cuanto a las rocas hipabisales, tal como se ha mencionado, del pórfido Cerro de los Burros solo existen estudios de sus afloramientos más australes donde su composición varía de dacita a riolita (Lira et al. 1997, Miró y Sapp 2001, Leal 2002). En la zona que compete a este trabajo en particular, solo afloran rocas de composición riolítica que presentan variaciones texturales más que mineralógicas hacia el extremo noreste, posiblemente como resultado de diferentes velocidades de enfriamiento. No obstante, dada la extensa cubierta vegetal, resulta probable que estudios de mayor detalle encuentren mayor variación composicional.

El análisis del dique El Pértigo permitió establecer criterios más claros para su reconocimiento. Acorde con las observaciones realizadas por Gordillo (1955) el dique El Pértigo posee ortoclasa como fenocristal, mayor porcentaje de minerales máficos y mayor granulometría de la pasta que el pórfiro Cerro de los Burros. Su impronta geoquímica sustenta la hipótesis que lo interpreta como una fase más evolucionada del mismo magmatismo que generó a dicho pórfiro, algo que fue postulado previamente por Gordillo (1855) y O'Leary et al. (2014). Esta sucesión temporal se sustenta también por el límite estructural que ejerce el pórfiro Cerro de los Burros al afloramiento del dique y por los enclaves de dicho pórfiro dentro del mismo dique El Pértigo. Al mismo tiempo, no se han encontrado suficientes coincidencias mineralógicas, texturales o geoquímicas que permitan correlacionarlos con el pórfido granítico Oncán según lo postulado por otros autores (Miró y Sapp 2001).

La figura 8 resume la secuencia cronológica de las unidades estudiadas sobre la base de los datos de campo y las edades compiladas en función de su saturación en sílice; intentando incluir a todas las unidades magmáticas que se habrían originado durante el ciclo orogénico en sentido amplio. Las edades determinadas mediante K/Ar no fueron consideradas por la gran dispersión de sus resultados. Puesto que

aún no existen datos geocronológicos para los diques Toro Huañusco, ni para el dique El Pértigo, la sucesión cronológica postulada se basa en observaciones de campo, en la petrografía, en la geoquímica y en las correlaciones estratigráficas. Este esquema pone en evidencia una incongruencia respecto de las edades determinadas y la secuencia evolutiva propuesta.

Según la figura 8 la Formación Puesto de Los Caminos (~523 Ma), y sus equivalentes, se habrían emplazado al mismo tiempo que el pórfiro Cerro de los Burros (557 - 512 Ma) lo cual contradice el carácter más diferenciado (poscolisional) de los primeros respecto de los últimos (volcanismo de arco). Una posible explicación se desprende de la gran dispersión de datos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos del pórfiro Cerro de los Burros. Es probable que esta unidad esté compuesta por varios pulsos de edades y composiciones distintas que representan etapas evolutivas diferentes y por lo tanto no deban incluirse dentro de una misma unidad. Debemos considerar, que las dimensiones regionales de estas unidades requieren de un volumen sustancialmente mayor de datos para poder precisar el rango geocronológico exacto de cada una. Si bien esta cronología de eventos goza del consenso general de los investigadores que trabajan en la Sierra Norte, nos resta por delante incrementar significativamente el número de dataciones para definir con precisión todas las etapas del arco Pampeano.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo debe su realización al financiamiento otorgado por la Universidad de Buenos Aires a través del subsidio 20020150100192BA y a los recursos prestados por el SEGE-MAR. Los autores expresamos un sincero agradecimiento a los Dres. Grosse P., Díaz Alvarado J. y Mónica López de Luchi cuyas correcciones nos permitieron mejorar sustancialmente la versión original.

