

GEOLOGÍA Y GEOCRONOLOGÍA Rb-Sr DE GRANITOIDES DE SIERRA GRANDE, PROVINCIA DE RÍO NEGRO

Ricardo VARELA¹, Kei SATO², Pablo D. GONZÁLEZ¹, Ana M. SATO¹ y Miguel A.S. BASEI²

¹ Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). Universidad Nacional de La Plata (UNLP)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), La Plata. E-mail: varela@cig.museo.unlp.edu.ar, gonzapab@cig.museo.unlp.edu.ar, sato@cig.museo.unlp.edu.ar

² Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, Brasil. Email: keisato@usp.br, baseimas@usp.br

RESUMEN

Al este de Sierra Grande la unidad más antigua es la Ectinita El Jagüelito, metagrauvascas y pizarras, cortadas por granitoides ordovícicos (Rb-Sr en roca total 467 ± 16 Ma; U-Pb en circón 476 ± 4 Ma). Ectinitas y granitoides son cubiertos discordantemente por sedimentitas clásticas fosilíferas silúricas de la Formación Sierra Grande y el total de unidades deformado por pliegues y fallas. Al sur de Sierra Grande, Mina Hiparsa, afloran la Ectinita El Jagüelito, la Formación Sierra Grande y granitoides, en un contexto de fuerte deformación tectónica. Desde mitad de siglo pasado se discute si los granitoides constituyen el basamento de la Formación Sierra Grande o si son intrusivos en la misma. La Formación Sierra Grande está afectada por metamorfismo térmico. Datos radimétricos previos de granitoides son discordantes (Rb-Sr en roca total 252 ± 5 Ma; 363 ± 57 Ma; 318 ± 28 Ma; U-Pb SHRIMP en circón 476 ± 6 Ma). Se efectuaron nuevos análisis Rb-Sr en roca total y minerales y se propone la existencia de dos unidades graníticas. En granitoides del noroeste de la mina, Granito Mina Hiparsa, se obtuvieron dos isocronas (262 ± 6 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,7162 \pm 0,0003$ y 263 ± 9 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,7149 \pm 0,0009$). En los granitoides al oeste de la Mina Hiparsa, Granodiorita Laguna Medina, se efectuó una isocrona (260 ± 3 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Inicial = $0,7078 \pm 0,0012$). Las rocas estudiadas son el producto de plutonismo ordovícico temprano y pérmico tardío-temprano. Las tres isocronas roca total-minerales son pérmicas, pero dos por metamorfismo y reseteo de rocas ordovícicas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $\sim 0,7150$) y una por cristalización ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $\sim 0,7080$).

Palabras clave: *Macizo Norpatagónico Atlántico, Sierra Grande, Granitoides, Edades radimétricas.*

ABSTRACT: *Geology and Rb-Sr geochronology of granitoids of Sierra Grande, province of Río Negro.* To the east of Sierra Grande, the oldest unit is the El Jagüelito Ectinite mainly composed of meta-greywackes and slates, and cut by Ordovician granitoids (Rb-Sr whole rock 467 ± 16 Ma; U-Pb zircon 476 ± 4 Ma). Ectinites and granitoids are covered in unconformity by fossiliferous siliciclastic sedimentary rocks of Sierra Grande Formation of Silurian age. All together, these units are folded and thrust. To the south of Sierra Grande, at Hiparsa Mine, the outcrops of El Jagüelito Ectinite, Sierra Grande Formation and granitoids are strongly deformed. It has been discussed since the middle of the last century whether the granitoids constitute the basement of the Sierra Grande Formation or they are intrusive in this unit. The Sierra Grande Formation is affected by thermal metamorphism. Previous radiometric data of granitoids are discordant (Rb-Sr whole rock 252 ± 5 Ma, 363 ± 57 Ma and 318 ± 28 Ma; U-Pb SHRIMP zircon 476 ± 6 Ma). New Rb-Sr whole rock and mineral analyses were carried out on granitoids from Hiparsa Mine. The new data are indicative of two granitic units. To the northwest of the mine, at Mina Hiparsa Granite, two isochron ages were obtained (262 ± 6 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) = 0.7162 ± 0.0003 and 263 ± 9 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) = 0.7149 ± 0.0009). To the west of Hiparsa Mine, at Laguna Medina Granodiorite, just one isochron was obtained (260 ± 3 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) = 0.7078 ± 0.0012). The studied rocks are the products of Early Ordovician and Early to Late Permian plutonism. Although the three whole rock-minerals isochrons are of Permian age, two of them represent metamorphism and overprint of Ordovician rocks ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) ~ 0.7150) and the remaining one represents igneous crystallization ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) ~ 0.7080).

