

Análisis geoquímico-geocronológico de rocas granulíticas y calcosilicáticas de las Sierras Pampeanas Noroccidentales

Alejandro J. TOSELLI¹, Miguel A. BASEI², Juana N. ROSSI DE TOSELLI¹ y R. DUDAS²

¹ INSUGEO - CONICET. UNT. Miguel Lillo 205. 4000 Tucumán, Argentina. ajtoselli@infovia.com.ar

² Instituto de Geociencias. Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562. São Paulo. Brasil. baseimas@spider.usp.br

RESUMEN. Las rocas calcosilicáticas y granulíticas, muestran tipologías diferentes en los sectores occidental y oriental de las Sierras Pampeanas Noroccidentales. Las asociaciones minerales difieren según el grado metamórfico y las composiciones químicas varían desde ricas en óxido de calcio a ricas en sílice; siendo diferentes de las anfíbolitas. Las rocas calcosilicáticas en las Cumbres Calchaquies, Aconquija y Ancasti muestran paragénesis con cuarzo, plagioclasa, clinozoicita, granate, hornblenda, titanita, diópsido, biotita y calcita; mientras que en la sierra de Quilmes, en facies granulita, se presenta hipersteno y escasa biotita. Ambas son diferentes de las rocas calcosilicáticas de la sierra de Fiambalá. Los datos geocronológicos obtenidos, permiten correlacionar al evento de muy bajo-bajo grado metamórfico de la Formación Puncoviscana, con edades de 530-568 Ma, con sus equivalentes más profundos en la sierra de Quilmes, representados por rocas calcosilicáticas de 571 Ma, granulitas con 480 Ma y las relacionadas con fenómenos anatécicos y graníticos con edades de 453 Ma (Granito Cafayate) y 446 Ma (Loma Colorada), típicas para el Ciclo Famatiniano. Esto se reitera en la tonalita El Infiernillo, de 419 Ma, en las granodioritas sintectónicas de la Formación El Portezuelo, con 445 Ma; en el gneis de La Puntilla de Copacabana con 483 Ma y en el gneis de la sierra de Fiambalá con 440 Ma. Asimismo la faja de deformación de la sierra de Copacabana, con una edad de 388 Ma, se relaciona con los granitos de Zapata de 395 Ma, y los de La Punta, de 405 Ma y Señor de la Peña, 376 Ma, en la sierra de Velasco. Esto muestra que metamorfismo, deformación y magmatismo del Ciclo Famatiniano, se superimponen al Ciclo Pampeano.

Palabras clave: *Rocas calcosilicáticas, Granulitas, Geocronología, Geoquímica, Evolución metamórfica*

ABSTRACT. *Geochemical and geochronological analyses of granulitic and calc-silicate rocks of northwestern Sierras Pampeanas.* The calcsilicate and granulites, show different typology depending on they belong to the western or eastern belts of the northwestern Sierras Pampeanas. The mineral associations vary according to the metamorphic grade and the chemical compositions; they vary from rich in carbonates to rich in silica. They also look very different from the amphibolites. The calc-silicate in the Cumbres Calchaquies, Aconquija and Ancasti ranges, show mineral associations with quartz, plagioclase, clinozoicite, garnet, hornblende, titanite, diopside, biotite and calcite; while in the sierra de Quilmes, in granulite facies conditions, hypersthene and scarce biotite are present, and both are different to calc-silicate from sierra de Fiambalá. The geochronologic data obtained, allows to correlate to the event of very-low to low metamorphic grade of the Puncoviscana Formation, with ages of 530-568 Ma, with their equivalent ones deeper in the sierra de Quilmes, represented by calc-silicates with ages of 571 Ma, and granulites with 480 Ma, followed by anatexis phenomena, like those to the Cafayate granite with 453 Ma, and the migmatites of Loma Colorada with 446 Ma. This event is reiterated in the El Infiernillo Tonalite of 419 Ma, in the syntectonic-granodiorites of El Portezuelo Formation, with 445 Ma; in the gneiss of La Puntilla with 483 Ma, and in the gneiss of Sierra de Fiambalá with 440 Ma. On the other hand, the deformation zone of the Sierra de Copacabana, with an age of 388 Ma, is related to the granitoids of Zapata with 395 Ma; La Punta with 405 Ma, and Señor de la Peña, of 376 Ma. These values demonstrate that metamorphism, deformation and magmatism of the Famatinian Cycle, are superimposed over the Pampean cycle.

Key words: *Calc-silicates, Granulites, Geochronology, Geochemistry, Metamorphic evolution*

Introducción

La clásica separación litológica realizada por Caminos (1979) en las Sierras Pampeanas Noroccidentales en dos sectores, el occidental y el oriental es de suma importancia en la distribución y tipología geoquímica de las rocas calcosilicáticas, así como en la discusión de sus edades y génesis.

El sector oriental, se desarrolla en las sierras de Salta,

Tucumán y Catamarca, e incluye hasta el Sistema de Famatina, en La Rioja. Está constituida esencialmente por turbiditas metapsamíticas y metapelíticas, poli-metamórficas. El metamorfismo de grado más bajo está representado por pizarras y filitas, con escasas y delgadas intercalaciones de concreciones y/o bloques carbonáticos y con el aumento de metamorfismo se forman silicatos cálcicos como clinozoicita, epidoto y a veces titanita; el grado mediano de metamorfismo está

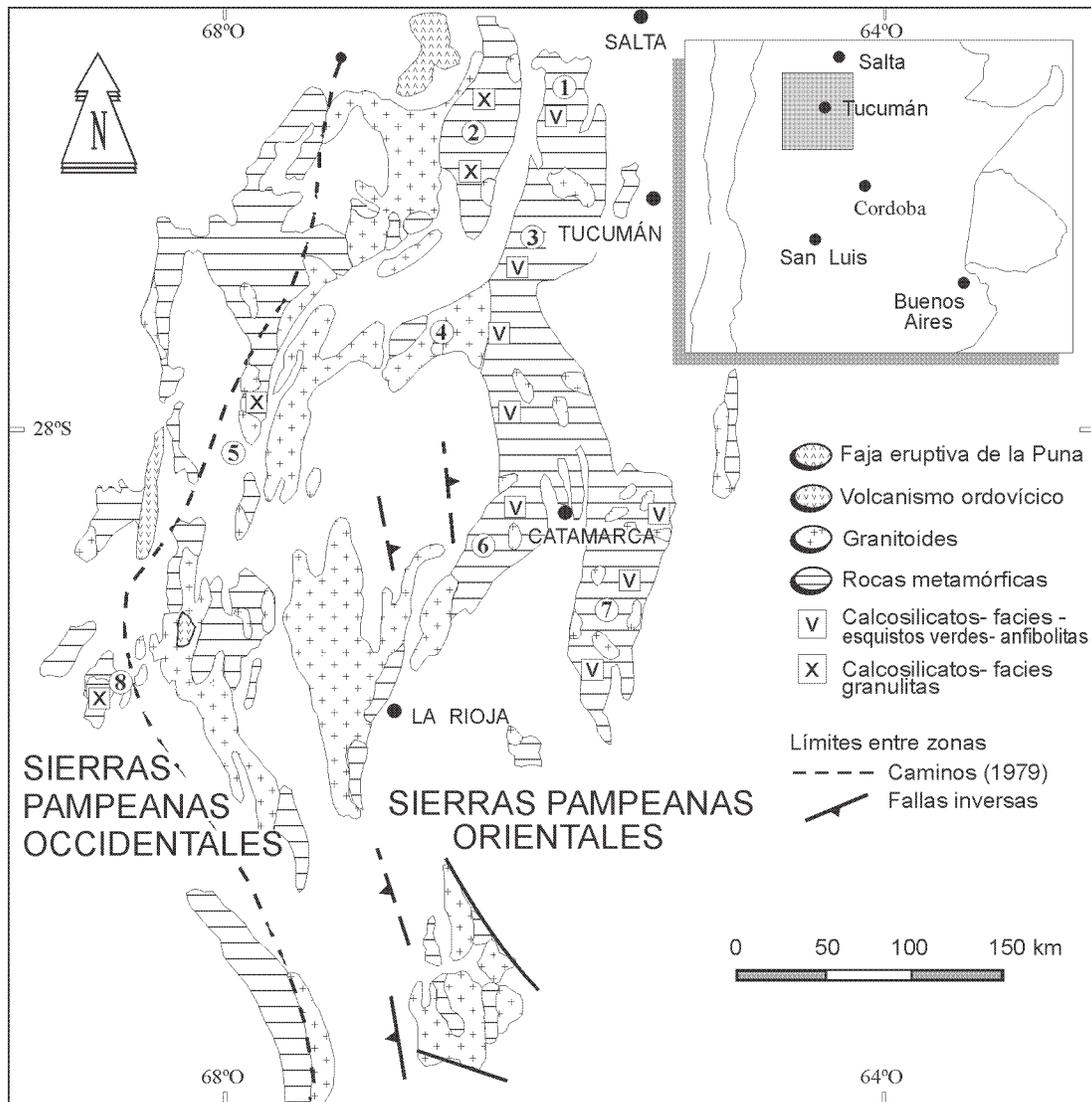


Figura 1: Esquema geológico general de las Sierras Pampeanas. 1, Cumbres Calchaquíes; 2, Sierra de Quilmes; 3, Sierra de Aconquija; 4, Sierra de Capillitas; 5, Sierra de Fiambalá; 6, Sierra de Ambato; 7, Sierra de Ancasti; 8, Sierra de Maz.

representado por esquistos psamopelíticos bandeados con lentes de rocas calcosilicáticas de aspecto félsico a menudo deformadas y boudinadas, compuestas por plagioclasa, cuarzo, clinozoicita, granate, hornblenda, titanita, diópsido y calcita. El alto grado de metamorfismo está representado por gneises y migmatitas metapelíticas con grado variable de deformación conteniendo *boudins* de granulitas subordinadas, caracterizadas por la aparición de hipersteno.

El sector occidental de Caminos (1979) está constituido por las Sierras Pampeanas Occidentales, ubicadas al oeste del Sistema de Famatina, así como por las sierras de San Buenaventura y Fiambalá occidental. Está formada por rocas polimetamórficas, pero en general de grado más alto. Las fases pelítico-arenosas son de menor volumen que los carbonatos y rocas metabásicas (mármoles y anfibolitas.) Las intrusiones básicas y ultrabásicas son volumétricamente más importantes y

las granulitas netamente subordinadas. Las rocas calcosilicáticas se encuentran en paragénesis de facies granulita.

Uno de los puntos importantes, motivo de variada interpretación, es si la interpretación regional del basamento metamórfico pueden establecerse diferencias de edad en relación con el grado de metamorfismo o si las paragénesis minerales pertenecen a un mismo protolito, que fue exhumado en forma diferencial, así como las relaciones con intrusivos graníticos. Por otra parte si las evoluciones de los basamentos de la Sierras Pampeanas Orientales y Occidentales, son similares o muestran diferencias en su evolución metamórfica.

Con el fin de contribuir a aclarar estos puntos, hemos investigado *boudins* de felsitas calcosilicáticas del basamento de las Cumbres Calchaquíes y Ancasti, comparándolas con las granulitas budinadas del basamento de la sierra de Quilmes, como así también con las rocas

calcosilicáticas de la sierra de Fiambalá. Esto en relación con las edades de diferentes granitoides y de las fajas de deformación.

Para ello hemos utilizado los antecedentes geocronológicos existentes y hemos realizado nuevas determinaciones U-Pb de circones y monacitas, de diferentes granulitas y de rocas metamórficas en las cuales se hallan incluidas, así como de granitoides y de zonas miloníticas.

Geología y petrografía de las rocas calcosilicáticas

En los esquistos bandeados de las Cumbres Calchaquíes y de la sierra de Ancasti, estas rocas se destacan en forma de lentes y bancos de pocos centímetros a decímetros de espesor, por su grano fino y aspecto hornfelsoide. El primero que las identificó fue Stelzner (1923), en Cumbres Calchaquíes. González Bonorino (1951) describió las intercaladas en filitas y esquistos bandeados de la sierra de Aconquija. Rossi de Toselli *et al.* (1982) las estudiaron con detalle en Tafi del Valle (Cumbres Calchaquíes.) Dichos autores reconocieron lentes y bancos zonados, con variaciones desde el borde al centro. La zona marginal está compuesta por granos poiquiloblásticos de hornblenda oscura y granate rojo, bien formado, de hasta 1-2 mm y una masa de fondo, granoblástica, compuesta por plagioclasa cálcica (An 70-75) y cuarzo. La zona central, tiene menos plagioclasa y abunda la clinzoicita-epidoto, acompañado por hornblenda actinolítica. El diópsido aparece como parches dentro de hornblenda.

