

LOS GRANITOIDES FAMATINIANOS DEL SECTOR SUROCCIDENTAL DE LA SIERRA DE SAN LUIS: CLASIFICACIÓN Y GEOTERMOMETRÍA

Augusto MOROSINI^{1,2}, Ariel ORTIZ SUÁREZ¹ y Gabriel RAMOS¹

¹ Universidad Nacional de San Luis.

² Conicet. Email: afmorosi@unsl.edu.ar

RESUMEN

En el sector suroccidental de la sierra de San Luis se reconocen varios plutones pertenecientes a un antiguo arco magmático, emplazados en rocas metamórficas de facies esquistos verdes a anfibolitas bajas e interpretados como pre-oclóyicos, dentro del ciclo orogénico famatiniano. El estudio cartográfico, petrográfico y de microanálisis químicos en feldespatos ha permitido realizar una clasificación de las rocas plutónicas del área y ha sido la base para realizar una propuesta de la historia de enfriamiento y emplazamiento de las diferentes facies. Los resultados de microanálisis químicos en feldespatos muestran que existe una gran variación en el contenido de An de las plagioclasas de la serie máfica con respecto a las de la serie félsica, indicando una variación de temperaturas en un rango que va desde los 1.100° a 748°C respectivamente, y un probable origen diferente de los magmas. Los datos fueron modelizados y ajustados a diagramas teóricos preexistentes de isoterma para el sistema or-ab-an y para una presión interna de H₂O de 5.000 barías, es decir, se consideró un pseudo-sistema isobárico.

Palabras clave: *Basamento, Rocas plutónicas, Plagioclasas, Microanálisis, Temperaturas.*

ABSTRACT: *The Famatinian granitoids of the southwestern sector of Sierra de San Luis: Classification and geothermometry.* Several plutons belonging to an old magmatic arc are recognized in the southwestern of the Sierra de San Luis. They are emplaced in metamorphic rocks of greenschist to lower amphibolites facies, and interpreted as pre-ocloyic, older than 460 Ma, within the Famatinian orogenic cycle. The mapping, petrographic study, and chemical microanalysis in feldspars, have enabled a classification of the plutonic rocks of the area and have revealed part of the history of cooling and emplacement of the different facies. Also, the chemical microanalysis in feldspars shows that there is great variation in the An content of plagioclase in the mafic series, in comparison with those of the felsic series, indicating a variation in the range of temperatures from 1100° to 748° C respectively, and a probably different origin of magmas. The data were modeled and adjusted to existing theoretical diagrams of isotherms for the system or-ab-an, and for an internal pressure of H₂O 5000 bars (pseudo-isobaric system).

Keywords: *Basement, Plutonic rocks, Plagioclases, Microanalysis, Temperatures.*

INTRODUCCIÓN

La sierra de San Luis pertenece al sector austral de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Orientales (Caminos 1979). Es un bloque de basamento cristalino, basculado por un frente occidental de fallamiento inverso de alto ángulo, neógeno, que se sobreimpone a fajas de cizallas dúctil preexistentes. Posee una orientación general noreste, 160 km de largo y 80 km de ancho aproximadamente. El basamento de esta sierra está integrado por rocas metamórficas de edad precámbrica-paleozoica inferior, que varían desde bajo a alto grado. Las mismas han sido agrupadas en complejos y formaciones según varios autores (Prozzi y

Ramos 1988, Sims *et al.* 1998, von Gosen y Prozzi 1998). La intrusión de los granitoides ha sido interpretada como pre-cinemática, sin-cinemática y post-cinemática en relación a la fase orogénica principal del ciclo Famatiniano (Ortiz Suárez *et al.* 1992), considerando el clímax tectono-metamórfico, cuya edad se encuentra en torno a los 460 y 480 Ma (Llambías *et al.* 1991, Sims *et al.* 1998). Posteriormente fueron reclasificados como pre-orogénicos, sin-orogénicos y tardío a post-orogénicos (Sato *et al.* 2003), mientras que trabajos más recientes los han reagrupado en dos suites ordovícicas y dos suites devónicas, considerando un carácter sincinemático en todos los casos (López de Luchi *et al.* 2007).

El área de estudio abarca el sector suroccidental de dicha sierra (Fig. 1). Allí los granitoides están emplazados en condiciones metamórficas de grado medio, en facies anfibolitas bajas a esquistos verdes. Estos plutones fueron interpretados por Sato *et al.* (1996) como pre-oclóyicos y corresponden a un arco magmático asociado a los primeros estadios del ciclo Famatiniano (Sato *et al.* 2003, Brogioni *et al.* 2005).

La distribución espacial y temporal de las rocas correspondientes al plutón La Escalerilla ha sido motivo de discusión. Ortiz Suárez *et al.* (1992) lo interpretaron como un cuerpo precinemático, es decir, previo al pico de metamorfismo y deformación, aunque, su relación axial (52 km

por 2-3 km) permitió, a dichos autores, considerar una componente sin-cinemática para su emplazamiento. Sims *et al.* (1998) dieron a conocer una edad U-Pb SHRIMP en circón de 403 ± 6 Ma de una roca de la zona sur del plutón La Escalerilla, por lo que interpretaron que dicho plutón pertenecía a los granitoides devónico-carboníferos, o a lo que denominaron orogénia Achaliana. Posteriormente von Gosen *et al.* (2002) obtuvieron una edad de 507 ± 24 Ma por el método U-Pb convencional en circones, en el sector norte, reubicándolo junto con los granitoides pre-orogénicos y proponiendo la existencia de un granito más joven en la zona sur denominado El Volcán, el cual fue cartografiado y descrito por Morosini y Ortiz Suárez (2005), bajo el nombre de Granito Los Puquios y correspondería al magmatismo tardío a post-orogénico famatiniano. Brogioni *et al.* (2005) ubican al sector norte del granito La Escalerilla dentro de un magmatismo de arco pre-deformacional y relacionado a la subducción de Cuyania por debajo del terreno pampeano. En contraparte, López de Luchi *et al.* (2007), interpretan al plutón La Escalerilla como perteneciente a la suite granítica sin-cinemática del ciclo orogénico achaliano cuya edad propuesta corresponde al Devónico.

La cartografía, el estudio petrográfico y el microanálisis químico de feldespatos en los plutones del área, han permitido realizar una nueva discriminación de las diferentes facies presentes. Dichos estudios remarcan, entre otras cosas, algunas diferencias entre la porción norte y sur del plutón La Escalerilla, y evidencian la presencia de nuevas facies máficas, especialmente en el sector centro-occidental del mismo.

El presente trabajo tiene como objetivo ordenar e interpretar las distintas unidades de los granitoides presentes en la región suroccidental de la sierra de San Luis, sobre la base del análisis de la geología de campo, petrografía y química de los feldespatos. Las variaciones en la concentración de or-ab-an han favorecido el trazado de nuevos límites entre las facies,

permitiendo también conocer parte de la historia de enfriamiento y su vinculación a los procesos de cristalización fraccionada (texturas de equilibrio térmico) y exsolución intra e intercrystalina (texturas de disequilibrio térmico). Dichos procesos se relacionan con el emplazamiento y posterior deformación que han sufrido los plutones durante el ciclo orogénico famatiniano.

Se ha considerado que la cantidad de An presente en las plagioclasas, es función directa de la temperatura de cierre cristalino en el magma, razón por la cual, esta metodología de clasificación apunta a discriminar las variaciones en las temperaturas de cristalización o recristalización de las diferentes facies, según sea el caso, considerando una presión constante, y no a cuantificar la temperatura real de cierre del sistema cristalino de cada una.

MÉTODOS UTILIZADOS

La región estudiada fue cartografiada a escala 1:50.000 y sobre rocas seleccionadas se realizaron secciones delgadas y pulidas de 21 muestras pertenecientes a los granitoides de la región (Fig. 1). Las mismas fueron analizadas petrográficamente, determinando a través de un contador de puntos las proporciones modales de minerales para su primera clasificación de facies, en el diagrama QAP (Cuadro 1 y Fig. 2a).

Para el análisis químico de los feldespatos se utilizó una Microsonda Electrónica CAMECA SX100, perteneciente a la Universidad de Oviedo, España. Las condiciones analíticas fueron una intensidad de corriente del haz de electrones de 15 nA con un voltaje de aceleración de 15 keV. El tamaño de sonda de electrones incidentes (*probe size*) fue de $1 \mu\text{m}$, con un tiempo de análisis de 10s *peak* / 5s *background*. Se utilizó el modelo de corrección PAP, y los patrones utilizados fueron una combinación de silicatos y óxidos.

Se obtuvieron análisis de 207 puntos de perfiles en plagioclasas y 83 en feldespatos potásicos, de los cuales solo se han graficado los promedios (Cuadros 2 a, b

y 3). Los valores de porcentaje en óxidos fueron recalculados estequiométricamente para determinar los porcentajes en peso de or-ab-an mediante sus fórmulas KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ respectivamente, y fueron ploteados mediante el *software Triplot* 2.0 como se muestra en la figura 2b.

Los resultados se ajustaron al diagrama de isoterms de Yoder *et al.* (1957), para la fase sólida en el sistema Or-Ab-An, con una presión interna de H_2O de 5.000 barías, por lo cual se han normalizado los valores para un sistema cerrado con una presión interna de H_2O constante (sistema isobárico).

Con el objeto de determinar la historia de enfriamiento, en función de la composición An-Ab, y su relación con los procesos genéticos de las diferentes facies, se obtuvieron imágenes de electrones retrodifundidos de algunos ejemplares de plagioclasas que muestran texturas de equilibrio intermitente, como bordes de crecimiento cíclico, y texturas de disequilibrio térmico como micro-fracturamiento y exsolución (Fig. 3).