Keywords: *Atlantic Northpatagonian Massif, Sierra Grande, Granitoids, Radiometric ages.*

INTRODUCCIÓN

En el norte patagónico los terrenos asignados a la unidad de mapeo informal basamento cristalino son de importancia, teniendo en cuenta la superficie que cu-

bren y la información que proveen sobre la evolución cortical regional. También tienen importancia económica, ya que en varios casos son portadores de mineralizaciones o están formados por rocas de aplicación.

El conocimiento moderno del basamento cristalino del norte patagónico tuvo una primer etapa, de mapeo y descripción, que puede ser consultada en las síntesis preparadas por Caminos y Llambías (1984) y Llambías *et al.* (1984). En una

segunda etapa, a partir de 1985, la investigación se destaca por el aporte de datos de composición química e isotópica, que proveyeron elementos significativos para una mejor comprensión y ubicación temporal de procesos ígneos, metamórficos y tectónicos. En los trabajos de Varela *et al.* (2005), Basei *et al.* (2005) y Pankhurst *et al.* (2006) constan antecedentes y resultados obtenidos para la comarca.

De acuerdo con Basei *et al.* (2005) en el basamento norpatagónico se distinguen tres diferentes regiones geológicas: i) *Macizo Norpatagónico Atlántico*, al este de $66^{\circ} 30'$. Es interpretada como el fragmento más austral de corteza afín a la plataforma sudamericana (de Almeida y Hasui 1984), con rocas del Neoproterozoico? y Paleozoico inferior, cubiertas por sedimentitas clásticas plataformales silúricas y afectado en el Paleozoico medio y superior por los eventos chánico y gondwánico, ii) *Macizo Norpatagónico Centro-Occidental*, al oeste de Nahuel Niyeu y sur del río Limay, con abundancia de rocas plutónicas del Neopaleozoico, producidas en ambientes de arco magmático y colisional durante el ciclo gondwánico. Es parte significativa de la plataforma patagónica (de Almeida y Hasui 1984); iii) *Región Cordillerana*, al norte del Río Limay, con rocas ígneo-metamórficas producidas durante el Devónico en ambiente orogénico del evento chánico.

En la presente contribución se aportan datos de afloramientos de basamento del Macizo Norpatagónico Atlántico, situados poco al sur de la localidad de Sierra Grande. Se hace hincapié en las relaciones de campo de granitoides y rocas de caja, se aporta nuevos datos isotópicos y se correlaciona con otras unidades de la región.

MARCO GEOLÓGICO

El basamento cristalino en el Macizo Norpatagónico Atlántico está constituido por un complejo conjunto de unidades ígneas y metamórficas, en menor proporción sedimentarias, plegadas y falladas, que soportan discordantemente

sucesiones volcánicas y sedimentarias indeformadas meso-cenozoicas. De acuerdo con este criterio se incluye en el mismo a la Ectinita El Jagüelito, Gneis Mina Gonzalito y Granitos Tapera-María Teresa (Ramos 1975, Giacosa 1993a), Formación Nahuel Niyeu (Caminos y Llambías 1984), Complejo Plutónico Punta Sierra (Busteros *et al.* 1998), Formación Sierra Grande (Müller 1965, Zanettini 1981) y Complejo Plutónico Pailemán (Giacosa 1993b). La cobertura volcano-sedimentaria discordante que se sobrepone al basamento está formada principalmente por las vulcanitas riolítico-dacíticas jurásicas de la Formación Marifil, volcanitas basálticas paleógenas de la Formación Somuncura y sedimentitas marinas neógenas de las Formaciones Gaiman y Puerto Madryn.