En las zonas más deformadas, las rocas calcosilicáticas se comportan como materiales competentes y forman frecuentes *boudins*. En la sierra de Ancasti, Willner *et al.* (1983) las describen como *boudins* orientados en échelon en flancos de pliegues F_1 paralelas al bandeamiento S_2 o como masas difusas oblicuas a S_2 . Willner *et al.* (1983) y Lottner (1986), realizaron análisis químicos de elementos mayoritarios y algunos elementos trazas de estas rocas.

En la zona de Tafi del Valle, Toselli y Rossi de Toselli (1984), en base de las paragénesis estaurolita - andalucita - almandino en los esquistos bandeados, estimaron un pico metamórfico con temperaturas de 525 - 580°C y presiones de 2,8 a 3,6 kbar. La edad del metamorfismo puede ser relacionada con la edad Rb/Sr de 470 Ma y R.I. de 0,7063±0,005, de la intrusión del granito Loma Ancha del Valle de Tafi (Sales de López *et al.* 1997.) Dichas condiciones físicas de metamorfismo corresponden a la serie cianita-sillimanita (Miyashiro 1994).

En el Complejo Tolombón, al Norte de la sierra de Quilmes, afloran terrenos migmatíticos con la paragénesis cordierita, granate, feldespato potásico, sillimanita, variadamente deformados, los cuales incluyen *boudins* de granulitas de grano fino, compuestas por plagioclasa, hipersteno, cuarzo y biotita accesoria

(Rossi de Toselli *et al.* 1976; Toselli *et al.* 1978). Las granulitas, por sus relaciones geológicas con las migmatitas que las incluyen parecen ser los equivalentes de más alto grado metamórfico de las rocas calcosilicáticas anteriormente descriptas.

Las condiciones físicas del metamorfismo de alto grado utilizando los pares cordierita-granate y biotita-granate determinan valores de 713°C y 5,4 Kb, para una presión parcial de agua de 0,33 de la presión total o de 5,7 Kb para una presión parcial de agua de 0,4 de la presión total (Rossi de Toselli *et al.* 1987).

En la sierra de Fiambalá, Neugebauer (1996) y Grissom *et al.* (1998), identificaron granulitas calcosilicáticas compuestas por gneises bandeados con las asociaciones minerales: diópsido y granate; wollastonita, diópsido y escapolita; cuarcitas calcosilicáticas y mármoles con diópsido. Todos estos tipos de rocas están estrechamente asociados en el campo con metabasitas y gneises migmatíticos. Las determinaciones termobarométricas dieron temperaturas próximas a los 800°C y presiones de 7,5 kbar (Neugebauer 1996). En el área La Ramadita de la sierra de Maz, Killmurray e Iñiguez Rodríguez (1968) describieron la asociación diópsido-escapolita en mármoles intercalados con gneises migmatíticos de alto grado, pero no se tienen datos geoquímicos de estas paragénesis. Porcher *et al.* (2003) presentan para las sierras de Umango y Maz, datos geotermobarométricos que indican condiciones barrobianas para el metamorfismo, que pueden ser interpretadas como resultantes de procesos colisionales y edades modelo Sm/Nd (T_{DM}) de 2,6 a 2,0 Ga, similares a las reportadas en otras localidades de Gondwana.

Geoquímica

Se cuenta con 58 análisis químicos de elementos mayores y trazas de rocas calcosilicáticas de Cumbres Calchaquíes, sierras de Ancasti, de Quilmes y Fiambalá, como así también de ortoanfibolitas, esquistos y gneises de diversas procedencias de Sierras Pampeanas. Con datos compilados de otros autores y propios, se han seleccionado 36 para su proyección en los gráficos correspondientes.

El diagrama ACF de Winkler (1967), modificado por Hutchison (1974) es adecuado para discriminar los distintos tipos litológicos de protolitos (Fig. 2). Los valores de A, C, y F son los óxidos Al_2O_3 , CaO y $Fe_2O_3 + MgO$ expresados en proporciones molares, respectivamente. Los esquistos, gneises y migmatitas se proyectan en el campo pelítico. Los calcosilicatos de las Cumbres Calchaquíes, sierra de Ancasti y granulitas hipersténicas de Quilmes, se agrupan en el campo de sedimentos cuarzo-feldespáticos. Las granulitas calcosilicáticas de la sierra de Fiambalá se proyectan en el campo de las rocas calcáreas y las ortoanfibolitas en el campo de las rocas básicas.

La figura 2b muestra los datos proyectados en un

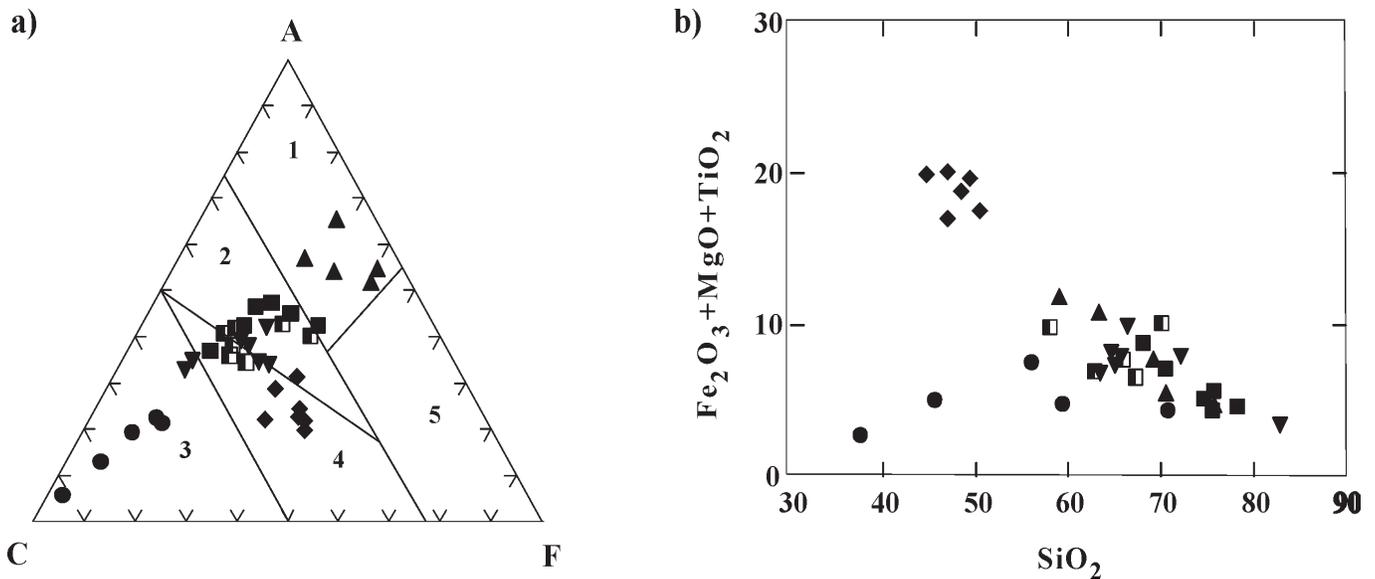


Figura 2: a, Diagrama ACF: Símbolos, triángulos: esquistos, gneises y migmatitas; cuadrados: granulitas hipersténicas sierra de Quilmes; cuadrados semivaciados: rocas calcosilicáticas Cumbres Calchaquíes; triángulos con vértice hacia abajo: rocas calcosilicáticas sierra de Ancasti; rombos: ortoanfibolitas; círculos: granulitas calcosilicáticas sierra de Fiambalá. Campos, 1 – rocas pelíticas; 2 – rocas cuarzo feldespáticas; 3 – rocas calcáreas; 4 – rocas básicas; 5 – rocas magnesianas (ultrabásicas). b, El diagrama $Fe_2O_3 + MgO + TiO_2$ vs. SiO_2 , discrimina a las ortoanfibolitas de las rocas calcosilicáticas, granulitas, metapelitas y metapsamitas. Símbolos como en Fig.2a.

diagrama de Harker que discrimina bien las rocas básicas. Las ortoanfibolitas están así separadas de todas las rocas calcosilicáticas, metapelitas y metapsamitas. El rango en el contenido de sílice es de 60 a 80% en estas últimas rocas, mientras que en las granulitas calcosilicáticas de Fiambalá la sílice es mucho más variable.

En la figura 3a, los elementos de transición como el escandio y vanadio tienden a concentrarse en las rocas básicas, que se proyectan separadas de las rocas calcosilicáticas, metapelitas y metapsamitas.

La figura 3b, muestra que las tierras raras de las rocas calcosilicáticas de las Cumbres Calchaquíes, las granulitas hipersténicas de Quilmes, así como los

esquistos y gneises respectivos tienen abundancias muy cercanas a las correspondientes al promedio de la corteza superior, independientemente del grado de metamorfismo o nivel tectonometamórfico que posean.

Antecedentes geocronológicos

Becchio (2000) y Lucassen *et al.* (2000) proponen la existencia de un cinturón móvil de aproximadamente 500 Ma en el tramo andino 18° a $26^\circ S$, con edades modelo Sm-Nd T_{DM} variables de 1,4 a 2,2 Ga y desestiman la acreción de terrenos exóticos o paraautóctonos.

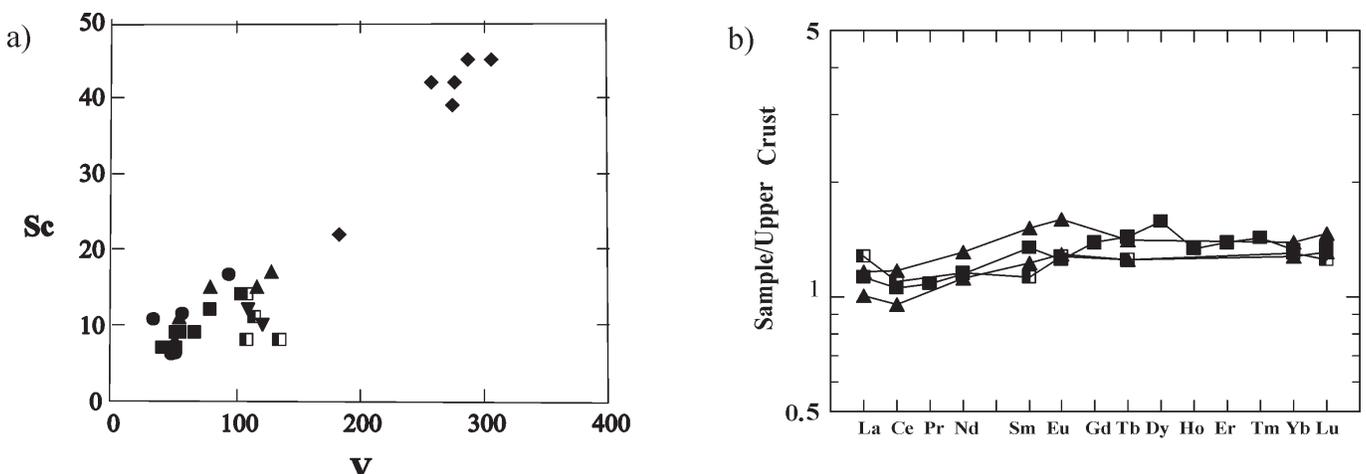


Figura 3: a, El diagrama Sc vs. V, separa a las ortoanfibolitas de las rocas calcosilicáticas, granulitas, metapelitas y metapsamitas. b, Patrón de tierras raras normalizado a corteza superior. Todas las rocas muestran abundancias muy cercanas al promedio de corteza superior. Símbolos como en Fig. 2a.

Cuadro 1: Análisis químicos correspondientes a: Calcosilicatos: Sierras de Ancasti, Aconquija y Capillitas. Anfibolitas: Sierras de Ancasti, Chica de Córdoba y Fiambalá. Esquistos, gneises y cuarcitas: Sierras de Ancasti, Quilmes y Fiambalá.