Algunos resultados fueron interpretados en el diagrama de fases T° - % peso de an, para una presión interna de H_2O de 5000 barías, tomado de Kerr (1965), Maløe (1985) y Deer *et al.* (1992) (Fig. 4). Se utilizaron los índices de color para rocas plutónicas propuestos por Streckeisen (1976) y las abreviaturas de minerales propuestas por Kretz (1983).

CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS GRANITOIDES

Parte de los granitoides del área han sido agrupados por Sato *et al.* (1996) como tonalitas y granitos pre-oclóyicos (Tonalita Las Verbenas, Tonalita Bemberg, Tonalita Gasparillo y Granito La Escalerilla). Estos autores muestran una síntesis de las características petrográficas principales y una integración de datos geoquímicos preexistentes. Por su parte, Brogioni *et al.* (2005) en base al estudio modal, clasifica a los granitoides de la zona norte

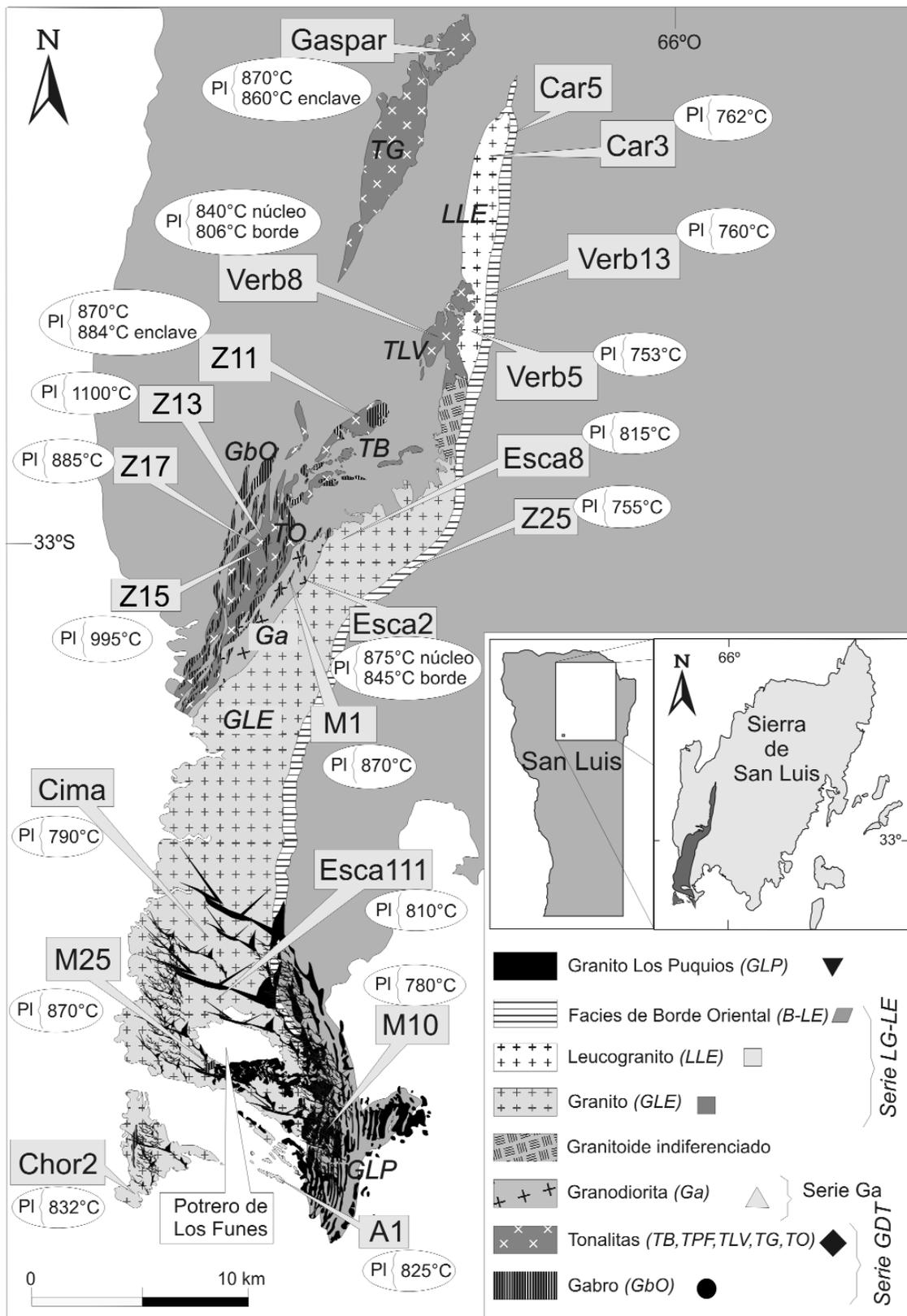


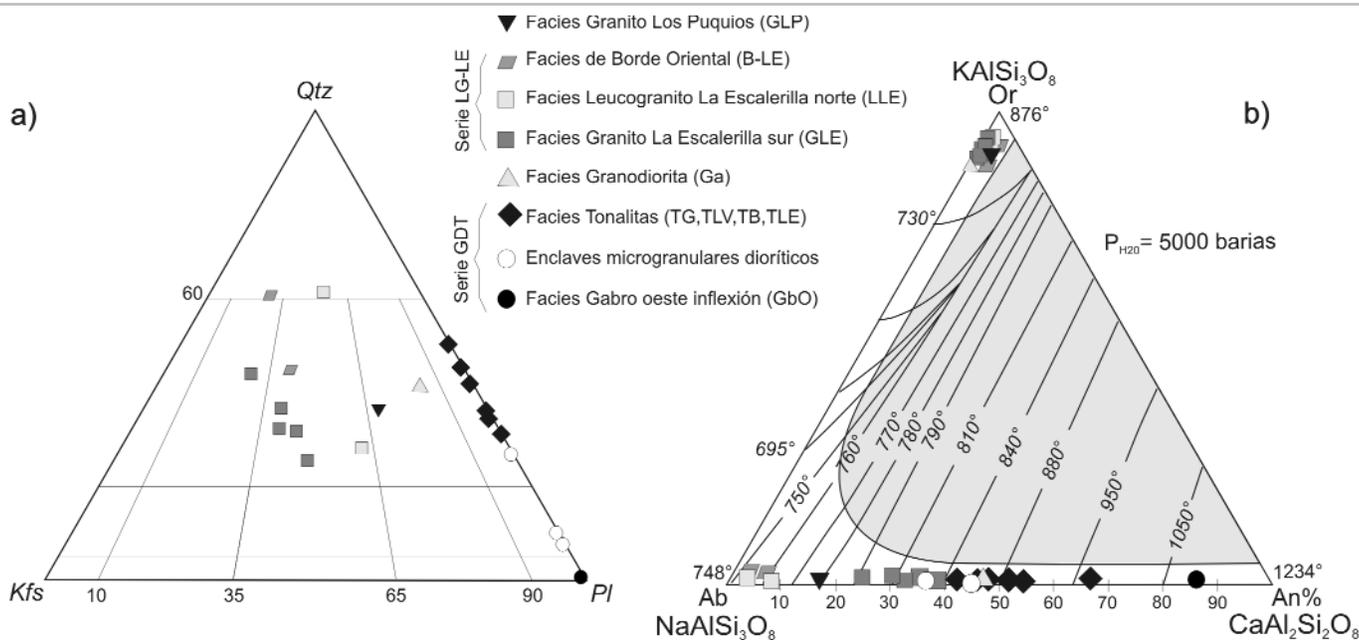
Figura 1: Mapa de los granitoides de la región. Ubicación de las muestras analizadas y temperaturas de plagioclasas determinadas para cada muestra. GbO: Gabros del oeste de la inflexión, TB: Tonalita Bemberg, TPF: Tonalita Potrero de Los Funes, TLV: Tonalita Las Verbenas, TG: Tonalita Gasparillo, TO: Tonalita del oeste de la inflexión, Ga: Granodiorita, GLE: Granito La Escalerilla sur, LLE: Leucogranito La Escalerilla norte, B-LE: Facies de borde oriental La Escalerilla, GLP: Granito Los Puquios.

del plutón La Escalerilla y el cordón de El Realito, en dos series ígneas: una cons-

tituida por dioritas-tonalitas-granodioritas y otra de naturaleza restringida, repre-

sentada por monzogranitos.

La clasificación de los granitoides del



CUADRO 1: Proporciones modales.