La zona de influencia del presente estudio se extiende desde las proximidades de Mina Gonzalito y Aguada Capitán hasta la costa atlántica. Los trabajos de campo y muestras estudiadas proceden de las proximidades de Mina Hiparsa, poco al sur de la localidad de Sierra Grande (Fig. 1). Localmente, el conjunto de mayor edad relativa lo constituyen metagrauvascas, pizarras, filitas y menor cantidad de metaconglomerados, sedimentos epimetamorfizados de de Alba (1954, 1964). Estos metasedimentos son ubicados en el Paleozoico inferior (Cámbrico a Ordovícico Inferior), de acuerdo con la presencia de icnogéneros y relaciones de corte y edad de intrusivos graníticos y tentativamente son correlacionados con la Ectinita El Jagüelito, aflorante al este de Aguada Capitán (Giacosa y Paredes 2001, González *et al.* 2002, Dalla Salda *et al.* 2003).

En los afloramientos del curso inferior del arroyo Salado el plutón del mismo nombre intruye en la Ectinita El Jagüelito. Además y al igual que el Plutón Punta Sierra, son claramente unidades presilúricas, ya que soportan discordantemente sedimentitas fosilíferas silúricas de la Formación Sierra Grande (Manceñido y Damborenea 1984). La datación isotópica de ambos plutones es coherente con

las evidencias de campo y paleontológicas y el evento magmático se ubica en el Ordovícico Inferior. El Plutón Punta Sierra tiene edad K-Ar en biotita de 435 ± 20 Ma (Weber 1983), Rb-Sr isocrona roca total de 483 ± 22 Ma, $Ri^{87}Sr/^{86}Sr$ $0,7043 \pm 0,0013$ (Varela *et al.* 1997, 1998) y U-Pb SHRIMP en circón de 476 ± 4 Ma (Pankhurst *et al.* 2006). El Plutón Arroyo Salado fue datado por el método Rb-Sr isocrona roca total, 467 ± 16 Ma, $Ri^{87}Sr/^{86}Sr$ $0,7081 \pm 0,0004$, por el método U-Pb convencional en circones, con discordia de intercepción superior a 476 ± 4 Ma (Varela *et al.* 1998) y U-Pb SHRIMP en circón en 475 ± 6 Ma (Pankhurst *et al.* 2006). En el presente trabajo se utiliza la escala cronoestratigráfica de Gradstein *et al.* (2004).

Es diferente la situación en los afloramientos situados al sur de Sierra Grande, zona de influencia de la mina de hierro Hiparsa, donde hay granitoides que provocaron efectos de contacto térmico tanto en los sedimentos epimetamorfizados de la Ectinita El Jagüelito (de Alba 1964) como en las sedimentitas silúricas de la Formación Sierra Grande (Gelós 1977). No obstante, la cronología relativa y la relación entre sedimentación y magmatismo es motivo de discusión desde mediados del siglo pasado y aclararla es parte de los objetivos de la presente contribución.

En la descripción de la hoja geológica a escala 1:200.000 (de Alba 1964) se plantean dos posiciones antagónicas. La primera, sostenida por el autor citado, propone que el sustrato sobre el que se dispone su Formación Ferrífera está formado por sedimentos epimetamorfizados y granodiorita. La segunda posición surge de trabajos inéditos realizados en el yacimiento ferrífero por geólogos de la Dirección Nacional de Minería (Valvano 1949, Zöllner 1950, 1951, en de Alba 1964), que concibieron un sustrato formado por rocas metamórficas y las sedimentitas de la Formación Ferrífera, que mediando discordancia es afectado por la intrusión de granodiorita.