	Rocas calcosilicáticas, Sierra de Ancasti																C. Calchaquies		
	1	14	61	101	112	124	128	129	130	131	132	177	231	257	391	1974	1975	1225	1486
SiO ₂	63,42	82,83	68,54	72,12	66,49	71,62	49,24	46,13	54,29	63,60	66,32	65,86	64,58	66,51	67,65	65,38	65,68	61,43	67,32
TiO ₂	0,58	0,28	0,94	0,94	0,72	0,66	2,60	3,80	2,26	0,68	0,52	0,67	0,75	0,73	0,54	0,63	0,74	0,43	0,45
Al ₂ O ₃	16,11	6,91	12,94	12,21	14,66	13,06	15,68	15,31	15,00	15,65	12,26	14,96	16,86	14,14	15,26	15,04	14,46	17,04	14,98
Fe ₂ O ₃	4,93	2,61	5,55	5,32	4,83	4,01	13,34	14,34	11,90	4,95	7,48	5,10	5,13	5,02	4,19	5,22	5,17	4,73	4,60
MnO	0,44	0,15	0,24	0,29	0,32	0,38	0,25	0,21	0,24	0,22	0,52	0,24	0,36	0,13	0,35	0,37	0,32	0,37	0,35
MgO	1,27	0,46	1,93	1,62	1,51	1,34	1,97	3,99	1,16	2,79	1,89	1,92	2,32	2,51	1,68	1,80	2,05	1,35	1,52
CaO	12,94	6,21	8,27	6,83	8,15	8,36	9,31	11,13	10,33	10,55	7,49	9,46	9,32	8,12	8,77	9,67	6,26	12,68	7,73
Na ₂ O	0,42	0,16	0,44	0,36	0,68	0,36	4,21	3,02	2,77	0,54	0,67	0,60	0,54	1,86	0,70	0,31	0,71	0,56	0,86
K ₂ O	0,16	0,36	0,36	0,17	0,46	0,16	1,80	0,68	0,32	0,96	0,79	0,21	0,24	0,58	0,28	0,24	1,17	0,18	0,92
P ₂ O ₅	0,41	0,09	0,30	0,33	0,46	0,18	0,94	0,61	0,86	0,15	0,17	0,35	0,32	0,19	0,25	0,27	0,37	0,70	0,92
LOI	0,34	0,97	0,36	0,08	1,04	0,27	0,76	0,84	1,21	0,74	1,04	0,43	0,21	0,60	0,26	2,23	1,96	1,36	1,27
Total	100,70	100,06	99,51	100,20	98,28	100,10	99,34	99,22	99,13	100,10	98,11	99,37	100,42	99,79	99,67	98,74	96,93	99,47	99,65
Cr	52,00	33,00	70,00	72,00	70,00	47,00	32,00	35,00	24,00	80,00	70,00	---	61,00	68,00	69,00	78,00	191,00	73,00	103,00
Ni	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	45,00	39,00	27,00	27,00
Co	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	29,00	28,00	46,00	28,00
Sc	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11,00	12,00	7,00	8,00
V	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	83,00	109,00	178,00	108,00
Rb	---	---	---	---	32,00	---	37,00	18,00	16,00	16,00	42,00	---	---	---	---	6,00	59,00	8,00	44,00
Cs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,40	5,20	1,90	4,40
Ba	---	---	---	---	189,00	---	402,00	164,00	210,00	139,00	148,00	---	---	---	---	---	383,00	134,00	274,00
Sr	501,00	114,00	241,00	150,00	224,00	289,00	37,00	355,00	393,00	337,00	103,00	---	144,00	178,00	211,00	188,00	253,00	531,00	217,00
Ta	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,30	2,30	3,90	2,50
Nb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	12,80	14,00	14,60	10,00
Hf	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,00	5,70	3,00	3,40
Zr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	150,00	224,00	117,00	1,40
Y	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	41,00	36,00	25,00	34,00
Th	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8,54	11,60	6,28	7,04
U	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,13	32,90	23,00	22,30
La	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	30,20	32,90	23,00	22,30
Ce	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	56,30	70,20	44,60	50,00
Pr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7,10	7,90	5,15	5,30
Nd	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	29,30	31,40	20,40	20,70
Sm	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5,97	6,40	3,80	4,10
Eu	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,52	1,49	0,99	1,13
Gd	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6,30	6,31	4,07	4,03
Tb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,02	1,04	0,62	0,75
Dy	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6,01	5,87	3,72	4,62
Ho	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,24	1,16	0,77	0,98
Er	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,11	3,76	2,58	3,47
Tm	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,69	0,60	0,38	0,59
Yb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,42	3,74	2,49	4,10
Lu	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,68	0,55	0,39	0,64

Las edades K/Ar, sobre roca total, determinadas por Adams *et al.* (1990), correspondientes a la Formación Puncoviscana, caen dentro del rango de 537-568 Ma.

Valores algo más antiguos obtuvieron Do Campo *et al.* (1999) aplicando el método K/Ar sobre porciones finas, con una edad de 620 Ma para el evento metamórfico principal y una estimación de 670 Ma para la diagénesis de los sedimentos, aunque estas edades vendianas no serían compatibles con la antigüedad que establecen las trazas fósiles halladas en esta unidad. En otra contribución Do Campo y Cagnoni (2001) aplican el método Rb/Sr a fracciones finas, encontrando que el método no es satisfactorio para estas pelitas anquizonales. En este caso la edad obtenida de 486 ± 17 Ma, es atribuida al ascenso y exhumación ocurridos en el Ordovícico inferior a medio. Las edades máximas deben proveer una estrecha aproximación con los estadios más antiguos del metamorfismo; esto indica también que las edades de sedimentación de las pizarras y filitas de las localidades ubicadas al oeste de San Miguel de Tucumán, son decididamente precámbricas (edades mayores a 545 Ma). Estas edades serían coherentes con los registros de trazas fósiles encontradas en las pro-

vincias de Salta y Tucumán, que indican un evento de deposición neoproterozoico, muy próximo al primer evento metamórfico.

Lork *et al.* (1990) utilizan las edades más jóvenes obtenidas en circones detríticos volcánoclasticos de la Formación Puncoviscana, estableciendo que la sedimentación, en la sierra de Cachi (Cordillera Oriental), no puede ser más antigua que 530-560 Ma.

En la sierra de Quilmes las dataciones K/Ar sobre filitas y gneises, dan valores de 465 a 430 Ma (Rapela 1976), que pueden estar indicando eventos térmicos graníticos y deformativos posteriores. Becchio (2000) estableció por isocronas Sm-Nd, edades para metabasitas granulíticas, sobre plagioclasa-ortopiroxeno-clinopiroxeno, de 412 ± 18 Ma y sobre plagioclasa-roca total-granate de 442 ± 9 Ma.

Los trabajos de Bachmann y Grauert (1987 a,b), llevados a cabo sobre gneises bandeados polimetamórficos en las sierras de Ancasti y Cumbres Calchaquies, muestran isocronas Rb/Sr sobre roca total y minerales como biotita, feldspatos, granate y muscovita, con edades entre 540 y 580 Ma, en la cual la roca total y el granate se hallan sobre la misma recta de re-

Cuadro 1: Continuación

	Cumbres Calchaquies									Sierra de Fiambalá							
	1487	6199	6202	6203	6204	2449	2455	2456	2000	f-5	f-8b	f-13	f-17b	f-20b	f-36e	f-56b	f-115
SiO ₂	65,95	58,09	70,10	65,07	62,91	70,53	55,69	53,07	63,87	59,42	45,57	76,52	61,15	70,87	47,10	37,52	56,00
TiO ₂	0,63	0,70	1,40	0,60	0,45	0,54	0,75	0,76	0,67	0,42	0,47	0,41	0,61	0,40	2,16	0,21	0,71
Al ₂ O ₃	15,04	15,77	11,26	14,28	16,77	11,77	18,06	17,63	15,33	9,82	10,48	9,62	14,93	7,98	13,38	5,41	11,95
Fe ₂ O ₃	5,22	6,20	6,54	4,75	4,86	3,20	6,93	6,88	5,61	3,06	3,11	3,20	4,81	2,71	14,67	1,72	4,76
MnO	0,37	0,43	0,24	0,35	0,34	0,18	0,13	0,14	0,32	0,07	0,07	0,07	0,08	0,04	0,22	0,04	0,09
MgO	1,80	2,87	2,16	2,00	1,57	1,49	3,13	3,30	2,47	1,23	1,46	1,20	2,39	1,18	7,18	0,71	2,03
CaO	9,03	10,23	3,93	9,42	9,54	5,54	11,45	14,28	5,80	19,75	36,00	6,18	11,00	12,55	11,23	48,23	19,80
Na ₂ O	0,62	0,66	1,92	0,62	0,63	0,83	1,02	0,54	0,50	0,96	5,22	0,74	0,92	1,12	2,07	0,36	1,45
K ₂ O	0,22	1,14	1,08	0,36	0,32	0,36	0,85	1,47	3,12	3,28	2,61	1,83	3,50	2,14	0,62	2,01	2,30
P ₂ O ₅	0,45	0,29	0,23	0,33	0,75	0,20	0,19	0,15	0,23	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,22	-----	0,22
LOI	1,29	2,21	1,11	1,09	1,05	4,49	1,98	2,54	2,66	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Total	99,34	96,38	98,96	97,78	98,14	96,44	98,20	98,22	97,92	98,42	101,01	100,07	99,76	99,31	99,38	96,55	99,55
Cr	86,00	70,00	58,00	98,00	39,00	57,00	97,00	112,00	97,00	62,90	57,40	53,10	65,30	58,80	171,60	16,30	70,60
Ni	34,00	44,00	25,00	28,00	22,00	27,00	44,00	42,00	43,00	18,30	19,20	18,40	31,20	20,10	40,60	9,40	36,90
Co	38,00	37,00	36,00	33,00	32,00	28,00	32,00	26,00	29,00	41,70	25,10	157,50	99,50	80,30	91,10	9,20	79,30
Sc	11,00	14,00	14,00	10,00	8,00	8,00	18,00	19,00	13,00	6,20	11,51	3,50	8,30	6,30	45,50	108,00	16,70
V	115,00	108,00	104,00	121,00	134,00	56,00	125,00	119,00	91,00	47,70	56,40	46,20	62,70	50,80	393,80	33,20	94,50
Rb	8,00	44,00	48,00	15,00	-----	14,00	40,00	78,00	133,00	248,50	246,30	140,00	220,00	99,40	20,50	152,20	135,00
Cs	0,60	1,10	2,30	1,50	1,00	3,70	1,90	4,00	2,60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ba	149,00	199,00	322,00	41,00	417,00	22,00	504,00	580,00	976,00	509,80	338,00	501,00	843,50	546,50	91,70	491,70	568,00
Sr	358,00	603,00	274,00	274,00	157,00	101,00	759,00	800,00	205,00	841,80	1842,0	323,00	646,00	653,00	268,20	3160,1	798,50
Ta	3,10	1,80	2,70	1,90	1,90	2,30	2,60	2,60	2,40	2,80	5,70	1,30	2,10	3,40	1,10	0,20	3,10
Nb	11,50	-----	-----	-----	-----	11,50	17,00	15,10	14,70	11,10	8,60	11,30	15,30	10,10	12,10	13,50	14,00
Hf	4,90	3,60	16,20	4,00	3,30	6,00	4,00	4,20	4,00	3,30	1,40	6,00	4,20	4,80	6,80	9,40	1,80
Zr	193,00	134,00	695,00	171,00	114,00	239,00	153,00	148,00	150,00	294,80	393,80	240,00	223,00	301,50	128,00	600,40	161,50
Y	40,00	29,00	54,00	30,00	29,00	32,00	33,00	46,00	32,00	30,50	29,40	28,20	35,90	24,20	35,30	26,70	32,60
Th	9,30	9,90	16,50	7,50	4,90	11,20	17,00	17,50	13,90	10,90	12,80	10,70	16,00	8,40	-----	7,90	6,50
U	2,29	2,10	2,30	1,60	1,00	2,30	3,53	5,32	2,99	2,40	2,80	4,10	3,10	3,50	0,50	3,70	2,70
La	26,70	32,60	54,00	38,20	18,20	28,30	33,15	38,10	35,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ce	62,90	75,00	122,00	70,00	40,00	56,90	80,60	86,10	72,10	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pr	6,69	-----	-----	-----	-----	6,64	8,43	9,97	8,21	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Nd	27,60	30,00	49,00	30,00	18,00	26,70	33,40	39,40	32,20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sm	5,94	5,78	10,10	5,07	3,42	5,53	6,79	8,60	6,31	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Eu	1,48	1,14	1,71	1,12	0,97	1,07	1,62	1,83	1,48	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Gd	6,27	-----	-----	-----	-----	5,82	6,74	8,69	6,42	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tb	1,04	0,90	1,50	0,80	0,70	0,93	1,04	1,43	0,98	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Dy	6,31	-----	-----	-----	-----	5,25	5,79	8,37	5,60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ho	1,26	-----	-----	-----	-----	0,99	1,12	1,63	1,08	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Er	4,05	-----	-----	-----	-----	3,10	3,44	5,14	3,43	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tm	0,63	-----	-----	-----	-----	0,47	0,53	0,80	0,52	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Yb	4,00	2,70	6,00	2,87	3,57	2,90	3,23	4,71	3,21	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lu	0,58	0,58	0,40	0,40	0,51	0,40	0,46	0,70	0,45	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

gresión; mientras que las micas y el feldespato forman isocronas de minerales con edades menores, de 435 a 470 Ma. La interpretación sería que los valores más altos de 540-580 Ma, están representando la época en que se formó el bandeo principal S₂, mientras se producía la cristalización del granate durante M₂. Estas serían edades relicticas que se habrían conservado dentro de un entorno rejuvenecido.