Muestra	Qtz	Kfs	Pl	Bt	Ms	Ep	Zo- Czo	Am	Px	Grt	Zrn	Spn	Crd	Opac.
Serie LG-LE														
Z25	54	25,5	10	0,4	9,1	0,3	--	--	--	0,5	--	--	--	--
Verb13	40,5	30	20,5	4	3,2	0,2	1,1	--	--	0,4	--	--	--	--
Verb5	57,8	16,7	19,6	2,8	1,9	0,5	0,4	--	--	--	0,09	--	--	--
Car3	25	24	39	3	6	0,01	--	--	--	2	--	0,05	--	--
Chor2	28,5	29,5	20	19,5	2	0,1	--	--	--	--	--	--	--	0,4
Cima	26,5	32	26	10,5	2,5	1,8	--	--	--	--	0,5	--	--	--
Esca8	38,4	34,8	14,6	5,85	2,9	2	0,8	--	--	--	0,1	0,2	0,1	--
Esca111	28	34	23	10,8	3	--	0,5	--	--	--	0,5	--	--	0,2
A1	20,5	31	28,5	15	0,5	3	1	--	--	--	0,1	0,2	0,2	--
Serie Ga														
Esca2	27,7	7,1	32,2	16,9	0,7	6,7	1,3	--	--	--	0,4	--	--	0,3
Serie GDT														
Gaspar	28,2	--	38	23,3	1	0,5	6,5	--	--	--	0,6	0,8	--	1
M25	29,2	--	28,8	20	--	10	1	20	--	--	0,2	--	--	0,6
Verb8	23,8	--	28,4	25	1	5	15	--	--	--	0,6	--	--	1,2
Z11	25	--	33	24,7	--	1	10	6	--	--	0,2	--	--	0,1
Z15	15	--	25,7	20	--	1	7	30	--	--	--	--	--	1,3
Z17	20	--	23,7	24	--	10	1,2	20	--	--	0,1	--	--	1
M1	2,8	--	28,7	16,5	--	2,8	9,4	38,2	--	--	--	--	--	1,4
Z11-encl	15	--	29	25	--	1	10	19,5	--	--	--	--	--	--
Gaspar-encl	5,5	--	46,5	33	3	1	9,8	--	--	--	0,7	--	--	0,5
Z13	--	--	25	5	--	--	--	65	5	--	--	--	--	--
Facies GLP														
M10	33	18,5	39,9	1	6	0,5	0,8	--	--	--	0,01	--	--	--

área propuesta en este trabajo se desarrolló teniendo en cuenta la petrografía, la composición química obtenida de feldespatos, los datos geoquímicos preexistentes y la posible vinculación genética para

cada serie, respecto al emplazamiento y origen de los fundidos.

Se proponen tres series de granitoides formatinianos: la serie gabros-dioritas-tonalitas, la serie granodioritas y la serie leu-

cogranitos y granitos La Escalerilla. En adición, se muestran las características de la serie Granito Los Puquios que ha sido considerada de una edad más joven y perteneciente a un distinto proceso magmático. El cuadro 1 muestra las distintas series y sus proporciones modales. El cuadro 2 muestra los resultados promedios de microanálisis químicos de plagioclasas para las diferentes series y sus correspondientes facies. El cuadro 3 muestra los resultados promedios de microanálisis químicos de feldespatos alcalinos de las series félsicas.

Serie gabros-dioritas-tonalitas

Esta serie, se considera equivalente a la serie metaluminosa de arco pre-deformacional descrita por Brogioni *et al.* (2005) en el cordón del Realito y a los granitoides tipo I descritos por Dahlquist *et al.* (2005) para la sierra de Chepes.

La facies tonalitas está integrada por los plutones Gasparillo, Las Verbenas, Bemberg y por algunas facies dispersas dentro del plutón La Escalerilla; la más importante de ellas, se encuentra en el sector occidental de la zona de inflexión y la otra, corresponde a enclaves tonalíticos de dimensiones considerables, ubicados

CUADRO 2: Resultado de microanálisis químicos promedio de plagioclasas de los granitoides famatinianos del sector suroccidental de la sierra de San Luis.

Serie Facies	Granodioritas		Gabros-Dioritas-Tonalitas (GDT)										
	Granodiorita al Oeste de inflexión (Ga)		Tonalita Gasparillo (TG)	Tonalita Potrero de los Funes (TPF)	Tonalita Las Verbenas (TLV)	Tonalita Bemberg (TB)	Tonalita al Oeste de Inflexión (TO)		Enclaves microgranulares Dioríticos			Gabro Oeste de inflex. (GbO)	
Muestra	Esca2 núcleo	Esca2 borde	Gaspar	M25	Verb8-núcleo	Verb8-borde	Z11	Z15	Z17	M1	Z11-encl	Gaspar Encl	Z13
Prom.Puntos	2	3	2	15	5	2	2	38	14	9	6	5	12
SiO ₂	56,56	58,28	57,10	56,81	58,70	62,86	57,18	51,6	55,8	57,4	55,45	58,07	47,12
TiO ₂	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	27,41	26,63	27,49	27,71	25,95	23,99	27,23	30,7	28,0	27,1	28	26,86	33,18
FeO	0,03	0,02	0	0,03	0,01	0,03	0	0	0,08	0,01	0,06	0,02	0,06
MnO	0,04	0	0	0	0,04	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,03
MgO	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0
CaO	10,12	8,96	9,87	10,02	8,22	5,66	9,61	13,7	10,9	9,65	10,47	9,07	17,45
Na ₂ O	5,66	6,29	5,84	5,85	6,60	8,05	5,84	3,92	5,26	5,93	5,46	6,23	1,65
K ₂ O	0,11	0,10	0,06	0,05	0,11	0,11	0,05	0,02	0,03	0,05	0,07	0,07	0,01
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0,03	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0,02
NiO	0,01	0	0,05	0,01	0,02	0	0	0	0,03	0	0,02	0,03	0,00
ZnO	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0,07	0,04	0	0	0,03	0,04	0	0	0	0	0	0	0
% Total	100,10	100,38	100,46	100,50	99,79	100,80	100,04	100	100	100	99,56	100,3	99,56
% An	49,35	43,78	48,09	48,46	40,49	27,77	47,47	65,9	53,2	47,1	51,20	44,38	85,27
% Ab	50,00	55,58	51,50	51,24	58,85	71,56	52,18	33,9	46,5	52,5	48,37	55,20	14,66
% Or	0,64	0,62	0,40	0,29	0,65	0,66	0,34	0,13	0,19	0,31	0,42	0,40	0,06

Serie Facies	Leucogranitos y Granitos - La Escalerilla (LG-LE)										GLP Granito Los Puquijos (GLP)Tardío-orogénico
	Facies de Borde oriental (B-LE)		Leucogranito al Norte de la inflexión (LLE)		Granito al Sur de la inflexión (GLE)						
Muestra	Z25	Verb13	Verb5	Car3	Chor2	Cima	Esca8	Esca111	A1	M	
Prom.Puntos	10	5	3	7	8	17	10	16	11	5	
SiO ₂	69,6	69,54	68,80	67,6196	59,75	62,67	61,60	61,59	60,45	65,58	
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Al ₂ O ₃	19,0	19,60	19,68	20,5441	25,27	23,3	24,24	24,33	25,29	22,08	
FeO	0,01	0	0,01	0,0313	0,07	0,16	0,02	0,03	0,05	0,00	
MnO	0	0	0	0	0,03	0	0	0,02	0	0,01	
MgO	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	
CaO	0,96	1,2	0,68	1,6762	7,66	4,86	6,28	6,26	6,99	3,55	
Na ₂ O	10,8	10,18	10,95	10,5047	7,04	8,31	7,58	7,69	7,26	9,17	
K ₂ O	0,04	0,10	0,10	0,0892	0,10	0,29	0,10	0,16	0,14	0,16	
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,0113	0	0	0	0,02	0	0,05	
NiO	0,02	0	0	0	0,02	0	0,01	0,05	0,01	0	
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
% Total	100,66	100,66	100,24	100,47	100	99,65	99,89	100,19	100,22	100,66	
% An	4,64	6,13	3,31	8,06182	37,32	24,00	31,21	30,74	34,42	17,46	
% Ab	95,07	93,23	96,06	91,4274	62,07	74,24	68,15	68,31	64,72	81,58	
% Or	0,27	0,62	0,61	0,51078	0,59	1,75	0,63	0,94	0,85	0,95	

en torno a la localidad de Potrero de los Funes (muestra M25 en Fig. 1). La Tonalita Bemberg está formada por varios cuerpos elongados en dirección noreste, el mayor de ellos presenta una forma lobulada sin deformación interna

en el extremo noreste y termina en forma acuñada con una fuerte deformación interna hacia el sudoeste, paralela a la roca de caja (Sánchez *et al.* 1996). Se intruye dentro de esquistos micáceos en forma de *balloning* (Morosini *et al.* 2006). Se dis-

tinguen principalmente tonalitas biotíticas, horblendíferas, y en menor proporción gabros y melatonalitas (Sánchez *et al.* 1996), por lo tanto, en ese sector se encuentran presentes, todas las facies de la serie gabros-dioritas-tonalitas (GDT). La