El relevamiento realizado por Zanettini

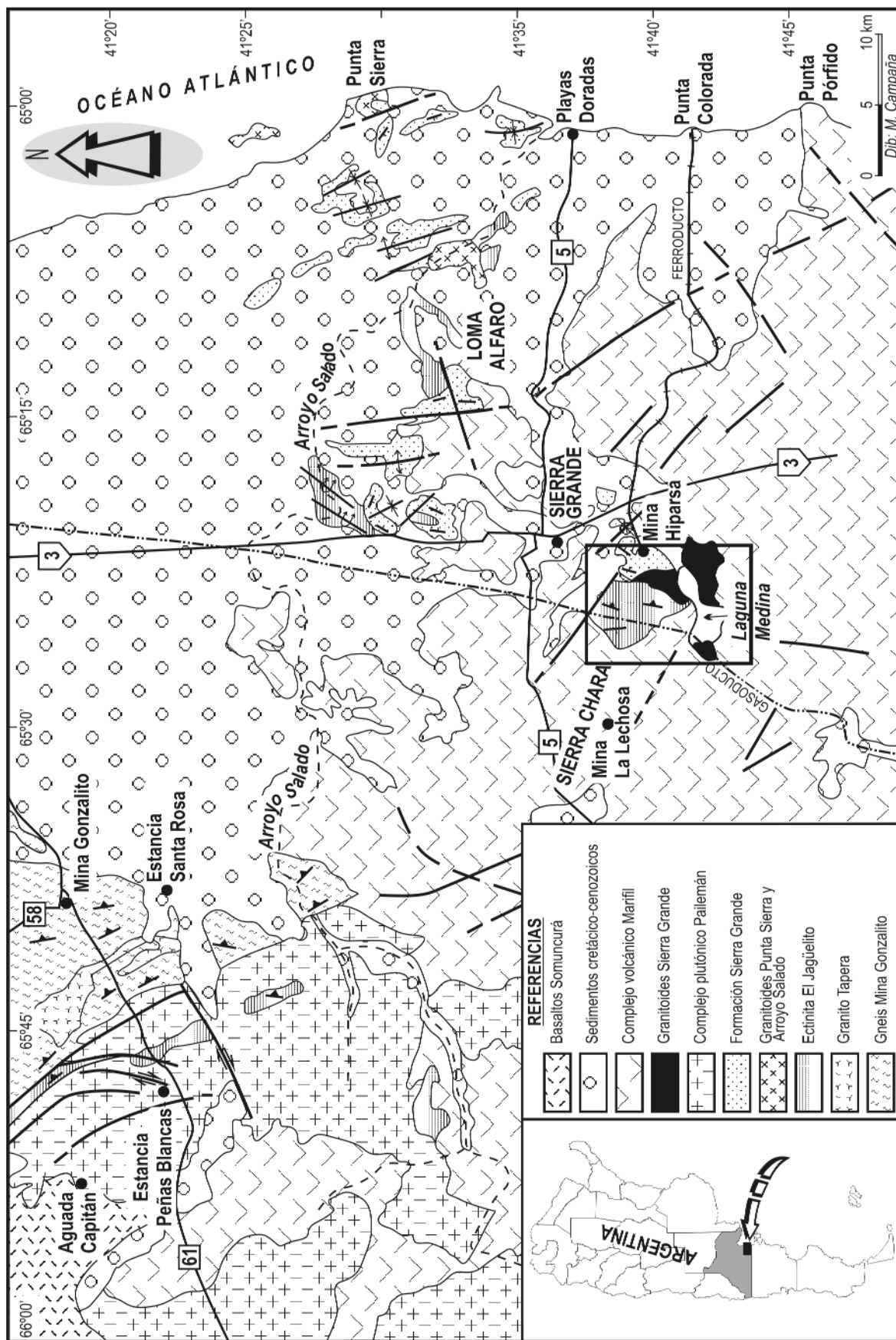


Figura 1: Mapa geológico de la región. El recuadro indica la ubicación de la zona de estudio. Simplificado de Bustero *et al.* (1998).