El proceso metamórfico principal M₃, ocurrió entre 425-470 Ma, que dio lugar en el flanco oeste de la sierra de Ancasti a la formación de migmatitas. Knüver (1983) estableció por Rb-Sr para las migmatitas de la Formación El Portezuelo una edad de 472 ± 26 Ma, asimismo en muestras con biotita y muscovita obtuvo valores de 453 ± 15 Ma y 447 ± 17 Ma.

En la sierra de Fiambalá, Söllner *et al.* (2001), establecen una concordia U-Pb, para los circones del ortogneis La Puntilla, de 467 Ma. Isocronas Rb-Sr de milonitas dan edades de 357 y 392 Ma. De acuerdo a Grissom *et al.* (1998) la intrusión de gabronorita es de 515-510 Ma. Höckenreiner *et al.* (2001), obtienen para granitos del extremo norte de la sierra de Copacabana edades U-Pb sobre circones de 495-460 Ma. En el cinturón Las Termas edades modelo Sm-Nd T_{DM} de granitos y gneises, dan 1,8 - 2,15 Ga.

Determinaciones geocronológicas

En la quebrada del Infiernillo, en las Cumbres Calchaquies, en el kilómetro 90 de la ruta provincial 307, aflora el plutón El Infiernillo (muestra PAM-01, 26°42'49"S - 65°47'46"O). Corresponde a una tonalita con hornblenda-epidoto, de grano medio, con glomérulos de biotita y con grandes *roof pendants* de esquistos micáceos. Las determinaciones U-Pb sobre circones, que en general son escasos y poseen tipologías diferentes, e interceptan a 419 + 17 y -23 Ma (Fig. 4) y muestran una buena interceptación superior en 1233 ± 110 Ma.

En la sierra de Quilmes, a la latitud de Colalao del Valle, se encuentra Loma Colorada, que está constituida por una protomilonita rosada leucocrática, generada bajo condiciones de alta temperatura, con sillimanita, muscovita, feldespato potásico y frecuentes *ribbons* de cuarzo. El análisis geocronológico U-Pb (muestra PAM-03, 26°20'33"S - 66°00'55"O) sobre circones, da una edad media de 446 ± 8 Ma (Fig. 5), que refleja la edad del proceso metamórfico generador de la roca gneisica. Los circones, que son posiblemente de origen detrítico, presentan hábito prismático, con caras y aristas redondeadas, y se ubican en el diagrama entre 435 y 447 Ma,

Cuadro 1: Continuación

	Gneis - Granulitas, Sierra de Quilmes							Anfibolita Sa. de Ancasti			Sa. Chica de Córdoba			Sa. Fiambalá		Esquistos-cuarzitas, Sierra de Fiambalá					
	6434	6434	6211	6432	6433	6434	6435	6212	6213	6214	6205	6206	6207	f-56a	f-56e	6093	6200	6201	f-29	f-56c	f-56d
SiO ₂	69,15	69,15	75,63	78,28	75,83	68,12	74,66	50,38	49,37	48,42	46,94	46,98	44,60	61,53	49,67	63,29	75,81	58,99	87,18	57,46	85,76
TiO ₂	0,69	0,69	0,43	0,54	0,58	0,61	0,56	0,81	2,57	0,80	0,87	0,82	0,88	1,05	2,00	0,84	0,54	0,89	0,20	1,09	0,23
Al ₂ O ₃	14,14	14,14	10,29	10,80	11,12	13,61	11,47	14,35	15,72	14,27	14,47	15,78	13,10	16,41	14,71	16,20	11,48	18,38	5,26	20,11	4,03
Fe ₂ O ₃	5,06	5,06	2,75	2,79	3,80	5,04	3,16	9,89	13,37	10,71	10,85	8,67	10,31	7,80	13,10	6,71	2,91	7,51	1,27	8,47	1,15
MnO	0,10	0,10	0,17	0,10	0,09	0,16	0,14	0,15	0,26	0,17	0,18	0,18	0,16	0,14	0,19	0,10	0,08	0,10	0,02	0,09	0,03
MgO	2,00	2,00	1,10	1,20	1,20	3,12	1,37	6,83	3,77	7,32	8,43	7,52	8,76	3,30	6,89	3,30	1,25	3,44	0,63	2,45	0,51
CaO	1,98	1,98	7,24	4,20	3,83	3,98	5,49	11,50	8,93	12,54	13,08	17,03	13,42	2,52	11,58	1,26	2,02	0,87	0,67	1,14	1,64
Na ₂ O	2,35	2,35	0,41	1,25	1,73	2,36	0,65	2,76	3,04	2,99	2,03	1,95	1,91	2,48	0,40	1,58	2,78	1,36	0,53	0,89	0,20
K ₂ O	3,48	3,48	0,43	0,57	0,79	1,26	0,65	0,27	0,52	0,26	0,39	0,50	1,59	3,31	0,54	3,78	1,49	4,38	3,13	6,90	3,75
P ₂ O ₅	0,13	0,13	0,19	0,12	0,21	0,19	0,14	0,07	0,56	0,08	0,08	0,08	0,08	0,13	0,22	0,22	0,27	0,35	0,10	0,24	0,12
LOI	1,25	1,25	1,17	0,64	1,23	1,91	1,93	1,49	0,75	1,65	1,49	1,36	4,53	-----	-----	2,10	0,95	2,39	-----	-----	-----
Total	100,33	100,33	98,64	100,49	100,41	100,37	100,22	97,01	98,11	97,56	97,32	99,51	94,81	98,84	99,47	97,28	98,63	96,27	99,12	99,06	97,58
Cr	90,00	90,00	64,00	61,00	62,00	77,00	107,00	264,00	22,00	251,00	165,00	435,00	316,00	99,60	207,00	69,00	53,00	75,00	40,50	76,60	19,20
Ni	-----	-----	20,00	-----	-----	-----	-----	78,00	23,00	71,00	85,00	196,00	146,00	30,30	49,60	47,00	22,00	48,00	17,30	40,50	14,00
Co	31,00	31,00	34,00	27,00	36,00	19,00	20,00	51,00	42,00	53,00	54,00	49,00	47,00	40,60	68,00	33,00	35,00	30,00	295,50	41,70	42,10
V	15,00	15,00	7,00	7,00	9,00	12,00	9,00	45,00	22,00	42,00	45,00	42,00	39,00	21,90	39,60	15,00	8,00	17,00	-----	15,60	1,80
Sc	79,00	79,00	40,00	51,00	55,00	79,00	51,00	286,00	183,00	276,00	305,00	257,00	274,00	115,20	319,90	116,00	50,00	128,00	16,20	91,90	22,20
Rb	125,00	125,00	20,00	19,00	23,00	46,00	19,00	8,00	9,00	7,00	6,00	7,00	44,00	144,20	12,60	136,00	53,00	168,00	95,60	276,30	156,60
Cs	3,20	3,20	1,20	1,00	1,10	2,00	1,40	0,10	0,10	0,10	0,70	1,20	0,70	-----	-----	6,60	2,80	8,10	-----	-----	-----
Ba	484,00	484,00	38,00	52,00	172,00	215,00	135,00	41,00	156,00	64,00	104,00	105,00	266,00	654,10	81,00	509,00	222,00	559,00	474,50	1113,5	674,90
Sr	153,00	153,00	218,00	147,00	191,00	259,00	213,00	79,00	348,00	77,00	99,00	140,00	160,00	217,10	373,30	103,00	133,00	77,00	107,50	113,10	231,70
Ta	2,14	2,14	2,10	3,13	2,69	1,85	2,08	0,80	2,50	0,60	0,70	0,60	0,60	0,60	0,30	1,50	2,10	1,40	-----	0,70	2,10
Nb	12,10	12,10	-----	9,70	7,80	8,40	7,90	-----	-----	-----	-----	-----	-----	24,00	12,80	-----	-----	-----	6,80	23,20	7,90
Hf	6,40	6,40	6,00	7,50	6,70	3,50	5,30	1,10	5,80	0,80	1,00	1,20	1,20	11,60	7,20	4,30	5,30	3,80	5,50	10,50	14,70
Zr	252,00	252,00	228,00	301,00	298,00	149,00	212,00	39,00	291,00	41,00	40,00	44,00	48,00	227,00	142,90	164,00	198,00	162,00	227,50	232,80	151,50
Y	58,00	58,00	32,00	26,00	32,00	24,00	34,00	20,00	42,00	21,00	21,00	21,00	22,00	66,60	28,20	32,00	26,00	38,00	13,80	63,80	23,80
Th	18,80	18,80	8,30	11,20	11,20	8,87	10,70	0,02	3,00	0,10	-----	0,30	0,10	31,50	-----	10,10	6,20	10,40	7,10	32,70	7,60
U	1,96	1,96	2,20	2,79	2,18	2,31	2,58	0,04	0,80	0,40	0,05	0,70	0,30	3,40	0,80	1,80	1,30	2,30	2,20	5,20	-----
La	-----	-----	33,10	33,00	34,30	23,70	33,80	1,20	33,10	1,20	1,50	2,60	1,60	-----	-----	30,30	23,60	35,00	-----	-----	-----
Ce	-----	-----	68,00	65,10	69,70	44,60	67,30	4,00	65,00	4,00	7,00	7,00	5,00	-----	-----	61,00	52,00	75,00	-----	-----	-----
Pr	-----	-----	-----	7,33	7,92	4,86	7,69	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Nd	-----	-----	30,00	28,60	30,60	19,00	29,90	3,00	35,00	4,00	5,00	5,00	4,00	-----	-----	29,00	23,00	34,00	-----	-----	-----
Sm	-----	-----	5,79	5,59	6,23	3,68	6,07	1,64	8,75	1,54	1,78	1,67	1,62	-----	-----	5,52	4,75	6,81	-----	-----	-----
Eu	-----	-----	1,09	0,88	1,12	0,82	1,10	0,64	2,65	0,59	0,73	0,63	0,66	-----	-----	1,14	1,08	1,41	-----	-----	-----
Gd	-----	-----	-----	4,97	5,57	3,40	5,28	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tb	-----	-----	1,00	0,82	0,92	0,58	0,92	0,50	1,40	0,50	0,60	0,50	0,50	-----	-----	0,80	0,70	0,90	-----	-----	-----
Dy	-----	-----	-----	4,45	5,29	3,51	5,53	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ho	-----	-----	-----	0,85	1,01	0,70	1,07	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Er	-----	-----	-----	2,47	2,98	2,14	3,20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tm	-----	-----	-----	0,36	0,42	0,33	0,47	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Yb	-----	-----	2,83	2,19	2,64	2,18	2,92	2,51	3,40	2,25	2,73	2,18	2,30	-----	-----	2,80	2,28	3,07	-----	-----	-----
Lu	-----	-----	0,42	0,33	0,39	0,34	0,43	0,39	0,52	0,33	0,41	0,35	0,33	-----	-----	0,42	0,33	0,47	-----	-----	-----

que debe representar la época del evento metamórfico.