## REFERENCIAS

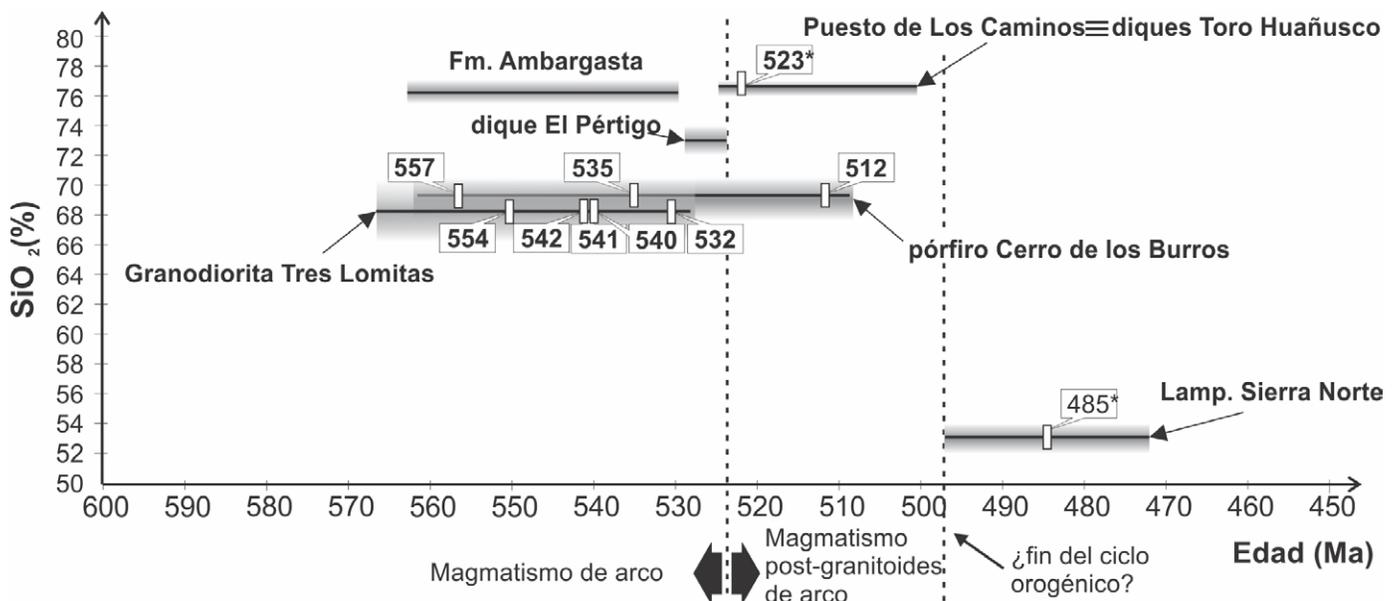
Aceñolaza, F. y Toselli, A. 1982. Early Paleozoic orogeny in southern America. *Precambrian Research* 17: 133-146.

Baldo, E.G., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J. y Mazieri, C. 1998. Granito "El Cerro," magmatismo colisional famatiniano en el sector austral de la Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 374-378, Buenos Aires.

Beder, R. 1931. Los yacimientos de minerales de manganeso en el norte de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero. *Anales del Museo Nacional de Historia Natural* 36: 431-504.

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. 5° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 47-61, Santiago.

Castellote, P. 1978. Estudio geológico del extremo norte de la sierra de



**Figura 8.** Edades vs saturación en sílice de las distintas unidades de la orogenia Pampeana presentes en el área de estudio y sus alrededores. Las edades fueron extraídas de Millone et al. (2003), O'Leary et al. (2009), Miró et al. (2005), Söllner et al. (2000), Leal et al. (2003) y Schwartz et al. (2003, 2008). La línea de saturación en sílice expresa el valor medio entre los cuartiles 10 y 90, de todos los análisis compilados para cada unidad. El área sombreada indica la desviación hasta los cuartiles 25 y 75. Las edades con asterisco (\*) son de tipo Rb/Sr en roca total, el resto son todas edades U/Pb en circones.