(1981) correlacionó los granitoides del yacimiento austral con el Granito Sierra Pailemán, de edad neopaleozoica. En el mapeo a escala 1:250.000 del Servicio Geológico Minero Argentino (Hoja Geológica 4166-IV; Busteros *et al.* 1998), apoyados en el criterio de homogeneidad litológica se considera que se trata de un solo plutón. Lo denominaron Plutón Laguna Medina y asignaron tentativamente al Pérmico por comparación con otros plutones de edad conocida del Complejo Plutónico Pailemán.

Se destaca que el conocimiento actual en la zona de Mina Hiparsa (Yacimiento Sur), cuenta con evidencias de campo contundentes de metamorfismo térmico sobre las sedimentitas silúricas. También que en la región se ha comprobado fehacientemente actividad magmática tanto en el Ordovícico (ej. Punta Sierra y Arroyo Salado; Varela *et al.* 1998, Pankhurst *et al.* 2006) como en el Pérmico (ej. Sierra Pailemán, Grecco *et al.* 1994). Al respecto es posible considerar una tercera posición a las planteadas por las observaciones de de Alba (1964): que en los afloramientos de Mina Hiparsa los granitoides son parte de dos o más plutones de diferente edad. Cabe mencionar que la compleja estructura local de plegamiento y fallamiento, sumado a la escasez y discontinuidad de afloramientos, impiden demostrar solamente con trabajos de campo cual de las hipótesis es válida. Tentativamente se diferenciaron en los trabajos de campo dos plutones, Mina Hiparsa y Laguna Medina, denominaciones procedentes de la contribución de Varela *et al.* (1997).

Para el presente trabajo se realizaron observaciones y toma de muestras en los afloramientos al oeste de Mina Hiparsa, hasta el tendido del gasoducto y en su mayor parte al norte de Laguna Medina (Fig. 2).

En la parte central del área estudiada los granitoides tienen buena expresión aflorante y el contacto por el oeste con la Ectinita El Jagüelito es claramente intrusivo, con efectos térmicos y apófisis que penetran los metasedimentos. La aureola

de metamorfismo de contacto presenta blastesis de porfiroblastos de posible cordierita, retrogradada a finas escamas de sericita-muscovita, otros silicatos de aluminio en las metapelitas y un hornfels negro de espesor variable entre 100 y 200 m.

El contacto por el este con las sedimentitas de la Formación Sierra Grande es menos claro. Frente al reservorio de agua el contacto es con un nivel de gruesos estratos de cuarcitas conglomerádicas blanquecinas y los granitoides tienen una faja de algunas decenas de metros de espesor con efectos de molienda-recristalización, que se diluyen hacia el interior del plutón.

Las rocas de los plutones Mina Hiparsa y Laguna Medina están afectadas por deformación frágil-dúctil, relacionada a fajas de cizalla y metamorfismo local cataclástico asociado. Como consecuencia, los granitoides en el entorno de las fajas de cizalla tienen minerales con microestructuras de deformación intracrística, han recristalizado en forma parcial o han sido reemplazados por paragénesis metamórficas en facies esquistos verdes.

El Granito Mina Hiparsa tiene variada litología y las muestras pertenecen a afloramientos continuos entre el contacto con las sedimentitas silúricas próximo a la mina de hierro y el contacto intrusivo con los metasedimentos El Jagüelito, aproximadamente dos km en dirección NNO. Está compuesto esencialmente por granodioritas y granitos con biotita o biotita-anfíbol y en menor proporción por tonalitas con anfíbol, biotita y abundantes minerales accesorios. Las tonalitas tienen enclaves microgranulares gábricos redondeados.