Sobre el río Anchillo (PAM-04, 26°20'13"S - 66°00'26"O), afloran *boudins* de granulitas hipersténicas, constituidas por plagioclasa, biotita y cuarzo, además de apatita y circón. Ocurren dentro de un gneis protomilonítico. El análisis U-Pb de circones dio una edad de 571 ± 16 Ma (Fig. 6), con una intersección superior *ca.* 2308 Ma. Los circones de dicha roca componen una población homogénea, formada por cristales pequeños, de redondeados a levemente ovalados, evidenciando en los estudios por cátodo luminiscencia con núcleos heredados y bordes de sobrecrecimiento (Fig. 6). Como en la muestra PAM-03, la edad obtenida es atribuida al climax del proceso metamórfico de alto grado.

En el Granito Cafayate, se dató la unidad tonalítica aflorante en la quebrada de Chuscha (PAM - 02, 26°03'56"S - 66°02'36"O), constituida por biotita, epidoto y hornblenda, de grano mediano. La edad U-Pb sobre circones de 453 ± 14 Ma, fue definida por la media de las edades ²⁰⁶Pb/²³⁸U de cuatro fracciones de circones, mostrando tres de ellas buena concordancia (Fig.7) En los circones analizados predominan los cristales prismáticos, transparentes e incoloros, sin fracturas ni inclusiones. La edad obtenida representa la época

de cristalización de los circones durante la intrusión del granito.

En el extremo suroeste de la sierra de Zapata, aflora el granito homónimo (muestra PAM-07, 28°15'44"S - 67°24'11"O). Corresponde a un granito rojo con biotita, foliado, asociado a pórfiros con feldespato potásico en una matriz cuarzo-feldespática, con granulometría gruesa. Los accesorios son biotita, cordierita, sillimanita y turmalina, además de circón, fluorita y apatita. Lateralmente grada a un granitoide grueso y porfírico, con feldespatos potásicos de hasta 10 cm de largo. Los resultados U-Pb, como en la mayoría de los granitoides de Sierras Pampeanas estudiados, muestra que la contribución cortical es muy acentuada, con herencias y disequilibrios isotópicos bien evidenciados por los circones. De esta forma, la edad es mejor definida por la monacita. En este caso, la edad de 395 ± 9Ma (Fig. 8), muestra buena concordancia con los circones.

En el extremo norte de la sierra de Copacabana, afloran milonitas (muestra PAM-08, 28°09'19"S - 67°29'56"O). Las rocas corresponden a milonitas y protomilonitas de un granitoide con muscovita, biotita y megacristales sigmoidales de feldespato potásico gris con granate y turmalina, que constituyen concentraciones y fajas elongadas. Los estudios U-Pb, dan una edad

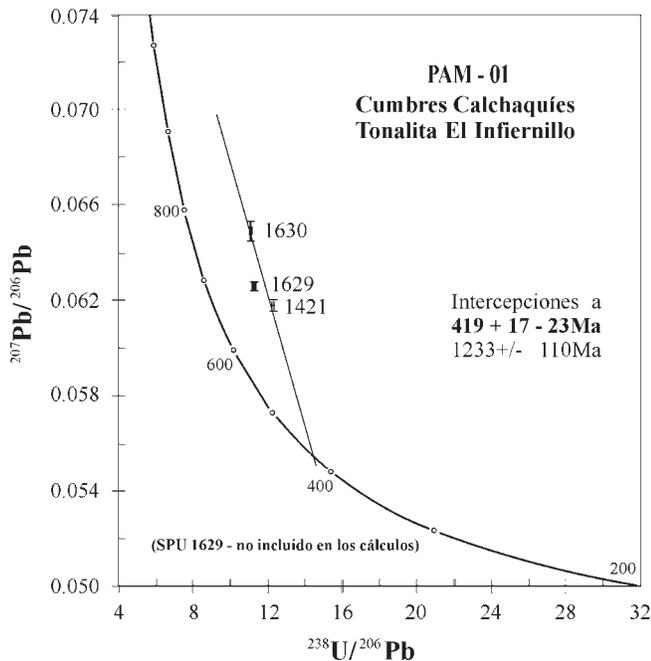


Figura 4: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para circones de la Tonalita El Infiernillo, Cumbres Calchaquies (PAM - 01), que determinan una edad de $419 \pm 17 - 23 \text{ Ma}$. La intersección superior es de ca. 1233 Ma . No se incluye la SPU 1629.

de $388 \pm 12 \text{ Ma}$, con una intersección superior de $833 \pm 100 \text{ Ma}$ (Fig. 9). La curva de regresión se realizó sobre monacita, que es el mineral que mejor define la edad y representa una buena aproximación a la edad de generación de las milonitas, ya que los circones guardan mucho más la historia evolutiva y edad del protolito que fue cizallado, por lo que la interpretación es menos confiable. Para avalar los datos obtenidos es necesario que el proceso de milonitización haya alcanzado temperaturas de $600-700^\circ\text{C}$, como lo evidencian los estudios petrológicos realizados. Asimismo una edad de $385 \pm 13 \text{ Ma}$ fue obtenida mediante una curva de regresión de todos los puntos del diagrama, incluyendo circones y monacitas.

En la sierra de Copacabana, en la localidad de La Puntilla (PAM - 9B - $28^\circ 05' 56''\text{S}$ - $67^\circ 31' 01''\text{O}$), aflora un gneis milonítico granitoide dentro de un gneis protomilonítico dominante y con ocasionales venas pegmatíticas plegadas y foliadas con muscovita, turmalina y granate. El gneis dio una edad U-Pb media de $483 \pm 26 \text{ Ma}$ (Fig. 10), sobre monacitas en especial de las fracciones 1 y 3. Los circones muestran valores dispersos en el diagrama y no definen una buena edad. Una aproximación de los puntos analíticos de los circones y de las monacitas sugiere que la edad obtenida debe estar relacionada con la época de intrusión del granito desde el que se formó la roca milonítica y no exclusivamente con el evento de cizallamiento regional.

En la sierra de Fiambalá, en la localidad de Los Ba-

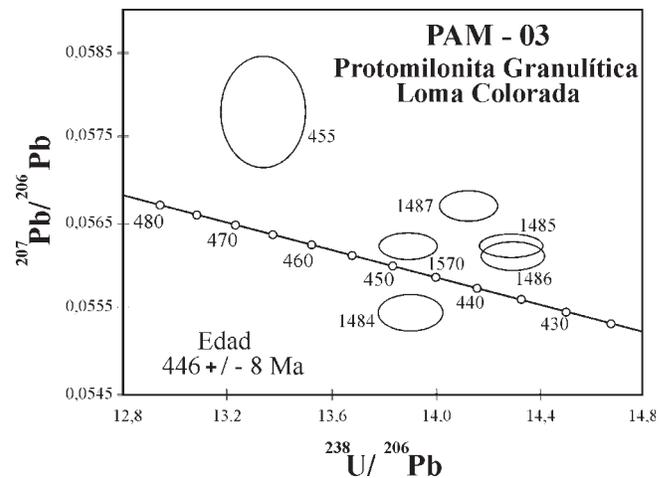


Figura 5: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para circones de la protomilonita granulítica Loma Colorada, sierra de Quilmes (PAM - 03), con una edad de $446 \pm 8 \text{ Ma}$.

ños (PAM - 10, $27^\circ 44' 37''\text{S}$ - $67^\circ 32' 44''\text{O}$), aflora un basamento metamórfico gnésico, con *boudins* de rocas calcosilicáticas y rocas carbonáticas. La roca datada corresponde a un gneis granuloso, cuarzo-feldespático con biotita. Las edades U-Pb calculadas a partir de las intersecciones de la recta de discordia definida por el alineamiento de tres de las seis fracciones de circones analizadas, indican valores de $440 \pm 6 \text{ Ma}$ y $1.367 \pm 13 \text{ Ma}$ (Fig. 11), que como las demás fracciones presenta importante herencia cortical. Considerando que las posiciones de las fracciones analizadas, están a igual distancia entre las dos intersecciones obtenidas, pueden

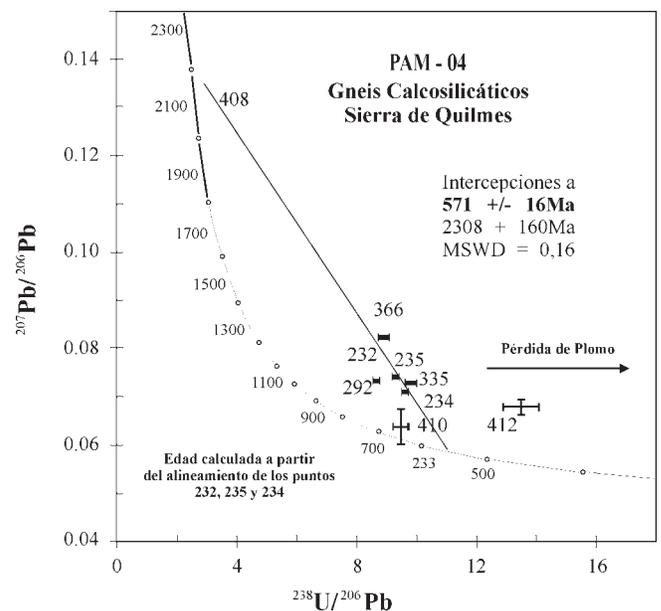


Figura 6: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para gneises calcosilicáticos, sierra de Quilmes (PAM - 04). Los circones determinan una intersección inferior de $571 \pm 16 \text{ Ma}$ y una superior de ca. 2308 Ma .

Cuadro 2: Datos analíticos y edades U-Pb de circones y monacitas.