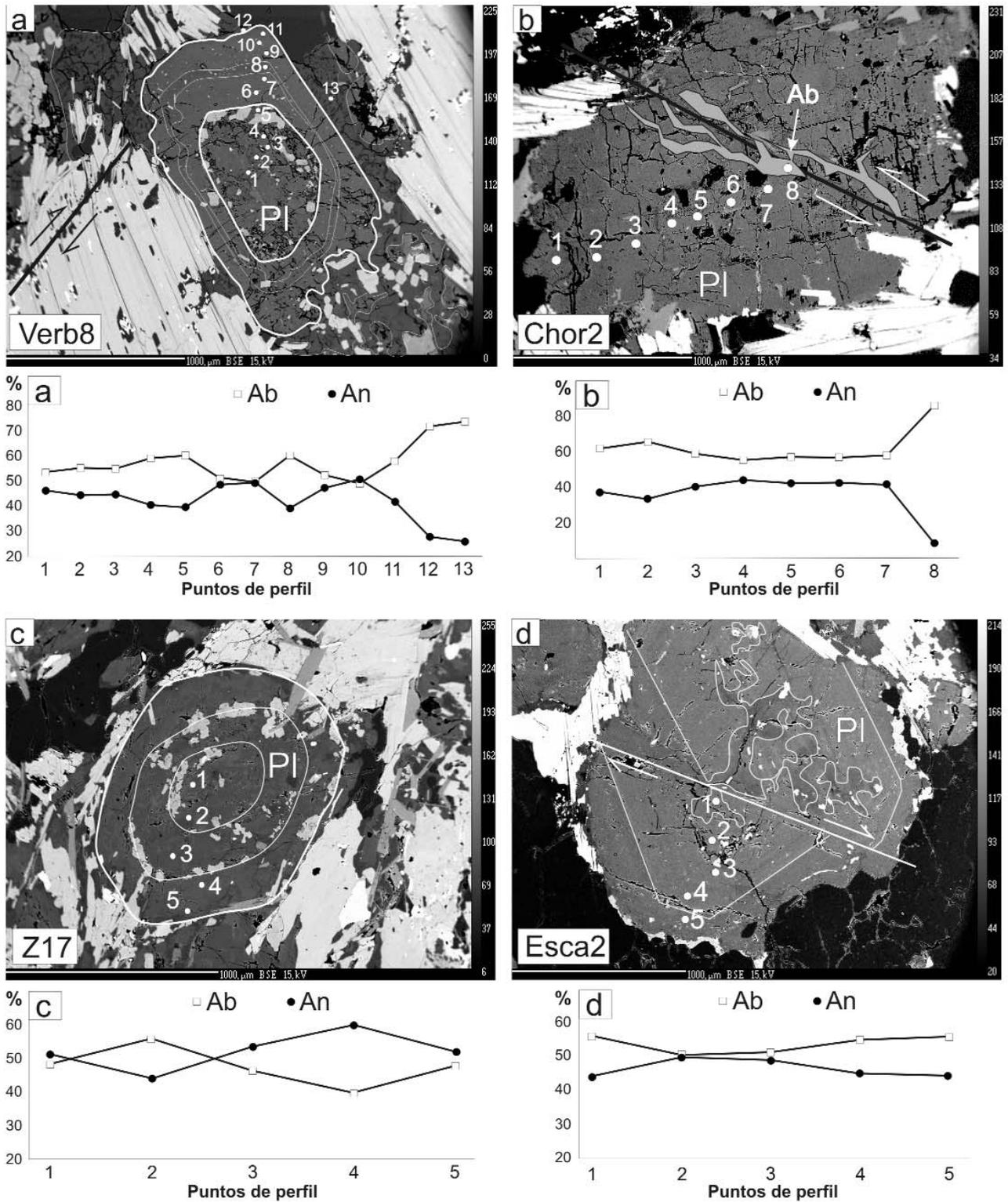


Figura 3: Imágenes de electrones retrodifundidos, la escala de tonalidades de grises está dada por la variación en promedio de número atómico (\square). Se muestran los perfiles composicionales para cada plagioclasa. a) Tonalita Las Verbenas, nótese la presencia de un núcleo, un borde, y el desarrollo de una exsolución más albitica debido al posterior microfracturamiento; b) Granito La Escalerilla sur, se muestra una plagioclasa homogénea, con pequeña variación composicional por termidifusión normal desde el centro hacia el borde, la cual está dislocada y en cuya microfractura se reconoce una exsolución de composición albitica; c) Tonalita del oeste de la inflexión, se observan tres pulsos de crecimiento en la plagioclasa. En las tres etapas la composición presenta variación normal de más cálcica a más sódica; d) Facies Granodiorita, muestra una plagioclasa de mezcla, con un núcleo esquelético menos cálcico que el borde, microfracturada y con el consecuente desarrollo de un borde reabsorbido.

CUADRO 3: Resultado de microanálisis químicos promedio de feldespatos alcalinos de los granitoides amatinianos del sector suroccidental de la sierra de San Luis.

Serie Facies	Leucogranitos y Granitos- La Escalerilla (LG-LE)											Granodiorita (Ga) Granodiorita (Ga)	GLP Granito Los Puquios (GLP)
	Facies de Borde oriental B-LE			Leucogranito al Norte de la inflexión (LLE)		Granito al Sur de la inflexión (GLE)							
Muestra	Z25	Car5	Verb13	Verb5	Car3	Chor2	Cima	Esca8	Esca111	A1	M30	Esca2	M10
Prom. Puntos	10	6	5	1	5	3	19	4	6	5	2	4	7
SiO ₂	65,3	65,4	65,2	65,2	65,5676	66,1	64,3	65,1	65,8	64,9	66,4	65,11	66,0
TiO ₂	0	0	0,01	0	0,0047	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	18,1	18,2	18,3	17,8	18,2354	18,0	18,3	18,2	18,2	18,2	18,5	18,37	18,3
FeO	0	0,01	0	0	0	0,03	0,08	0,04	0	0	0	0,01	0
MnO	0,03	0,02	0	0	0,0419	0	0,00	0	0	0,01	0	0	0,01
MgO	0	0,01	0	0	0,0209	0,01	0	0	0	0	0,02	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0,62	0,69	0,55	0,60	0,6043	0,66	0,78	0,67	0,69	0,70	0,78	0,87	0,57
K ₂ O	15,4	15,3	15,5	15,7	15,7301	15,4	14,8	15,5	15,5	15,4	14,8	15,01	15,4
Cr ₂ O ₃	0,03	0,05	0,08	0	0,0075	0	0,04	0	0	0	0,01	0	0
NiO	0,01	0,01	0	0,02	0	0,02	0,02	0,01	0,02	0	0,05	0	0,02
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Total	99,6	99,8	99,8	99,6	100,212	100	98	99,6	100	99,3	100	99,3	100
% An	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0,12	0	0	0,01
% Ab	5,75	6,4	5,1	5,47	5,5169	6,14	7,4	6,21	6,39	6,44	7,47	8,14	5,3
% Or	94,4	93,5	94,7	94,2	94,483	93,7	92,5	93,7	93,6	93,5	92,5	91,85	94,6

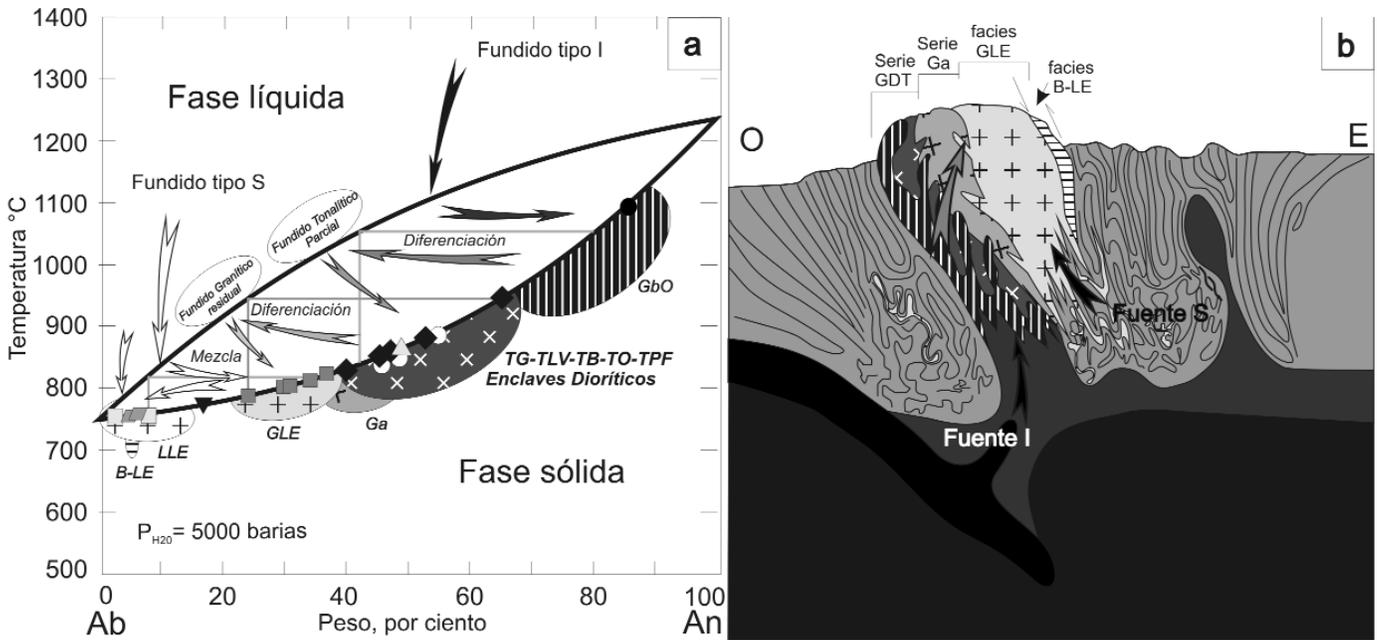


Figura 4: a) Diagrama de fase (T - %An) para plagioclasas, a una presión de H₂O constante de 5.000 barías, tomado de Kerr (1965). Se muestra un modelo del camino de enfriamiento y diferenciación de las series gabro-dioritas-tonalitas (GDT) y leucogranitos-granitos La Escalerilla (LG-LE). Nótese que la facies granito La Escalerilla sur (GLE) es el producto de la mezcla de fundidos de diferentes orígenes: fundido granítico residual proveniente de la diferenciación extrema de la serie GDT de tipo I y fundido de origen S de protolitos sedimentarios; b) Perfil esquemático O-E, que muestra el modo de emplazamiento de las diferentes facies interpretadas en la zona de inflexión del plutón La Escalerilla. Las rastras son las mismas que para las figuras 1 y 2.

edad obtenida es de 468±6 Ma (U-Pb SHRIMP en circón, Sims *et al.* 1998) y

512 ± 16 Ma (Rb-Sr roca total, Sato *et al.* 1996).