- Ambargasta (provincia de Santiago del Estero). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tucumán (inédita), San Miguel de Tucumán.
- Castellote, P. 1982. La Formación La Clemira y edad de su metamorfismo. *Acta Geológica Lilloana* 16(1): 71-76.
- Castellote, P. 1985a. La formación "Pozo del Macho", integrante del basamento metamórfico de la sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero. *Acta Geológica Lilloana* 16(2): 275-280.
- Castellote, P. 1985b. Algunas observaciones geológicas en las sierras de Ambargasta y Sumampa (provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana* 16(2): 259-269.
- Castellote, P. 1989. Estudio geológico y geocronológico del basamento cristalino del sector septentrional de la sierra Norte de Córdoba. *Acta Geológica Lilloana* 17(1): 61-66.
- Correa, M.J. 2003. La mineralización de manganeso en el distrito El Remanso y sus relaciones metalogenéticas, Sierras Pampeanas Orientales, provincia de Santiago del Estero. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (Inédita), 189 p., La Plata.
- Elortegui Palacios, J., Lira, R., Poklepovic, F. y Dorais, M.J. 2008. El Granito Calasuya: un intrusivo alcalifeldespático postcolisional en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(3): 299-309.
- Franchini, M., Lira, R., Meinert, L., Ríos, F.J., Poklepovic, M.F., Impiccini, A. y Millone, H. A. 2005. Na-Fe-Ca alteration and LREE (Th-Nb) mineralization in marble and granitoids of Sierra de Sumampa, Santiago del Estero, Argentina. *Economic Geology* 100(4): 733-764.
- González, R.R., Cabrera, M., Bortolotti, P., Castellote, P., Cuenya, M., Omil, M., Moyano, M. y Ojeda J. 1985. La actividad eruptiva en Sierras Pampeanas. Esquematización geográfica y temporal. *Acta Geológica Lilloana* 16(2): 289-318.
- Gordillo, C.E. 1955. Estudio químico-petrográfico del cerro "El Pértigo" y las rocas magmáticas vecinas. Sierra Norte de Córdoba. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba* 14(3.4): 755-780.
- Harris, N.B., Pearce, J.A. y Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. En: Coward, M. P. y Ries A. C. (eds.), *Collision Tectonics*. Geological Society of London, Special Publication 19(1): 67-81.
- Irvine, T.N. y Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the geochemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Juárez, P.D. 2016. Geología del dique Rioliótico El Pértigo y sus alrededores. Trabajo final de licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédito), 87 p., Buenos Aires.
- Koukharsky, M., Munizaga, F., Leal, P.R., Correa, M.J. y Brodtkorb, M. 1999. New K/Ar ages in the Ambargasta and Norte de Córdoba ranges, Argentina. 2° South American Symposium on Isotope Geology, *Actas* 2: 76-77, Córdoba.
- Koukharsky, M., Brodtkorb, M.K., Ramos, V.A., Kay, S.M. y Leal, P.R. 2002. Magmatismo básico y ultrabásico del Neopaleozoico en las Sierras Pampeanas y regiones aledañas. 15° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 3: 105-110, El Calafate.
- Koukharsky, M., Brodtkorb, M.K., Kay, S.M. y Munizaga, F. 2003. La Formación Balbuena, integrante del arco magmático pampeano en la sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5(3): 81-110.
- Leal, P.R. 2002. Petrología de las rocas ígneas que albergan a la mineralización de manganeso del norte de la provincia de Córdoba. 15° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 2: 3-8, El Calafate.
- Leal, P.R., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., Miró, R.C y Ramos, V.A. 2003. Volcanismo postorogénico en el extremo norte de las Sierras Pampeanas Orientales: nuevos datos geocronológicos y sus implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (4): 593-607.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. y Zanettin, B. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell Scientific Publications 193p., Oxford.
- Lira, R. Millone, H., Kirschbaum, A. y 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. y Dorais, M.J. 2007. Solid inclusions of magmatic halite and sylvite in felsic granitoids, Sierra Norte, Córdoba, Argentina. *Lithos* 99(3-4): 363-384.
- Lira, R., Poklepovic, M.F. y O'leary, M.S. 2014. El magmatismo cámbrico en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta. 19° Congreso Geológico Argentino, *Relatorio*: 183-215 Córdoba.
- Lucero, H.N., 1969. Descripción Geológica de la Hoja 16 h, Pozo Grande y 17 h, Chuña Huasi. Provincias de Córdoba y Santiago del Estero. Servicio Nacional Minero Geológico. *Boletín* 107:1- 50, Buenos Aires.
- Lucero, H.N., 1979. Sierras Pampeanas del norte de Córdoba, sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. 2° Simposio de Geología Regional Argentina, *Actas* 1: 293-347, Córdoba.
- Massabie, A., Mutti, D. y Nestiero, O. 2002. Edad, afinidades geoquímicas y tectónicas del pórfido rioliótico de La Lidia, Sierra Norte de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(1): 80-84.
- Millone, H.A., Tassinari, C.C.G., Lira, R. y Poklepovic, M.F. 2003. Age and strontium-neodymium isotope geochemistry of granitoids of the Sierra Norte-Ambargasta batholith, central Argentina. 4° South American Symposium on Isotope Geology, *Actas* 2: 617-620, Salvador de Bahía.
- Miró, R.C. y Sapp, M. 2001. Hoja Geológica 2963-III Villa Ojo de Agua, provincias de Santiago del Estero y Córdoba. Servicio Geológico Nacional, *Boletín* 315: 1-59, Buenos Aires.
- Miró, R., Schwartz, C. y Gromet, J. 2005. Magmatismo calcoalcalino en la Sierra Norte de Córdoba. Su extensión temporal. En Aceñolaza,