SPU	Fracción	207/235#	error (%)	206/238#	error (%)	207/206#	error (%)	206/204*	Pb (ppm)	U (ppm)	Peso (mg)	206/238 (Ma)	207/235 (Ma)	207/206 (Ma)
PAM 01 - Sierras Pampeanas														
1629	A	0,764447	0,783	0,088588	0,728	0,062585	0,284	615,58	29,59	316,78	0,049	547	577	694
1630	B	0,804935	0,981	0,089912	0,731	0,06493	0,625	116,86	59,47	406,34	0,033	555	600	772
1421	C	0,690894	0,875	0,081095	0,788	0,06179	0,372	310,08	62,08	671,57	0,024	503	533	667
PAM 02 - Granito Cafayate - Sierra de Quilmes														
1064	A	0,534031	2,00	0,071680	1,09	0,054034	1,67	125,09	40,39	372,78	0,0464	446	434	372
1065	B	0,703201	1,25	0,069490	1,02	0,073385	0,718	225,27	31,32	360,28	0,0464	433	541	1025
1355	1A	0,568500	0,93	0,073422	0,91	0,056157	0,186	925,63	31,04	413,81	0,02849	457	457	458
1356	1B	0,555997	0,66	0,071865	0,61	0,056111	0,231	2266,19	23,58	322	0,04266	447	449	457
1358	2B	0,569881	0,73	0,073081	0,70	0,056556	0,215	1145,85	25,53	339	0,05851	454	457	474
PAM 03 - Granulita de alta temperatura - Quebrada Loma Colorada - Sierra de Quilmes														
456	B 1AA	0,640177	4,78	0,073207	1,71	0,0634	4,2	122,31	16,05	144,4	0,316	455	502	722
455	A 1AA	0,598612	1,38	0,075012	1,00	0,0578	0,917	1053,94	26,32	354,6	0,188	466	476	525
1487	A	0,555521	0,77	0,070982	0,68	0,056761	0,255	1719,60	10,83	159,9	0,0942	442	449	482
1486	B	0,543841	0,74	0,070077	0,69	0,056286	0,247	304,72	23,06	290,48	0,0803	437	441	464
1485	C	0,544536	0,73	0,070123	0,71	0,05632	0,184	1135,58	17,59	259,62	0,094	437	441	465
1484	D	0,553530	0,81	0,072048	0,74	0,055721	0,313	180,86	27,70	299,42	0,064	448	447	441
1570	E	0,558290	0,69	0,072014	0,65	0,056226	0,224	1518,56	15,97	232,78	0,07479	448	450	461
1571	F	0,520858	0,90	0,071767	0,64	0,052637	0,595	108,23	36,66	322,66	0,04385	447	426	313
PAM 04 - Gneis calco-silicático - Sierra de Quilmes														
232	M-1	1,282850	1,65	0,115018	1,01	0,08089	1,19	233,98	618,62	4184	0,10	701	838	1218
233	M-2	0,816570	1,34	0,099072	0,92	0,05977	0,91	326,37	93,16	747,22	0,12	608	606	596
234	M-3	1,024790	1,06	0,104046	0,98	0,07143	0,369	671,14	266,40	2366,4	0,10	638	716	970
235	M-4	1,103250	1,17	0,107552	1,10	0,07439	0,366	708,56	649,04	5537,9	0,08	659	755	1052
292	M-2R	1,170310	0,94	0,115474	0,92	0,0735	0,171	126,11	73,27	409,56	0,24	704	787	1028
335	M-4	1,043100	2,26	0,101750	1,70	0,07299	0,162	4016,06	173,71	1710	0,14	623	715	1013
366	M-4R	1,275200	1,91	0,111972	1,92	0,082599	0,204	3359,09	68,68	605,7	0,11	684	835	1260
408	8hAA(5Zr)	7,478260	5,11	0,412701	4,69	0,13142	1,98	233,58	101,84	191,48	0,0021	2227	2170	2117
410	M(-4) 5Zr	0,930899	6,80	0,105383	2,80	0,064	5,8	134,74	124,66	885,63	0,00194	646	668	744
412	M(-4)A 5Zr	0,694416	5,61	0,073869	4,76	0,0681	2,88	243,42	57,92	698,61	0,0042	459	535	874
PAM 07 - Granito con cordierita-biotita - Sierra de Zapata														
1265	M(-3)	0,464295	0,916	0,060555	0,779	0,0556	0,467	1726,08	16,28	285,1	0,080	379	387	437
1281	M(-5)	0,427956	0,881	0,057319	0,748	0,0541	0,461	495,97	16,11	264,33	0,086	359	362	377
493	M(-4)NA	0,476640	2,03	0,062755	0,818	0,055	1,76	201,76	36,66	467	0,060	392	396	416
1246	Monacita1	0,478918	0,989	0,063788	0,845	0,0544	0,508	623,12	954,68	2662,9	0,006	399	397	390
1244	Monacita2	0,475030	1,62	0,063101	1,33	0,05459	0,905	287,20	345,27	1051,4	0,009	394	395	396
PAM 08 - Milonita ZC - Sierra de Copacabana, sobre leucogranito con muscovita y granate														
527	M(0)NA	0,519054	1,83	0,066870	1,81	0,0562	0,297	4099,02	46,12	734,3	0,113	417	425	464
1245	Monacita1	0,457480	2,35	0,061216	2,08	0,0542	1,08	336,31	753,46	1299,5	0,005	383	383	379
528	M(0)I AA1	0,646599	1,96	0,078956	1,61	0,0593	1,1	614,45	18,82	242,8	0,028	490	506	582
529	M(0)II AA1	0,614849	2,73	0,077278	2,01	0,0577	1,75	391,53	15,19	191	0,036	480	487	519
PAM 9B - Gneis milonítico ZC de La Puntilla - Sierra de Copacabana														
445	9b.b AA	0,520040	0,92	0,066646	0,72	0,0565	0,574	946,13	74,63	1116,7	0,09493	415	425	475
446	9b.a	0,566903	2,14	0,071171	0,88	0,0577	1,84	223,15	35,73	403,21	0,22801	443	456	521
447	9b.c	0,580559	0,82	0,069301	0,57	0,0607	0,553	1098,88	27,46	396,49	0,25575	432	465	631
1157	Monacita2	0,608902	1,24	0,077625	0,89	0,056891	0,859	174,55	886,57	2020,1	0,01104	482	483	487
1243	Monacita	0,604291	1,81	0,078394	1,50	0,0559	1	543,93	961,96	2140	0,00948	487	480	449

Cuadro 2: Continuación.

PAM 10 - Gneis Los Baños - Sierra de Fiambalá														
450	C 1AA	1,463160	4,92	0,129529	2,12	0,0819	4,22	116,99	20,47	98	0,269	785	915	1244
451	D NA	1,437540	1,79	0,125664	0,83	0,0829	1,48	266,39	6,53	40	0,43	763	905	1268
448	A 1AA	1,329720	2,03	0,125599	0,91	0,0767	1,7	218,01	38,42	234	0,055	763	859	1116
449	B NA	0,978047	1,79	0,102224	1,21	0,06939	1,24	620,47	27,65	248	0,195	627	693	910
588	A	1,488030	0,74	0,138633	0,72	0,0778	0,182	694,82	22,57	146	0,1149	837	926	1143
589	B	0,879137	0,62	0,094848	0,60	0,0672	0,132	1327,16	16,89	174	0,168	584	640	845
PAM - 11. Granito porfirico biotítico. La Punta. Sierra de Velasco.														
1077	M(-1) 2-PMA	0,816434	1,08	0,094876	1,06	0,0624109	0,217	204,25	187	1428	0,076	584	606	688
1078	M(-2) 2-PMA	0,424153	1,25	0,056249	1,2	0,0546894	0,34	203,64	170	2378	0,079	353	359	400
1079	M(-3)-2 PMA	0,349247	2,71	0,047688	2,63	0,0531158	0,651	116,79	341	4547	0,071	300	304	334
1362	NM(-5) 1A -MFA Pir	0,621863	1,2	0,076988	1,09	0,0585829	0,478	267,23	16	179	0,047	478	491	551
1366	M(-5) 1C-MFA	0,744499	0,634	0,078716	0,602	0,0685966	0,195	457,13	18	205	0,155	488	565	886
1363	NM(-5) 1B-MFA	0,642845	0,843	0,076877	0,777	0,0606471	0,317	314,78	12	143	0,108	477	504	626
1364	NM(-5) 2A -PMA	0,488784	1,19	0,064441	1,12	0,0550118	0,394	257,64	40	544	0,018	402	404	412
1365	NM(-5) 2B -PMA	0,490483	0,855	0,064378	0,819	0,0552565	0,233	325,44	32	450	0,034	402	405	422
1367	M(-5) 2C -PMA	0,513141	0,761	0,066750	0,664	0,0557554	0,355	475,55	15	205	0,107	416	420	442
1368	M(-5) 3 1/2	0,502479	0,798	0,064936	0,737	0,056122	0,301	407,67	19	263	0,100	405	413	457
1080	M(-4)-2 PMA	0,486714	1,03	0,062765	0,987	0,0562414	0,301	335,89	164	2293	0,076	392	403	462
PAM 12 - Granito cordierítico - Señor de La Peña - Sierra de Velasco														
1632	B	0,493508	0,581	0,061100	0,553	0,0585804	0,174	295,15	41,79	584	0,167	382	407	552
586	C	0,462480	0,842	0,058566	0,783	0,0572	0,303	482,03	47,57	770	0,041	367	385	502
585	B	0,485294	0,757	0,060402	0,725	0,0582	0,209	512,85	50,73	806	0,034	378	401	539
587		0,474295	0,906	0,059282	0,878	0,058	0,218	587,58	58,17	945	0,075	371	394	530
584	A	0,474157	0,722	0,060129	0,69	0,0571	0,201	387,48	46,98	725	0,038	376	394	498
1631	A	0,545849	0,618	0,067650	0,592	0,0585198	0,173	430,02	41,65	568	0,087	422	442	549
PAM 13 - Granodiorita biotítica sintectónica - Formación El Portezuelo - Sierra de Ancasti														
853	M-2	0,551735	0,81	0,070805	0,74	0,0565	0,316	881,59	17,31	221	0,09387	441	446	473
854	M-3	0,556232	0,83	0,071318	0,76	0,0565	0,32	551,97	15,59	192	0,09017	444	449	475
855	M-4	0,597691	1,42	0,072284	1,29	0,0599	0,572	117,84	9,08	80	0,09526	450	476	602
856	NM-4	0,549535	0,73	0,072043	0,60	0,0553	0,41	143,52	37,96	349	0,09354	448	445	425
1633	M-3	0,541090	0,69	0,069025	0,65	0,056854	0,213	1582,26	33,00	439	0,1526	430	439	436

SPU: Número de laboratorio

Fracción magnética (M); no magnética (NM). Número entre paréntesis indican inclinación utilizada en el Frantz, con 1,5 amp de corriente.

#Pb radiogénico corregido por blanco y por Pb inicial. U corregido por blanco.

*No corregido por blanco, ni por Pb no radiogénico.

Concentraciones totales de U y Pb corregidas por blanco analítico.

Edades: expresadas en Ma usando el programa Ludwig Isopleth/Ex (1998). Constantes de desintegración de Steiger & Jäger (1997).

Tipología de circones: P-prismático;Py-pirramidal; DT-doble terminación; E-esférico; R-caras y aristas redondeadas; N-agujas; Cl-limpidos.

estar reflejando el evento metamórfico de 440 Ma, superpuesto sobre las rocas generadas durante el Mesoproterozoico, de aproximadamente 1.367 Ma.

En el extremo nordeste de la sierra de Velasco, aflora la serranía de La Punta, formada por granitoides peraluminosos (muestra PAM 11 – 28°45'41"S – 66°47'15"O). Es un granito biotítico de grano grueso a muy grueso, bastante deformado, con megacristales de feldespato, en una matriz cuarzosa, con turmalina. La edad U-Pb obtenida, utilizando sólo circones prismáticos, es de 405±11 Ma (Fig. 12). Este conjunto de circones es abundante y es interpretado como de origen magmático, producto de la fusión cortical que habría ocurrido a dicha edad. Los circones no prismáticos, representan poblaciones de cristales

multifacetedos que han sido heredados del protolito.

En el nordeste de la sierra de Velasco, aflora el Granito Cordierítico Señor de la Peña, en la localidad homónima (muestra PAM 12 – 28°49'30"S – 66°45'28"O). Es un monzogranito de grano medio, con pocos fenocristales de microclino, que contiene cristales de cordierita de hasta 1,5 cm, en una matriz con cuarzos azulados, biotita, muscovita y turmalina. Las determinaciones U-Pb sobre circones muestran amplias discordancias, que pueden indicar herencias corticales. La edad obtenida de 376±8 Ma (Fig. 13) estaría reflejando la época de intrusión del granito.

En el flanco occidental de la sierra de Ancasti, en la localidad de El Portezuelo (PAM – 13, 28°28'56"S – 65°39'00"O), se encuentra una granodiorita de forma

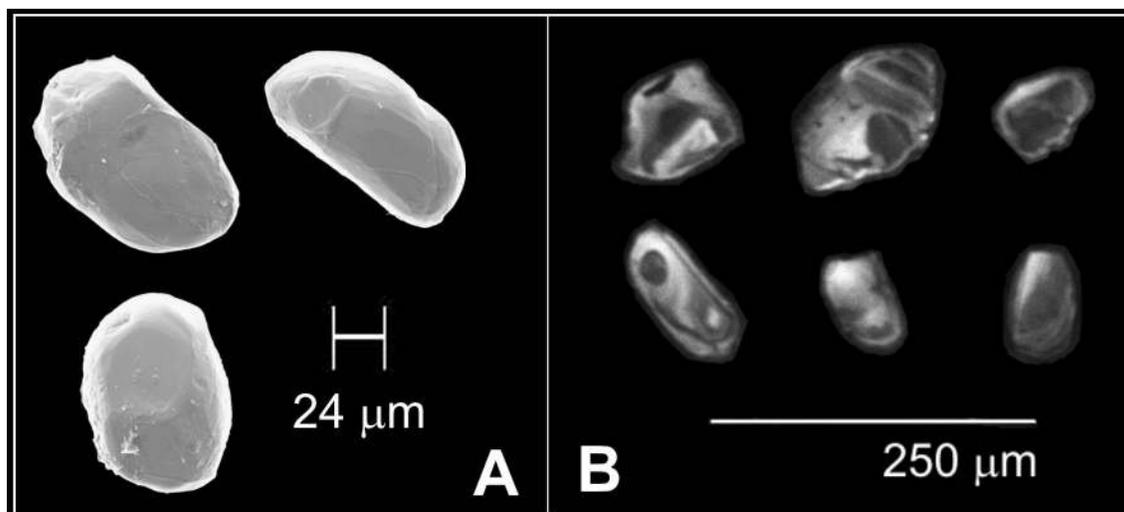


Figura 7: Circones pequeños y redondeados, mostrando núcleos heredados y bordes con sobrecrecimientos, puestos en evidencia por cátodo luminiscencia, pertenecientes a PAM-04.

lenticular, sintectónica, de grano medio, masiva, no foliada, que está incluida dentro de gneises migmatíticos bandeados con sillimanita-biotita. La edad U-Pb en circones dio un valor de 445 ± 6 Ma (Fig. 14) calculado a partir de una media de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ obtenidas para las cuatro fracciones analizadas. Los circones estudiados son principalmente prismas largos bipiramidales (5:1 a 10:1), con caras y aristas redondeadas, incoloros, transparentes y con inclusiones. Para otros intrusivos de tonalitas sintectónicas intercaladas dentro de las migmatitas de esta formación, Cordani (inédito) obtuvo edades Rb-Sr de 452 ± 2 Ma.