Por su parte, la Tonalita Bemberg se conecta hacia el sector sur con la facies del

sector occidental de la zona de inflexión del plutón La Escalerilla (Fig. 1).

La Tonalita Gasparillo presenta una clara morfología de tipo *boudinage* con bordes cizallados lo que evidencia una deformación posterior a su emplazamiento. Presenta una aureola térmica desarrollada sobre un protolito sedimentario, que luego fuera transformada en un esquistos micáceo durante la fase oclóyica (Sato *et al.* 1996). Según los citados autores, al igual que en Bemberg, las facies principales son tonalíticas, llegando hasta melagabros cuarzosos anfibólicos.

La Tonalita Las Verbenas se caracteriza por estar en contacto directo con el plutón La Escalerilla en la parte norte. Dicho contacto es en gran parte de tipo tectónico, producido por la yuxtaposición mediante una faja de cizalla de rumbo nor-noroeste, sinistral, que pone a la facies leucogranito La Escalerilla norte sobre la facies tonalitas Las Verbenas (Sato 1993). Asimismo se han observado *pendants* de la facies tonalita Las Verbenas dentro de la facies leucogranito La Escalerilla norte, también mencionados por Llambías *et al.* (1996), sugiriendo que el emplazamiento del plutón La Escalerilla es posterior. No obstante, el contacto entre estas facies amerita ser cartografiado con mayor detalle, ya que podría existir contemporaneidad entre los magmas de ambas facies, debido a inmiscibilidad magmática. La edad absoluta de la Tonalita Las Verbenas ha sido determinada en 478 ± 4 Ma por el método U-Pb SHRIMP en circón (Steenken *et al.* 2006). Petrográficamente las facies tonalíticas están compuestas por $qtz+pl+bt+hbl$ como minerales esenciales y $ap+zrn$ como minerales accesorios incluidos en plagioclasas, biotitas y anfíboles. Presentan tonalidades gris oscuro, [Índice de color leucocrático-mesocrático (25-55)], y texturas de grano medio a fino. El cuarzo es incoloro a blanquecino, forma agregados cristalinos, presenta extinción ondulante y formas poligonales. La plagioclasa, presenta tamaño de grano medio (0,2 a 5 mm), generalmente se encuentra zonada cíclicamente, suele presentar texturas co-

roníticas, subgranos, estar fracturada, parcialmente reabsorbida, y se encuentra alterada en todos los casos por minerales del grupo del epidoto, predominando zoisita-clinozoisita, sobre pistacita. La biotita es abundante, entre un 17 y 25%, se encuentra generalmente orientada, envolviendo a granos subhedrales de plagioclasa y cuarzo que marca la foliación imperfecta de rumbo meridiano en la fábrica de la roca. El anfíbol corresponde a hornblenda, forma cristales subhedrales, agregados o prismas dispuestos irregularmente.

La facies dioritas está representada por enclaves microgranulares de variados tamaños, los mismos se hallan distribuidos dentro de las facies tonalitas, y a lo largo de todo el plutón La Escalerilla, pero se encuentran con mayor frecuencia y con tamaños que rondan las decenas de metros en el sector occidental de la zona de inflexión. Generalmente poseen formas lenticulares y se encuentran orientados según la foliación interna nor-noreste.

Petrográficamente están compuestos por $qtz+pl+hbl+ep+chl+opacos$. Presenta texturas de grano fino y fábrica isotropa. El cuarzo es escaso, hasta un 15%. Aparece como cristales anhedrales no mayores a los 0,2 mm, relleno espacios entre los granos de anfíbol. La plagioclasa se encuentra relleno y envolviendo a los cristales de anfíbol en forma poiquilítica, rara vez se halla como cristales individuales que no superan el milímetro. La hornblenda se presenta en agregados de cristales subhedrales a euhedrales. En algunos casos se halla un anfíbol fibroso de aspecto asbestiforme y en gran parte es reemplazado por biotita en forma de parches. La biotita se encuentra en agregados de minerales tabulares subhedrales, presentan bordes lobulados y generalmente están reemplazados por clorita retrógrada, que le da una coloración verdosa a la roca. En ellas es común también la desferritización. El epidoto reemplaza a plagioclasa, predomina la zoisita-clinozoisita sobre la pistacita y forman agregados o cristales euhedrales de hasta 0,4 mm.

La facies gabros se encuentra en forma saltuaria hacia el oeste de la zona de inflexión, forman parte del plutón de Bemberg, constituyendo parte de las rocas más básicas estudiadas en este trabajo. Coexiste con las facies dioritas y tonalitas.

La petrografía de esta facies se caracteriza por un alto índice de color [Índice de color: mesocrático-melanocrático (55-80)], la mineralogía presente es $pl+hbl+bt+ep+qtz+opacos$. En general se trata de variedades cuarzosas con porcentajes de cuarzo menores al 9%, el anfíbol es el mineral más abundante, llegando a constituir hasta un 65% de la roca.

Es característica la presencia de orbículas máficas dentro de la serie gabros-dioritas-tonalitas, particularmente en el sector occidental de la zona de inflexión del plutón La Escalerilla. Llegan a tener hasta 15 cm de diámetro, están compuestas por un núcleo de anfíbol (magnesio hornblenda+magnesio arfvedsonita) y algunas capas o halos de crecimiento concéntrico de plagioclasa de 0,5 a 1 cm de espesor. El anfíbol magnesio arfvedsonita se caracteriza por presentar hábito fibroso radial y asbestiforme y es de baja birrefringencia (gris lavanda). Por su parte el anfíbol magnesio hornblenda presenta hábito prismático con buenas secciones pseudo-hexagonales.

Serie leucogranitos y granitos La Escalerilla

Esta serie está compuesta por tres facies: 1) facies leucogranitos La Escalerilla norte; 2) facies granitos La Escalerilla sur, probablemente emparentada a las series granodioritas y gabros-dioritas-tonalitas, y 3) una facies desarrollada a lo largo de todo el borde oriental del plutón La Escalerilla, denominada facies leucogranitos de borde oriental La Escalerilla, la cual se caracteriza por una importante deformación milonítica que genera texturas de desequilibrio térmico.

La facies leucogranitos La Escalerilla norte pertenece a la parte más septentrional del plutón homónimo. Se trata de un cuerpo alargado en dirección norte-sur

con una relación largo-ancho de aproximadamente 5:1, que culmina en su extremo norte con una peculiar morfología en forma de botella (*boudinage*), dada por la conjunción de cizallas sintéticas y antitéticas oblicuas al rumbo de las metamorfitas que envuelven al plutón, y que han sido interpretadas como resultado de la deformación desarrollada durante el clima tectono-metamórfico del ciclo famatiniano (Morosini *et al.* 2006). En el límite sur, donde el cuerpo se hace extremadamente angosto, no ha sido posible reconocer las rocas aflorantes, por lo que se ha cartografiado como un granitoide no diferenciado (Fig. 1).

La facies leucogranitos La Escalerilla norte presenta enjambres de diques aplopegmatíticos de variadas direcciones y espesores, los cuales se hallan deformados y plegados en cercanía a las zonas de contacto con la roca de caja.

Petrográficamente es un leucogranito de dos micas, [Índice de color: hololeucocrático (<10)]. Está compuesto de $qtz+pl+kfs+bt+ms$ como minerales primarios esenciales y $ap+grt$ como accesorios. Se caracteriza por la presencia de fenocristales, generalmente orientados, de microclino perítico de 2 a 6 cm. La plagioclasa aparece a veces zonada y alterada a epidoto, caolinita y sericita. El cuarzo es anhedral, de hasta 2,4 mm y posee extinción ondulosa. La biotita es escasa (< 10%), se presenta en láminas aisladas de hasta un milímetro y en bandas junto con muscovita, epidoto y granate. La muscovita aparece en láminas de hasta dos milímetros, está relacionada a la biotita y es de carácter primario. El granate forma cristales de hasta tres milímetros, suelen estar fracturados y generalmente presentan bordes reabsorbidos.

La facies granitos La Escalerilla sur pertenece a la de mayor volumen en el área. Se extiende desde la zona de inflexión, hacia el sur, hasta desaparecer por debajo de sedimentos cenozoicos, y se destaca por la alta relación largo-ancho y por que es intruida por enjambres de diques aplopegmatíticos, que en el sector sur han sido atribuidos a la facies granito Los Pu-

quios (Morosini y Ortíz Suárez 2005).

Petrográficamente la facies granito La Escalerilla sur es de tonalidad gris medio [Índice de color: leucocrático (10-20)], dado por el contenido de biotita que en promedio representa un 12%. Se caracteriza también por la presencia de fenocristales de microclino perítico de diferentes dimensiones (1 a 6 cm), que le confiere una textura porfírica con una pasta granuda. En la mayoría de los afloramientos los fenocristales se encuentran orientados, al igual que las micas, originando una foliación imperfecta. La plagioclasa se encuentra en cristales subhedrales, rara vez presentan zonación, pero si una intensa alteración (sericitización, epidotización y caolinización) que borra el maclado de la misma. El cuarzo aparece en granos anhedrales, y también formando texturas mirmequíticas, producto de la reacción entre plagioclasa y feldespato alcalino.