- F. G., Aceñolaza, G. F., Hünicken, M. y Toselli, A. J. (eds), Simposio Bodenbender. INSUGEO, Serie Correlación Geológica 19:199-210, Tucumán
- O'Leary, M.S., Tassinari, C.C.G. y Lira, R. 2006. Sr, Pb, and Nd isotopic signature of calc-alkaline porphyry dykes from the Sierra Norte-Ambargasta batholith, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. 5° South American Symposium on Isotope Geology, Short papers: 408-411, Punta del Este.
- O'Leary, M.S., Lira, R., Dorais, M.J. y Tassinari, C.C.G. 2009. Post-collisional lamprophyric event in Sierra Norte, Cordoba, Argentina: mineralogical, geochemical and isotopic characteristics. *Journal of South American Earth Sciences* 28(3): 277-287.
- O'Leary, M.S., Lira, R. y Poklepovic, M. F. 2014. Volcanismo y subvolcanismo cámbrico del sector centro-oeste del batolito de Sierra Norte-Ambargasta. 19° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 217-232, Córdoba.
- Poklepovic, M.F., Lira, R., Dorais, M.J. y Millone, H.A. 2005. Consideraciones geobarométricas de los granitoides calco-alcalinos del batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 619-626, La Plata.
- Quartino, B.J., Massabie, A.C. y Morelli, J.R. 1978. Formaciones Eopaleozoicas en el norte de Córdoba y sur de Santiago del estero, su magmatismo y significado geológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 33: 90-92
- Quartino, B.J. y Quartino, G.P. 1996. Las Sierras Australes de Santiago del Estero. Caracteres diferenciales e interpretación. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 563-574, Buenos Aires.
- Ramos, V., Vujovich, G., Martino, R. y Otamendi, J. 2010. Pampia: a large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. *Journal of Geodynamics* 50: 243-255.
- Ramos, V.A., Escayola, M., Leal, P., Pimentel, M.M. y Santos, J.O. 2015. The late stages of the Pampean orogeny, Córdoba (Argentina): Evidence of postcollisional Early Cambrian slab break-off magmatism. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 351-364.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J. y Bonalumi, A.A. 1991. Edad y geoquímica del pórfiro granítico de Oncán, sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 19-22, Viña del Mar.
- Rapela, C.W., Verdecchia, S.O., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Baldo, E.G., Galindo, C. y Fanning, C.M. 2016. Identifying Laurentian and SW Gondwana sources in the Neoproterozoic to Early Paleozoic metasedimentary rocks of the Sierras Pampeanas: Paleogeographic and tectonic implications. *Gondwana Research* 32: 193-212.
- Schwartz, J.J., Gromet L.P. y Miro, R. 2003. Neoproterozoic-Early Cambrian calc-alkaline magmatism in the eastern Sierras Pampeanas, Argentina: U-P zircon and isotopic constrains. *GSA Abstracts and Programs* 34(7): 345, Seattle.
- Schwartz, J.J., Gromet L.P. y Miro, R. 2008. Timing and duration of the calc-alkaline arc of the Pampean Orogeny: Implications for the Late Neoproterozoic to Cambrian evolution of western Gondwana. *The Journal of Geology* 116: 39-61.
- Sims, J., Ireland, T.R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R., Stuart-Smith, P.G. y Miro, 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. J. y Rapela, C. W.(eds), *The proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publications 142: 259-281, London.
- Söllner, F., Leal, P.R., Miller, H. y Brodtkorb, M.K. 2000. Edades U/Pb en circones de la riocita de la Sierra de Ambargasta, Provincia de Córdoba. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 6: 465-469, La Plata.
- Steenken, A., López de Luchi, M.G., Siegesmund, S., Wemmer, K., Pawlig, S. 2004. Crustal provenance and cooling of the basement complexes of the Sierra de San Luis: an insight into the tectonic history of the proto-Andean margin of Gondwana. *Gondwana Research* 7(4): 1171-1195.
- Streckeisen, A.L. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks: recommendations and suggestions of the IUGS subcomisión on the systematic of igneous rocks. *Geology* 7: 331-335.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. y Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London, Special Publication 42: 313-345.
- Videla, J. 1944 Observaciones geológicas en la sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero. Museo de Mineralogía y Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (inérito), 53 p., Córdoba.
- Whitney, D.L. y Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95:185-187.