Consideraciones finales

En el basamento de las Sierras Pampeanas Noroccidentales se identifican dos tipos litológicos de rocas calcosilicáticas: granulitas muy ricas en calcio, con las asociaciones diópsido-escapolita-wollastonita, que yacen en el sector occidental (sierras de Fiambalá y Copacabana), mientras que granulitas y rocas calcosilicáticas en facies de esquistos verdes a anfíbolita, con contenidos moderados de calcio, se hallan en el sector oriental (Cumbres Calchaquíes y sierras de Aconquija, Quilmes y Ancasti), como fuera definido por Caminos (1979).

Los datos geoquímicos así como las diferentes proyecciones geoquímicas sugieren en el sector occidental, un origen sedimentario común para las rocas calcosilicáticas, granulitas, esquistos, gneises y migmatitas, que se separan netamente de las anfíbolitas y rocas básicas, de origen ígneo. Las abundancias de tierras raras similares en contenido a la corteza superior sugieren procesos evolutivos y de maduración comunes para las rocas calcosilicáticas del terreno oriental. Por otra parte las evidencias geoquímicas nos han permitido es-

tablecer posibles equivalencias temporales entre ellas, como correspondientes a diferentes niveles de evolución metamórfica.

Los datos geocronológicos de la Formación Puncoviscana, indican edades para un primer metamorfismo de bajo grado de 530-568 Ma (Adams *et al.* 1990) y hasta 620 Ma (Do Campo *et al.* 1999), que pueden relacionarse con edades equivalentes registradas en las metamorfitas de las Cumbres Calchaquíes por Bachmann y Grauert (1987a-b) y en la sierra de Quilmes, por Rapela (1976) y por Becchio (2000), de 580-540 Ma. Éstas podrían estar indicando niveles más profundos del mismo evento metamórfico-deformativo M_2 - S_2 . A continuación tiene lugar la sobreimposición de los eventos metamórficos-deformativos con edades

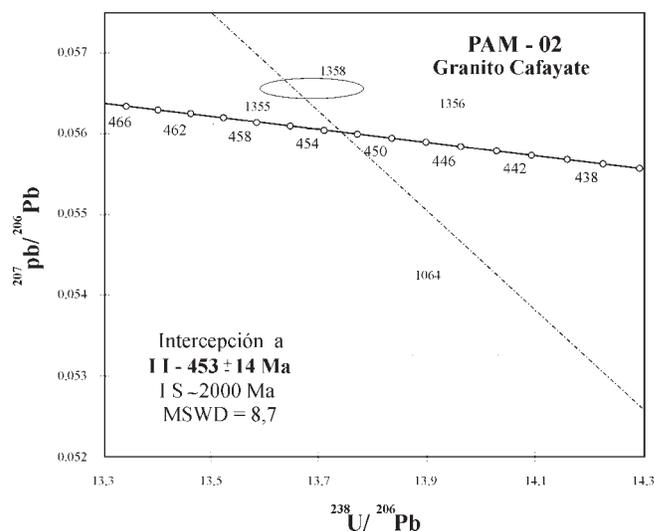


Figura 8: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el Granito Cafayate (PAM-02). Los circones determinan una edad de 453 ± 14 Ma.

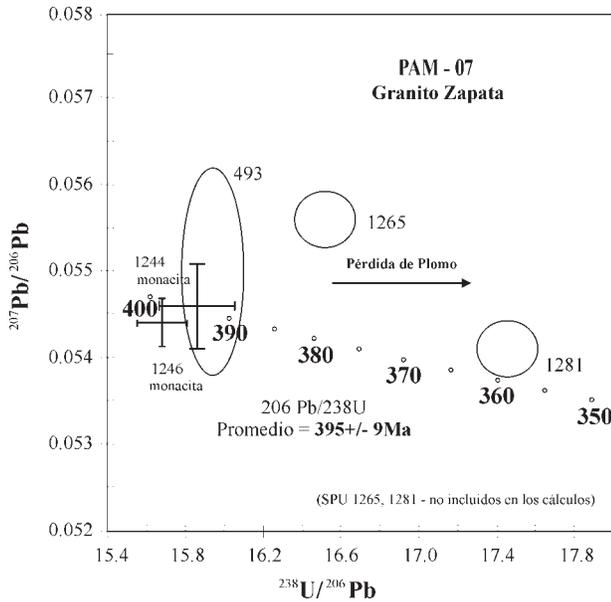


Figura 9: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el granito de Zapata PAM - 07, utilizando las monacitas dan una edad de 395 ± 9 Ma, que muestran buena concordancia con los circones. No se utilizaron los SPU 1265 y 1281.

de 412-495 Ma, que podrían subdividirse entre 412-442 Ma y 430-495 Ma, que pueden corresponder a dos eventos metamórficos-intrusivos, responsables de la formación de migmatitas y de la intrusión de granitos sintectónicos y tardío-tectónicos.

Finalmente los fenómenos de exhumación del orógeno ya cratonizado, mediante fenómenos deformativos, que dan lugar a milonitas, tienen lugar entre 392-357 Ma, que se asocian estrechamente con la intrusión de

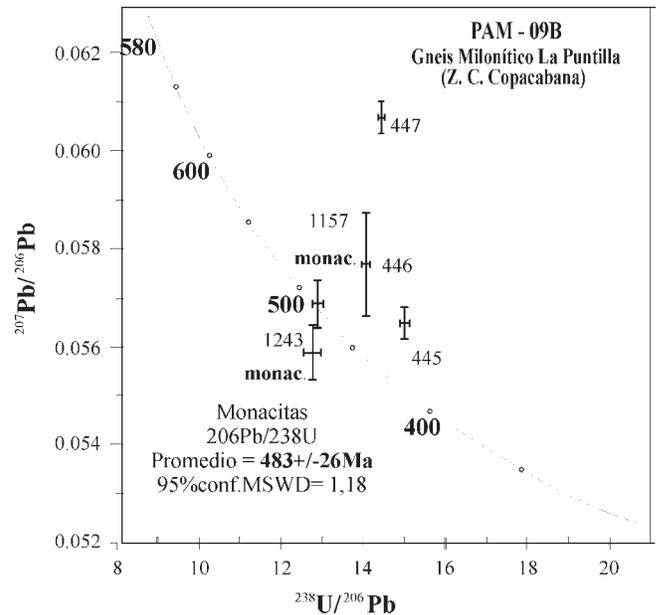


Figura 11: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el Gneis milonítico La Puntilla, sierra de Copacabana (PAM - 9B). Las monacitas determinan una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 483 ± 26 Ma.

los granitos carboníferos de Zapata y de Ancasti y los cordieríticos del Señor de La Peña.

La forma de presentarse de las granulitas hipersténicas en la sierra de Quilmes, y sus relaciones con los gneises y migmatitas, dentro de los cuales se encuentran desarrolladas, muestran gran similitud estructural con los *boudins* de las felsitas calcosilicáticas que se encuentran en las Cumbres Calchaquíes y en sierra de Ancasti, si bien con un grado metamórfico más bajo

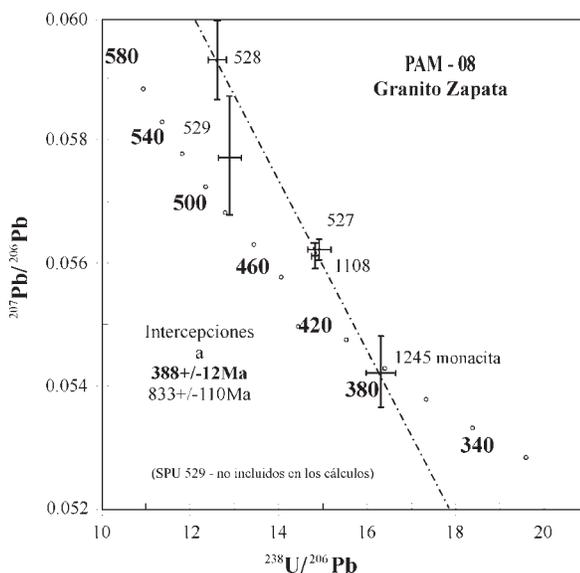


Figura 10: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para la milonita del extremo norte de la sierra de Copacabana (PAM-08), utilizando circones y monacita dan una intercepción inferior a 388 ± 12 Ma y una superior a 833 ± 110 Ma. No se incluyó la SPU 529.

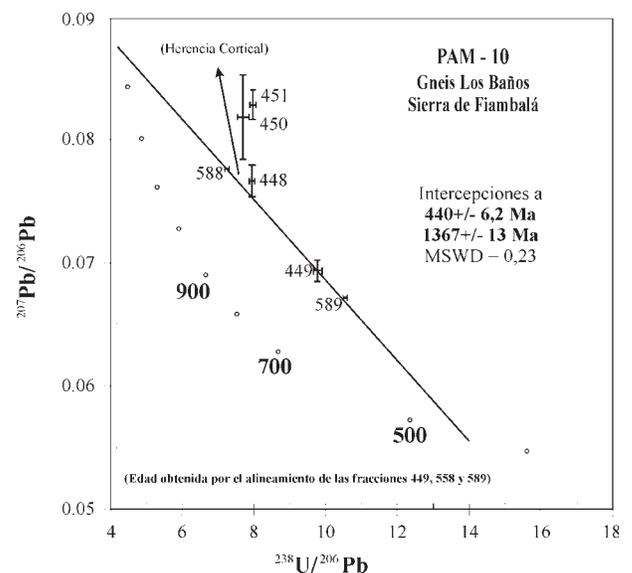


Figura 12: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el Gneis, Los Baños, sierra de Fiambalá (PAM - 10). Los circones determinan una intercepción inferior de 440 ± 6 Ma y una superior de 1367 ± 13 Ma.

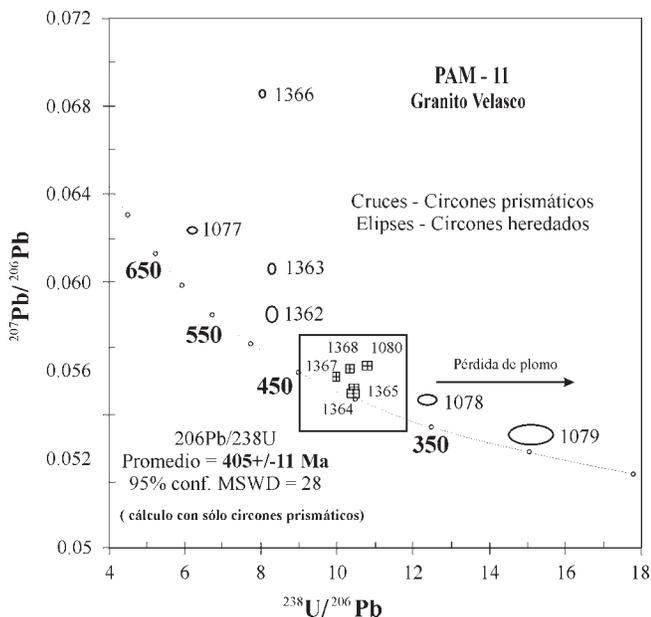


Figura 13: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el granito La Punta (PAM - 11), en la sierra de Velasco. Los circones determinan una edad de 405±11 Ma. Se han utilizado sólo circones prismáticos.