La Granodiorita Laguna Medina se caracteriza por su homogeneidad litológica, lo que está en parte condicionado por la escasez y discontinuidad de afloramientos. Se trata de granodioritas con biotita, anfíbol y titanita, que exhiben xenolitos de esquistos cuarzo-micáceos, posiblemente pertenecientes a su roca de caja no expuesta. El muestreo de ésta unidad estuvo restringido a lo largo del tendido

de un gasoducto al oeste de Laguna Medina y algunos morros aislados en los sedimentos de la laguna.

En ambos cuerpos las texturas granosas magmáticas primarias están mejor preservadas en sectores alejados de las fajas de cizalla. En las zonas de mayor deformación el cuarzo presenta evidencias de deformación subsólida de alta temperatura, como microestructuras con patrón en tablero de ajedrez. Otras evidencias de deformación intracrística son extinción ondulosa, láminas de deformación y bordes irregulares a lobulados a partir de procesos de migración en los bordes. La deformación intracrística en feldespatos se evidencia en plagioclasas por maclas de albita con combamientos o escalonamientos y en microclino por maclas en enrejado distorsionadas. Además los feldespatos presentan reemplazo parcial por sericita-muscovita, carbonatos y prehnita. La biotita se exhibe combada, con extinción ondulosa y bordes desflecados, llegando en las fajas de cizalla a un completo reemplazo por clorita y carbonatos "tipo sandwich", agregados de epidoto pulverulento y quistes prehníticos, que indican metamorfismo en facies esquistos verdes. En cuanto al anfíbol varía entre fresco y casi totalmente reemplazado por una asociación de clorita + carbonatos + prehnita + albita (?). Minerales accesorios comunes son titanita, apatita, circón, allanita y opacos.

Las edades isotópicas obtenidas previamente en granitoides de Sierra Grande fueron comunicadas por Halpern *et al.* (1970), Halpern (1972), Varela *et al.* (1997) y Pankhurst *et al.* (2006) y son discordantes entre sí.

Las dataciones producidas por Halpern (1970) y Halpern *et al.* (1972) son Rb-Sr en biotita ($Ri^{87}Sr/^{86}Sr$ asumida) e isocrona roca total, respectivamente, en ambos casos con edad de 252 ± 5 Ma.

Las edades comunicadas por Varela *et al.* (1997) fueron obtenidas por isocronas (errorcronas) Rb-Sr en roca total y diferenciaron dos unidades (plutones ?). El Granito Mina Hiparsa proveyó un valor de 363 ± 57 Ma, $Ri^{87}Sr/^{86}Sr$ 0,7110 \pm