Por otro lado, la facies leucogranítica de borde oriental La Escalerilla es la representación de una zona de cizalla dúctil, asociada a una importante milonitización de un espesor de aproximadamente 200 m hacia el interior del plutón (von Gosen 1998, Vinciguerra 1999, Arrese *et al.* 2005). Se extiende afectando a la facies leucogranito La Escalerilla norte y la sur, aunque el nombre de dicha facies y la representación en la figura 1 hagan solo referencia al borde oriental, también se encuentra en su borde occidental y en fajas de cizalla discretas, generando milonitas. Petrográficamente, presenta color rosado a gris [Índice de color: hololeucocrático-leucocrático (1-20)]. Se diferencia a simple vista de las facies mencionadas anteriormente por la fuerte deformación y recristalización de los componentes mineralógicos que la constituyen, y por el fuerte dominio planar de su fábrica. Los cristales de cuarzo, microclino y plagioclasa se encuentran recristalizados total o parcialmente en los bordes de granos, formando estructuras en cinta o sigmoideas con sombras de presión. La formación de estructuras tipo sigma en cada uno de los granos minerales, separadas

por el crecimiento intercrystalino de micas, forman en conjunto, una grosera estructura en malla de tipo S-C.

Serie granodiorita

Esta serie está representada por una sola facies de carácter híbrido. Se ubica en una franja que separa a las facies granitos La Escalerilla sur de las facies de la serie gabros-dioritas-tonalitas, en el sector centro-occidental del área (Fig. 1). Se interpreta como el producto de la combinación de éstas, debido al amalgamamiento de magmas por asimilación (*mixing*), con extremos que contienen hasta un 34% de feldespato potásico y las rocas de la serie gabros-dioritas-tonalitas que están exenta del mismo.

Petrográficamente está compuesta por $qtz+pl+kfs+bt$ como minerales primarios esenciales; $zrn+spn$ como accesorios; y $ep+ms+kln$, como minerales secundarios. Es de coloración gris, [Índice de color: leucocrático-mesocrático (15-35)]. La textura es equigranular de tamaño medio, con fábrica levemente foliada. El cuarzo forma agregados de cristales de hasta tres milímetros, presenta bandas de deformación, y en algunos casos subgranos. La plagioclasa se encuentra en cristales de diferentes tamaños, presentan texturas coroníticas, maclas de crecimiento composicionales, a veces con un núcleo corroído o reabsorbido con textura esquelética (*skeletal cores*), y luego cubierto por un crecimiento neomineral del cristal que envuelve a este núcleo (Fig. 3d); los límites son reemplazados por sericita y tablillas de muscovita, también presentan una marcada epidotización e inclusiones de circones. El feldespato alcalino, es anhedral y escaso (4 a 9%), se encuentra como microclino de hasta cinco milímetros, relleno espacios entre el resto de los minerales. Esta característica diferencia a esta facies de la facies granitos La Escalerilla sur, debido a la ausencia de grandes fenocristales de feldespato potásico. La biotita se presenta como grandes cristales límpidos con pocas inclusiones y bordes lobulados. Suele estar flexurada y fracturada. La muscovita

aparece como finas tabletas reemplazando plagioclasa en límites de bordes de crecimiento y como sericita aprovechando el clivaje de macla, es secundaria, se sobrepone a biotita, y afecta principalmente a los núcleos de plagioclasa junto a pistacita y caolinita. Son típicas las inclusiones de circón dentro de plagioclasa y en algunos casos en biotita y cuarzo.

Serie Granito Los Puquios

Esta serie se encuentra ampliamente distribuida en el sector sur, en los alrededores de las localidades de Potrero de los Funes, Los Puquios y El Volcán, se presenta principalmente en forma de diques y pequeños plutones de los cuales solamente es visible el techo (Fig. 1).

Los diques tienen espesores que van desde los 10-15 cm a varios metros de potencia, tienden a ser horizontales, por lo cual ocupan áreas extensas cuando afloran. Las disposiciones en general dependen de la roca de caja, de tal manera que predominan con rumbo norte-sur y buzamientos hacia el este cuando intruyen a las metamorfitas, y rumbos aproximadamente ONO y NO y buzamientos al NNE y NE, cuando intruyen a la facies granito La Escalerilla sur (Fig. 1). En ocasiones se reconocen varios pulsos de emplazamiento y en general, presenta un marcado flujo magmático, dado por la acumulación de minerales en bandas paralelas a la dirección de movimiento (Morosini y Ortiz Suárez 2005).

Petrográficamente presentan tonalidades claras [Índice de color: hololeucocrático (<10)]. El análisis modal permite clasificarlo principalmente como leuco-monzogranitos y granitos ricos en cuarzo, aunque algunas muestras pertenecen al campo de las granodioritas. De acuerdo a las características texturales y estructurales, se pueden diferenciar tres tipos principales conformes a su granulometría; a) facies granuda principal: que es de tamaño medio y la más representativa en la mayoría de los cuerpos; b) facies pegmáticas: ubicadas por lo general en el centro de los diques, o como miarolas, dentro de la facies granuda principal; y c) fa-

cies aplíticas: que no son comunes, y aparece en los bordes de cuerpos tabulares. la serie completa está compuesta por $qtz+pl+kfs+ms+bt$ como minerales primarios esenciales, $grt+ap+tur+zrn$ como accesorios y $ms+kln$ como minerales secundarios. El cuarzo aparece como agregados policristalinos xenomórficos. El tamaño varía en función de las diferentes facies, desde muy pequeños hasta un milímetro en facies aplíticas a un tamaño medio de tres milímetros en la facies granuda principal. El microclino forma cristales anhedrales y agregados policristalinos xenomórficos. Sus tamaños son equivalentes al cuarzo. La plagioclasa tiene tamaños algo mayores que el resto de los minerales, y son subidiomórficos, está en su mayoría alterada a sericita y caolinita. La muscovita se presenta como minerales subidiomórficos de 0,2 a 3 mm sin orientación. La biotita es escasa, aparece como cristales subidiomórficos de color pardo-rojizo, debido a la desferrización y suelen contener inclusiones de circones. Los granates son idiomórficos, varían desde 0,2 a 4 mm de diámetro, poseen bordes corroídos y por lo general no presentan inclusiones. La turmalina es muy escasa y se presenta como mineral accesorio en diminutos cristales idiomórficos. El apatito es muy escaso y se encuentra diseminado formando cristales individuales pequeños.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL MICROANÁLISIS

Los resultados del microanálisis de los feldespatos estudiados indican que existe una variación lógica en el contenido promedio de anortita en las plagioclasas, desde la serie más máfica a la serie más félsica. Si se grafican en el diagrama de Yoder *et al.* (1957) los valores promedio determinados, se obtienen temperaturas que varían en un rango que va desde 1.100° a 748° C, respectivamente, dentro de la fase sólida, que con una tasa de transferencia normal correspondería a un fundido inicial con una concentración de an_{50}

y un fundido residual de an_0 (Fig. 4). Si bien estos valores de temperatura deben ser considerados, más que en términos absolutos, en un sentido relativo entre las diferentes facies, resultados obtenidos con otros geotermómetros no difieren sustancialmente (López de Luchi *et al.* 2007). La separación de la fase sólida de la ortoclasa, se produjo por debajo de los 800° C, cuando el fundido residual solo contenía proporciones menores a 15% de anortita.

En la facies diorítica, ampliamente dispersa como enclaves en la mayoría de los plutones, las plagioclasas presentan cristales xenomórficos a subidiomórficos, que han cristalizado como fase líquida residual de una roca máfica parental, con textura poiquilítica, cuya composición promedio es andesina, con valores extremos de $an_{71}-an_{51}$ (Cuadro 2b). Corresponde a esta composición una temperatura de 1.100° - 1.000°C, equivalente a una fase sólida de an_{80} . Este valor es coincidente con la concentración de an_{85} de la fase cristalina de orbículas máficas de la facies gabros, dentro de la serie gabros-dioritas-tonalitas.

En la muestra Verb8 correspondiente a la facies tonalitas (Fig. 3a), se muestra una plagioclasa con textura de bordes de crecimiento, con tres pulsos bien definidos, un núcleo de an_{42} , con una textura coronítica de $zo+czo$; una parte intermedia de an_{50} , que presenta un pequeño pulso de an_{42} y un borde como fase líquida de exsolución producida por micro-fracturamiento, de an_{26} . En este caso, la historia de enfriamiento sugiere que las facies tonalíticas, provienen de un fundido residual de las facies más máficas de la serie, con una apertura en la fase sólida a los 950°C. Este fundido tonalítico, ha sido separado de una fase sólida de composición an_{85} , atestiguando de esta manera, el origen de diferenciación de la serie. La composición de an_{50} en la zona intermedia de la plagioclasa, con la presencia de una capa de an_{39} (Fig. 3a), indica que para el rango de temperatura comprendido entre los 850° y 810°C, coexistieron las fases líquido-sólido, y que probablen-

te hayan existido varios pulsos de calor relacionados al emplazamiento diferencial de dichas facies. Por su parte, el borde de la plagioclasa está vinculado a la exsolución de la fase sólida de la zona intermedia de la plagioclasa, y es el producto de un sobrecalentamiento generado por el metamorfismo y deformación, formando oligoclasa (an_{26}) a los 780°C para la facies tonalitas. Este tipo de bordes de exsolución en cristales de plagioclasa, junto con las texturas de desequilibrio térmico en feldespatos potásicos de la facies de borde La Escalerilla se desarrollaron principalmente como producto del microfracturamiento, dentro de las fajas miloníticas, aunque en menor medida, también se desarrollaron en el seno de la masa ígnea que fue afectada por el metamorfismo regional. La temperatura determinada indicaría las condiciones de la deformación, que comparándolas con las alcanzadas por las rocas de caja son sensiblemente mayores, lo que sugiere que la misma se habría desarrollado en una etapa temprana durante el enfriamiento del cuerpo ígneo.