(facies de anfibolitas, rango estauroлита). La intrusión de la unidad granítica aflorante en la quebrada de Chuscha, del Granito Cafayate, con una edad de 443 Ma indica que el fenómeno magmático es claramente posterior al evento metamórfico establecido en La Punta y río Anchillo, con edades de 405 y 571 Ma, respectivamente. No obstante cabe tener en cuenta que la

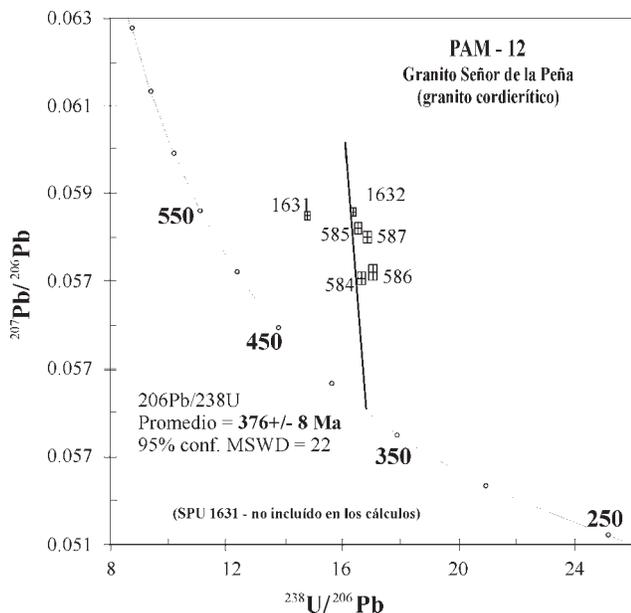


Figura 14: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el Granito cordierítico Señor de la Peña (PAM - 12). Los circones que son muy discordantes, dan una edad de 376±8 Ma que indicaría la época de intrusión del granito.

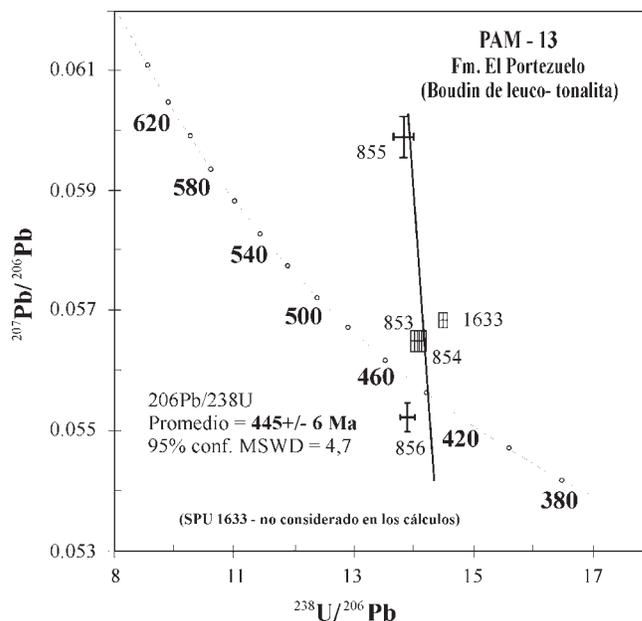


Figura 15: Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para el Leucogranito sintectónico, El Portezuelo, sierra de Ancasti (PAM - 13). Los circones determinan una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 445±6 Ma.

aplicación del método U-Pb convencional en rocas polimetamórficas de protolitos sedimentarios es de compleja interpretación.

En general puede observarse una notable estabilidad epigénica en esta amplia región, ya que los terrenos de bajo metamorfismo se mantienen sin ser erosionados y sólo áreas de extensiones menores, muestran zonas más profundas que pueden interpretarse como raíces del orógeno y que sólo con la orogénesis Andina han quedado expuestos. Por otra parte la actividad tectónica ha sido activa como lo demuestran las fajas de deformación, los procesos metamórficos y los fenómenos magmáticos ocurridos especialmente durante el Ciclo Famatiniano.

Asimismo los terrenos occidental y oriental, si bien tienen protolitos que pueden poseer edades diferentes y que han sido generados en ambientes geotectónicos diferentes, muestran edades modelo Sm-Nd (T_{DM}) similares entre 1,4 y 2,2 Ga.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, PICT N° 07-09686 y al CONICET - PIP n° 2573, como así también al personal del Instituto de Geociencias, de la Universidad de São Paulo y del INSUGEO, por el apoyo técnico prestado y la financiación de este trabajo. Asimismo a los árbitros de la revista por la evaluación crítica del manuscrito y las valiosas sugerencias realizadas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Adams, Ch., Miller, H. y Toselli, A.J., 1990. Nuevas edades de metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NO de Argentina. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.) *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie *Correlación Geológica* 4: 209-219. Tucumán.
- Bachmann, G. y Grauert, B., 1987a. Datación de metamorfismo basado en el análisis isotópico Rb/Sr en perfiles de pequeña sección de metasedimentos polimetamórficos en el noroeste Argentino. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 17-20. Tucumán
- Bachmann, G. y Grauert, B., 1987b. Análisis isotópico Rb/Sr y edad del granate-almándino en los gneises bandeados polimetamórficos de la Sierra de Ancasti y Tafi del Valle (Sierras Pampeanas, NW-Argentina). 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 21-24. Tucumán
- Becchio, R., 2000. Petrología y geoquímica del basamento del borde oriental de la Puna Austral. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. 235 p. (inédito).
- Caminos, R., 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 1: 225-291. Córdoba.
- Do Campo, M. y Cagnoni, M., 2001. The Rb-Sr isochron method applied to low-grade metamorphic rocks, the case of the Puncoviscana Formation, NW Argentina. III South American Symposium on Isotope Geology. Extended Abstracts volume (CD): 26-29. Sociedad Geológica de Chile, Santiago, Chile.
- Do Campo, M., Nieto, F., Omarini, R. y Ostera, H., 1999. Neoproterozoic K-Ar ages for the metamorphism of the Puncoviscana Formation, Northwestern Argentina. Actas 2° South American Symposium on Isotope Geology, Servicio Geológico Minero Argentino, p. 48-53.
- González Bonorino, F., 1951. Descripción geológica de la Hoja 12e, Aconquija, Catamarca – Tucumán. Ministerio de Industria y Comercio de la Nación. Dirección Nacional de Minería. Boletín 75, 49 p. Buenos Aires.
- Grissom, G.C., De Bari, S.M. y Snee, L.W., 1998. Geology of the Sierra de Fiambalá, northwestern Argentina: implications for Early Palaeozoic Andean tectonics. In: Pankhurst, R.J. and Rapela, C.W. (eds). *The Protoandean Margin of Gondwana*. Geological Society London, Special Publications, 142: 297-32.
- Höckenreiner, M., Söllner, F. y Miller, H., 2001. The TIPA shear zone (NW-Argentina): Evidence for Early Devonian movement verified by Sm-Nd dating of garnet and whole rock systems. III South American Symposium on Isotope Geology. Extended Abstracts volume (CD): 574-576. Sociedad Geológica de Chile, Santiago, Chile.
- Hutchison, C. S., 1974. *Laboratory Handbook of Petrographic Techniques*. John Wiley & Sons, 527 p.
- Killmurray, J.O. e Iñiguez Rodríguez, A.M., 1968. Los gneises escapolíticos de Las Ramaditas, Villa Unión, provincia de La Rioja. *Revista del Museo de La Plata*. 7: 13-29
- Knüver, M. 1983. Dataciones radimétricas de rocas plutónicas y metamórficas. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Edit.) *La Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie. 59:201-218. Münster.
- Lottner, U. 1986. *Strukturgebundene Magmenentwicklung im altpaläozoischen Grundgebirge NW-Argentiniens am Beispiel der Sierra de Ancasti (Provinz Catamarca)*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie. Heft 65, 180 p. Münster.
- Lork, A., Miller, H., Kramm, U. y Grauert, B., 1990. Sistemática U-Pb de circones detríticos de la Formación Puncoviscana y su significado para la edad máxima de su sedimentación en la Sierra de Cachi (prov. De Salta, Argentina). En: Aceñolaza, F.G., Miller, H., y Toselli, A.J. (Edit.) *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie *Correlación Geológica* 4:199-208. Tucumán.
- Lucassen, F., Becchio, R., Wilke, H.G., Franz, G., Thirlwall, M.F., Viramonte, J. y Wemmer, K., 2000. Proterozoic-Paleozoic development of the basement of the Central Andes (18-26°S) – a mobile belt of the South American craton. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 697-715.
- Ludwig, K.R., 1998. *Using Isoplot/Ex. A geochronological tool kit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center. Special Publication 1. Berkeley.
- Miyashiro, A., 1994. *Metamorphic Petrology*. UCL Press. 404 p.
- Neugebauer, H., 1996. *Die Mylonite von Fiambalá. Strukturgeologische und petrographische Untersuchungen an der Ostgrenze des Famatina-Systems, Sierra de Fiambalá, NW Argentinien*. *Münchner Geologische Hefte* 18: 126 p.
- Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D. y Vujovich, G.I. 2003. Sm/Nd Ages Thermobarometry and Metamorphic Evolution of the NW-Sierras Pampeanas, Argentina. Simposio Internacional: *Acreção do Microcontinente Cuyania a Proto-Margem do Gondwana (Abstracts)*. Porto Alegre.
- Rapela, C.W. 1976. El basamento metamórfico de la región de Cafayate, provincia de Salta. Aspectos petrológicos y geoquímicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31(3): 203-222.
- Rossi de Toselli, J. N., Toselli, A. y Toselli, G., 1976. Migmatización y metamorfismo en el basamento de la Sierra de Quilmes, al oeste de Colalao del Valle, Prov. de Tucumán, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 31(2): 83-94.
- Rossi de Toselli, J. N., Saavedra Alonso, J. y Toselli, A. J., 1982. Sobre el origen de los niveles calcosilicáticos en el basamento pre-oroducivo metamorfozado del Cratógeno Central Pampeano, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina. Actas 4: 285-296.
- Rossi de Toselli, J.N., Toselli, A.J., Willner, A.P. y Medina, M.E., 1987. Geotermobarometría de granate-biotita-cordierita en los gneises de alto grado entre las regiones de Cafayate y Colalao del Valle. Sierra de Quilmes, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 25-30. Tucumán.
- Sales de López, A., López, J.P., Petronilho, L., Kawashita, K. 1997. Combined ⁸⁷Rb/⁸⁴Sr spike: Calibration and application to datation of Loma Pelada Granite, Tucumán, Argentina. Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (SSAGI). Actas: 278-279. São Paulo, Brasil.
- Söllner, F., Höckenreiner, M. y Miller, H., 2001. Constraints on the ages of Famatinian igneous intrusions and subsequent deformation in the Sierra de Fiambalá (Catamarca/NW Argentina). 3° South American Symposium on Isotope Geology. Extended Abstracts volume (CD). Sociedad Geológica de Chile, Santiago.
- Steiger, R.H. and Jäger, E., 1977. Convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth and Planetary Sciences Letters* 36(3): 359-362.
- Stelzner, A., 1923. Contribución a la geología de la República Argentina con la parte limitrofe de los Andes Chilenos entre los 32° y 33°. Actas de la Academia Nacional de Ciencias 8: 1 – 228. Córdoba.
- Toselli, A.J. y Rossi de Toselli, J.N., 1984. Metamorfismo de las Cumbras Calchaquíes: 2° Petrología del basamento esquistoso entre La Angostura y Tafi del Valle, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39 (3-4): 262-275.
- Toselli, A.J., Rossi de Toselli, J.N. y Rapela, C.W., 1978. El basamento metamórfico de la Sierra de Quilmes, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 33(2): 105-121.
- Willner, A.P., Toselli, A.J., Bazán, C. y Vides de Bazán, M.E., 1983. Rocas Metamórficas. En: F.G.Aceñolaza, H.Miller y A. Toselli (Eds) *La Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie. 59: 31-78
- Winkler, H.G.F., 1967. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer Verlag. 237 p.

Recibido: 7 de mayo, 2002

Aceptado: 15 de agosto, 2003