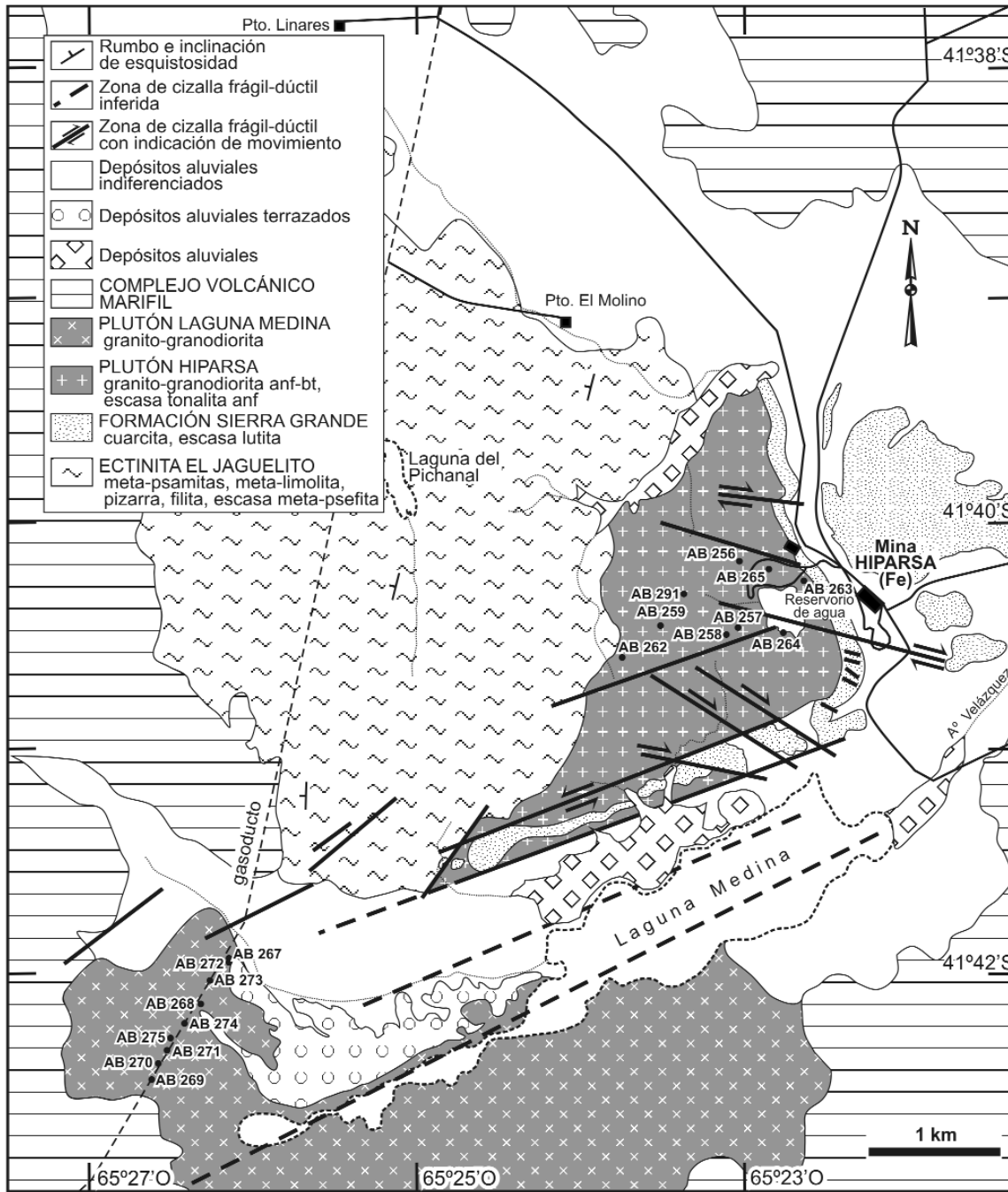


Figura 2: Mapa geológico de la zona al oeste de Mina Hiparsa y ubicación de las muestras estudiadas. Relevamiento de los autores sobre la base de fotografías aéreas y controles de campo.

0,0022 y la Granodiorita Laguna Medina 318 ± 28 Ma, con $Ri^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $0,7070 \pm 0,0004$. El análisis de esos datos permite sugerir que si bien los errores de las edades son significativos, marcan una tendencia cronológica hacia el Paleozoico Superior y las relaciones isotópicas iniciales de Sr indicarían procedencia desde distintas fuentes o diferente evolución en su permanencia en la corteza.

Por último, Pankhurst *et al.* (2006) infor-

maron una edad U-Pb SHRIMP en circos de un granitoide colectado en proximidades de Mina Hiparsa, que arrojó un valor de 476 ± 6 Ma, Ordovícico Inferior.

METODOLOGÍA, MATERIALES DATADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

En los trabajos de campo y mapeo deta-

llado se identificaron tentativamente dos unidades graníticas (Granito Mina Hiparsa y Granodiorita Laguna Medina) y se tomaron nueve muestras de cada una, de los afloramientos con menores evidencias de deformación. De acuerdo con la textura y metodología de datación, cada muestra fue de aproximadamente dos kg y se controló que estuvieran libres de bordes meteorizados, venillas de cualquier composición y efectos de cizalla.