La figura 3c, muestra una plagioclasa correspondiente a la facies tonalítica del oeste de la inflexión del plutón La Escalerilla. En ella se puede observar un núcleo con variación normal en el contenido de An, es decir, de más cálcica a más sódica. La misma variación se repite en dos bordes de crecimiento sobre el núcleo. En este caso, se puede interpretar que hubo tres pulsos de calor, espaciados entre sí por dos períodos de tiempo que permitieron el equilibrio de las reacciones para reordenar el cristal composicionalmente, en función de la curva de enfriamiento.

Por otro lado, la serie leucogranitos-granitos La Escalerilla compuesta por dos facies de equilibrio térmico relicto: facies leucogranito La Escalerilla norte y facies granito La Escalerilla sur y una facies más nueva de desequilibrio térmico producida por metamorfismo dinámico: facies leucogranítica de borde oriental La Escalerilla, presentan además de plagioclasa, un alto contenido de feldespato po-

tásico en variadas proporciones (Fig. 2a). Las plagioclasas de la facies leucogranito La Escalerilla norte corresponden a albíta (an_{3-8}), a diferencia de las de la facies granito La Escalerilla sur que son oligoclasa-andesina (an_{24-37}). En el primer caso, la cristalización de las plagioclasas se produjo recién por debajo de los 770°C, correspondiente a un fundido diferenciado albitico, junto a feldespato potásico cuya temperatura de formación se encuentra por debajo de los 800°C.

En la facies granito La Escalerilla sur las concentraciones de anortita en las plagioclasas, sugieren una temperatura del magma de 840° a 790°C y es equivalente a un fundido proveniente de una fase sólida residual con una composición an_{65-80} . Estos valores, no son coincidentes a los valores detectados para la fase sólida de los enclaves microgranulares dioríticos ni para las facies tonalíticas aflorantes, pero asimismo se considera que la misma se formó en gran parte como producto de la diferenciación extrema de la serie gabros-dioritas-tonalitas, con un aporte por asimilación de fundidos corticales tipo S provenientes de la anatexis de los complejos metamórficos infrayacentes. Dichos fundidos se generaron por debajo de los 850°C, y de acuerdo al análisis, no superarían al 20% en el contenido de anortita.

El punto mínimo de desmezcla en estado sólido o formación de pertitas, se genera a los 695°C, si existe sobrecalentamiento y para 5000 barías de presión de H₂O, según Yoder *et al.* (1957). Por lo tanto, la mínima temperatura de formación de los primeros cristales de feldespato potásico para la serie leucogranitos-granitos La Escalerilla se desarrolló a los 780°C, con una composición homogeneizada de or_{89} y ab_{11} , determinadas de la relación volumétrica 20:1 de feldespato-pertita de un cristal de microclino correspondiente a la facies granito La Escalerilla sur.

La serie granodioritas ubicada al oeste de la zona de inflexión del plutón La Escalerilla, se produjo debido al enriquecimiento progresivo desde el oeste hacia el este, en el contenido de ortosa. Esta serie

estaría marcando la apertura de la fase cristalina para la ortosa a los 876°C, con la aparición de cristales de microclino, en un 7% para la porción más occidental de esta serie (Figs. 1-2a). La composición de las plagioclasas en promedio sugiere una temperatura de 865°C.

En la facies leucogranítica de borde oriental del plutón La Escalerilla la composición de las plagioclasas no varía en promedio con respecto a la composición de las plagioclasas del sector norte, siendo éstas albíta (an_{4-6}). Esto podría indicar temperaturas menores a 770°C para esta facies, si se considera además, que la deformación fue la causante de la reabsorción de la fase sólida preexistente, asociada al desarrollo de microfracturas inter e intra-cristalinas, acompañadas por una exsolución albitica.

Por último, en la facies granito Los Piquios las plagioclasas, corresponden a oligoclasa an_{17} , e indican temperaturas de enfriamiento a los 780°C (Fig. 4).

ORIGEN DE LAS SERIES

En lo que concierne al plutón La Escalerilla, Brogioni *et al.* (2005) describen las características geoquímicas de la porción norte del mismo, caracterizándolo como de afinidad calcoalcalina de alto K, peraluminosa a débilmente peraluminosa, de ambiente colisional intracortical. Interpretan además, que el mismo parece haber evolucionado en forma independiente de la serie dioritas-tonalitas-granodioritas y no proviene de la diferenciación extrema de esa serie metaluminosa, sino que probablemente sea compatible con un origen de fundidos, a partir de la deshidratación de protolitos grauváquicos, geoquímicamente vinculados a la corteza superior, es decir granitos tipo-S originados por fuentes híbridas con una participación sedimentaria dominante (Fig. 1). Existen diferencias notables que permiten subdividir al plutón La Escalerilla en dos facies; una al norte y la otra al sur, que corresponden a cambios en la mineralogía que se expresan en un índice de color de 10-20 para la facies sur y menor

de 10 para la facies norte. Esta diferencia está dada por la mayor abundancia de biotita y ausencia de muscovita primaria, que se traduce en un promedio de más de 6% en el contenido de Fe_2O_3 (t), un 5% más en el contenido de Al_2O_3 , como así también, a una disminución de hasta un 17% en promedio, del contenido de SiO_2 (según datos de porcentaje de óxidos en roca total de Morosini *et al.* 2007). Asimismo los microanálisis químicos obtenidos en plagioclasas correspondientes a la facies granito La Escalerilla sur muestran valores en el contenido de anortita más elevados que la facies del norte del plutón La Escalerilla. Por consiguiente se interpreta que el origen de la facies granitos La Escalerilla sur se debe a una mayor participación de fundidos residuales, provenientes de la completa diferenciación magmática de la serie gabros-dioritas-tonalitas y que a diferencia de la porción norte del plutón La Escalerilla tuvo un aporte menor por mezcla de fundidos corticales de tipo S.

Por otro lado, el feldespato alcalino, dentro de las cizallas que afectaron al plutón La Escalerilla y principalmente en el borde oriental, se deformó a temperaturas moderadamente altas, posiblemente en facies anfibolitas. El resultado de esta deformación está dado por la disolución, sustitución y precipitación, que en algunos casos excepcionales no presentan evidencia de deslizamiento, dislocación o microfracturamiento (*creep*). Se considera por lo tanto, que la facies de borde oriental del plutón La Escalerilla es más joven que las facies leucogranito La Escalerilla norte y sur, y que la serie completa de gabros-dioritas-tonalitas, ya que se interpreta que antes del pico de deformación dúctil (clímax tectono-metamórfico), la totalidad o gran parte de la roca, ya había cristalizado.

Con respecto a la serie granodioritas se interpreta que el origen probablemente haya estado vinculado a cambios composicionales del fundido tipo I que dio origen a la serie gabros-dioritas-tonalitas, a causa de una sobresaturación producida por asimilación o mezcla de fundidos fé-

sicos de tipo S. De acuerdo con Castro (2001), quien analizó el origen de los fundidos granodioríticos, algunas morfologías esqueléticas, semejantes a las observadas en plagioclasas de la serie granodioritas podrían ser producidas por la desestabilización de la interfase líquido-cristal de fundidos ricos en Ca, debido a la reacción entre dos sistemas composicionalmente diferentes; magmas basálticos y pelitas metamorizadas en la corteza continental.

Por otra parte, las orbículas máficas, halladas en la serie gabros-dioritas-tonalitas han sido interpretadas como burbujas máficas que ascendieron en el magma por permanecer como una fase fundida de mayor temperatura, e inmisible en el fundido gabro-tonalítico que las contiene. En este caso las plagioclasas corresponden a bytownita (an_{85}) en promedio de 12 puntos de análisis sobre un perfil dentro de una de las orbículas. El mismo no muestra variación en la composición de las plagioclasas desde su núcleo hacia el borde, pero se interpreta que indican la composición del magma primordial o primogénito de la serie gabros-dioritas-tonalitas.

El magmatismo famatiniano abarca una gran extensión dentro de las Sierras Pampeanas y el Sistema de Famatina, en la zona central se ha propuesto una subdivisión en tres regiones graníticas, una occidental que formaría el sector frontal del arco magmático, una oriental que correspondería el sector de retroarco y una tercera, sin ubicación geográfica precisa, que pertenecería a los granitoides más jóvenes, intruidos durante el Devónico y Carbonífero (Dahlquist *et al.* 2005). Las características de los granitoides aquí estudiados permitirían asignarlos a la región occidental, teniendo en cuenta la existencia de granitoides metaluminosos con pequeños cuerpos de granitos tipo S. La serie Granito Los Puquios, por el contrario, se ubicaría en la tercera región.

CONCLUSIONES

Se propone un nuevo ordenamiento para

las diferentes rocas graníticas famatinianas ubicadas en la región suroccidental de la sierra de San Luis. El mismo se hace sobre la base de un detallado análisis de la geología de campo, petrografía y química de los feldespatos. Consta de tres series: la serie gabros-dioritas-tonalitas, la serie granodioritas y la serie leucogranitos y granitos La Escalerilla, además de la serie Granito Los Puquios que ha sido considerada de una edad más joven y perteneciente a un distinto proceso magmático.

El seguimiento evolutivo térmico-deformacional de los feldespatos que conforman las diferentes facies magmáticas del área, ha permitido obtener, por medio de un ensayo de presión normal y constante, un modelo de las variaciones de temperaturas de cierre del sistema cristalino or-ab-an, para cada facie en particular del sector suroccidental de la sierra de San Luis. Si bien faltan aún evidencias de la presión real en cada sector, y el tiempo que demoraron las reacciones de cristalización (tasa de transferencia líquido-sólido), el contraste de temperaturas existente entre las facies máficas, intermedias y félsicas, da una idea aproximada del origen y evolución de los fundidos que las generaron.

Es necesario mencionar que las conclusiones a las que se ha arribado utilizando como herramienta el comportamiento termométrico de feldespatos, sirven como modelo tentativo de la evolución, el mismo será complementado y comparado con estudios futuros mediante análisis isotópicos y geoquímicos de roca total para las distintas series. Por su parte, el análisis termométrico deberá ser ajustado con precisión, corrigiendo los resultados para las condiciones de presión confinante de la caja en distintas áreas geográficas y comparadas con otros geotermómetros conocidos, lo cual es también motivo de nuestro estudio.

De los resultados obtenidos, es posible mencionar que existe un claro contraste en la química de plagioclasas correspondientes a las series extremas gabros-dioritas-tonalitas y leucogranitos-granitos La

Escalerilla, que permite asignarles diferentes orígenes de fuentes magmáticas. Por un lado, las facies máficas de la serie gabros-dioritas-tonalitas, en general son ricas en CaO ($an > 37$) y no presentan ortosa. Por lo tanto, esta serie completa es químicamente la menos evolucionada y de tipo I. Por otro lado, las facies félsicas de la serie leucogranitos-granitos La Escalerilla son pobres en CaO ($an < 37$) y ricas en Na_2O y K_2O , más evolucionadas y de tipo I y S.

Esta metodología, a su vez, ha permitido vincular la concentración de anortita en las plagioclasas con el índice de color de cada facies (mesocrático-melanocrático: plagioclasas cálcicas; leucocrático: plagioclasas intermedias; y hololeucocrático: plagioclasas albiticas), lo cual ha favorecido la unificación cartográfica de las diferentes facies dentro del área de estudio. Los resultados evidencian diferencias entre las distintas facies del Granito La Escalerilla, especialmente entre el sector norte y sur. Si bien la facies granito La Escalerilla sur presenta afinidad calcoalcalina de alto K, al igual que la facies leucogranito La Escalerilla norte, la facies sur es menos evolucionada, ubicándose cercana al límite tholéitico en el diagrama AFM y más semejante a los análisis de la serie gabros-dioritas-tonalitas y a los enclaves microgranulares de la facies leucogranito La Escalerilla norte (Morosini *et al.* 2007), mostrando una transición de metaluminosidad a peraluminosidad, con un enriquecimiento de albita, empobrecimiento de anortita y sobresaturación de ortosa en el fundido residual.

Por último, como un aporte regional y de acuerdo a las características establecidas para los granitoides del sector suroccidental de la sierra de San Luis, se puede determinar una similitud con la asociación de granitoides tipo I y S de la denominada región granítica occidental descrita por Dahlquist *et al.* (2005) para las sierras de Chepes y de Los Llanos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Banco Río por el financiamiento para la realización de los análisis de microsonda electrónica bajo el Proyecto "Metalogénesis de yacimientos vetiformes de wolframio, situados en el Valle de Pancanta, provincia de San Luis y su comparación con los yacimientos del Orógeno Varísico". Al Conicet por el otorgamiento de la beca interna de posgrado Tipo I. A la Universidad Nacional de San Luis, mediante el Proyecto de Ciencia y Técnica N° 340103 "Estudios del Basamento y Sedimentitas Mesozoicas de la Provincia de San Luis. Se agradece a los árbitros T. Montenegro y P. González por sus valiosas recomendaciones que han permitido mejorar la calidad de este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Arrese, M., Delpino, S. y Kostadinoff, J. 2005. Granito La Escalerilla, Sierra de San Luis, Argentina: Modelo cinemático de deformación. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 433-444, La Plata.

Brogioni, N., Parrini, P. y Pecchioni, E. 2005. Petrología del magmatismo de arco pre-deformacional en el cordón del Realito y la zona norte del Plutón La Escalerilla. Sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 495-412.

Caminos, R. 1979. Las Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan. En Turner, J.C.M. (ed.) 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 1: 225-291, Córdoba.

Castro, A. 2001. Plagioclase morphologies in assimilation experiments. Implications for disequilibrium meeting in the generation of granodiorite rocks. Mineralogy and Petrology 71: 31-49.

Dahlquist, J., Rapela, C., Pankhurst, R., Baldo, E., Saavedra, J. y Alasino, P. 2005. Los Granitoides de la Sierra de Chepes y su comparación con granitoides paleozoicos de las Sierras Pampeanas: implicancias para el orógeno famatiniano. Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación especial 8: 87-108.

Deer, W.A., Howie, R.A. y Zussman, J. 1992. An introduction to the Rock Forming Minerals. 2nd Edition, Longman Scientific and Techni-

cal, 549 p., London.

Kerr, P.F. 1965. Mineralogía Óptica. Ediciones del Castillo, 3ra. edición, 433 p., Madrid.

Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist 68: 277-279.

Llambías, E.J. 2003. Geología de los Cuerpos Ígneos. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y complementaria 27. Instituto Superior de Correlación geológica- Serie Correlación Geológica 15: 1-182, Buenos Aires.

Llambías, E.J., Gíngolani, C., Varela, R., Prozzi, C., Ortiz Suárez, A., Toselli, A. y Saavedra, J. 1991. Leucogranodioritas sin-cinemáticas ordovícicas en la Sierra de San Luis. 6° Congreso Geológico Chileno, Actas: 187-191.

López de Luchi, M., Siegesmund, S., Wemmer, K., Steenken, A. y Naumann, R. 2007. Geochemical constraints on the petrogenesis of the Paleozoic granitoids of the Sierra de San Luis, Sierras Pampeanas, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 24: 138-166.

Maaløe, S., 1985. Principles of Igneous Petrology. Springer-Verlag, 374 p., Berlin.

Morosini, A. y Ortiz Suárez, A. 2005a. Geología y petrología del Basamento en el extremo sur de la Sierra Grande de San Luis. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 639-646, La Plata.

Morosini, A. y Ortiz Suárez, A. 2005b. Modelo cinemático vinculado al emplazamiento del Granito Los Puquios. Jornadas de Jóvenes Investigadores. Universidad Nacional de San Luis, Actas 1: 95.

Morosini, A., Ortiz Suárez, A. y Ramos, G. 2006. Modelo cinemático vinculado al emplazamiento de la Tonalita Bemberg, San Luis, Argentina. 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 279-282, Antofagasta.

Morosini, A., Ortiz Suárez, A. y Ramos, G. 2007. Preliminary differences in the composition and geochemistry, between the north and south zones of the La Escalerilla pluton, Sierra de San Luis, Argentina. Geological Society of America, Abstracts with Programs, 39 (6): 465.

Ortiz Suárez, A., Prozzi, C. y Llambías, E. 1992. Geología de la parte Sur de la Sierra de San Luis y granitoides asociados, Argentina. Revista de Estudios Geológicos 48: 269-277, Madrid.

Prozzi, C. y Ramos, G. 1988. La formación San

- Luis. 1° Jornadas de Trabajo de Sierras Pampeanas, Abstracts: 1, San Luis.
- Sánchez, V., Ortíz Suárez, A. y Prozzi, C. 1996. Geología y petrografía de la tonalita Bemberg, Provincia de San Luis. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 669-677.
- Sato, A. 1993. Deformación de la Tonalita Precinemática de Las Verbenas, Sierra de San Luis, Argentina. 1° Simposio Internacional del Neoproterozoico-Cámbrico de la Cuenca del Plata, DINAMIGE-Facultad de Agronomía 1: 25, Montevideo.
- Sato, A., Ortíz Suárez, A., Llambías, E., Cavazzini, C., Sánchez, V., Varela, R. y Prozzi, C. 1996. Los plutones pre-oclógicos de la Sierra de San Luis: arco magmático al inicio del ciclo famatiniano. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 259-272, Buenos Aires.
- Sato, A., Gonzáles, P., Llambías, E. 2003. Evolución del orógeno Famatiniano en la Sierra de San Luis: magmatismo de arco, deformación y metamorfismo de bajo a alto grado. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58: 487-504.
- 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.J. y Rapela, C.W. (eds.) The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, Special Publication 142: 256-281, London.
- Steenken, A., Siegesmund, S., López de Luchi, M.G., Wemmer, K. y Frei, R. 2006. New Constraints on the Famatinian Geodynamic Evolution of the proto-Andean Margin of Gondwana (Sierra de San Luis/Argentina). Journal Geological Society of London 163: 965-982.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews 12: 1-33.
- Vinciguerra, H.M. 1999. Geología y petrografía del sector central del Granito de la Escalerilla. Provincia de San Luis. Tesis de Licenciatura, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, (inédita), 65 p., San Luis.
- von Gosen, W., 1998. The Phyllite and Micaschist Group with associated intrusions in the Sierras de San Luis (Sierras Pampeanas/Argentina): structural and metamorphic relations. Journal of South American Earth Sciences 11: 79-109.
- von Gosen, W. y Prozzi, C. 1998. Structural Evolution of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina): implications for the proto-andean Margin of Gondwana. En Pankhurst, R.J. y Rapela, C. (eds), The Proto-Andean Margin of Gondwana. Geological Society, Special Publication 142: 235-258, London.
- von Gosen, W., Locke W. y Prozzi, C. 2002. New isotopic dating of intrusive rocks in the Sierra de San Luis (Argentina): implications for the geodynamic history of the Eastern Sierras Pampeanas. Journal of South American Earth Sciences 15: 237-250.
- Yoder, H.S., Stewart, D.B. y Smith, J.R. 1957. Ternary feldspars. Carnegie Institute Washington Year Book 56: 206-214.

Recibido: 01 de septiembre, 2009

Aceptado: 01 de marzo, 2009