El conjunto fue destinado a la obtención de isocronas en roca total con la intención de mejorar los resultados previos (Varela *et al.* 1997). En el Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, La Plata) se procedió a la trituración y molienda en recipiente de widia. Una fracción de muestra fue destinada a la determinación cuantitativa de Rb y Sr por FRX en el Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo, São Paulo). Otra fracción fue sometida en el CIG a ataque químico y concentración de Sr (Sr natural) en columnas cromatográficas. Los concentrados fueron analizados en espectrómetro de masas en el CPGeo. Los cálculos e interpretación de datos fueron efectuados en el CIG utilizando el programa Isoplot/Ex (Ludwig 2001). Los datos constan en Cuadro 1 y las isocronas en Figura 3. Los resultados obtenidos fueron resumidamente comunicados por Varela *et al.* (2007).

La isocrona roca total del Granito Mina Hiparsa (Fig. 3a) fue construida con siete de las nueve muestras analizadas. Los contenidos de Rb (mínimo 145 ppm y máximo 206 ppm) y de Sr (mínimo 128 ppm y máximo 208 ppm) proveen valores $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ entre 2,0 y 4,5. Ellos cubren satisfactoriamente la recta obtenida y acusan una desviación cuadrática media ponderada (MSWD) de 2,9 definiendo una edad de 428 ± 29 Ma y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,7088 \pm 0,0011$. En los antecedentes de Varela *et al.* (1997) se obtuvieron con seis muestras un valor de 363 ± 57 Ma (ahora 428 ± 29 Ma), con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Inicial = $0,7110 \pm 0,0022$ (ahora $0,7088 \pm 0,0011$), compatibles entre ellos, ya que los márgenes de error se superponen. Lo anterior pone en evidencia que para el sistema en cuestión, con la metodología Rb-Sr sobre roca total y determinación de contenidos de Rb y Sr por FRX no se puede obtener una edad y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ con la precisión deseada. Los motivos pueden estar en inhomogeneidades isotópicas por asimilación de cantidades variables de roca de caja, al fundido de una fuente cortical heterogénea, o más probablemente al reseteo parcial por un evento

CUADRO 1: Datos analíticos correspondientes a los análisis de rocas totales.

Nº Campo	Nº Laborat.	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Error	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Error
Granito Mina Hiparsa							
AB 256	CIG 1318	164,9	202,3	2,363	0,047	0,723000	0,000010
AB 257	CIG 1319	161,4	205,5	2,277	0,046	0,722414	0,000015
AB 258	CIG 1320	206,2	147,8	4,049	0,081	0,733437	0,000019
AB 259A	CIG 1321	145,3	208,0	2,025	0,041	0,721478	0,000016
AB 263	CIG 1324	169,5	192,1	2,559	0,051	0,724451	0,000019
AB 264	CIG 1326	170,0	185,8	2,653	0,053	0,724814	0,000012
AB 265	CIG 1327	198,9	128,1	4,508	0,090	0,736471	0,000014
AB 259B	CIG 1322	133,1	176,5	2,186	0,044	0,721127	0,000014
AB 262	CIG 1323	150,9	160,0	2,735	0,055	0,726466	0,000023
Granodiorita Laguna Medina							
AB 267	CIG 1328	222,5	485,3	1,328	0,027	0,712116	0,000018
AB 268	CIG 1329	203,3	511,0	1,152	0,023	0,711772	0,000011
AB 269	CIG 1330	181,7	614,8	0,856	0,017	0,710886	0,000011
AB 270	CIG 1331	193,4	618,3	0,906	0,018	0,710975	0,000015
AB 272	CIG 1334	187,8	581,7	0,935	0,019	0,711167	0,000011
AB 274	CIG 1336	194,6	557,2	1,011	0,020	0,711400	0,000012
AB 275	CIG 1337	192,0	579,1	0,960	0,019	0,711342	0,000011
AB 271	CIG 1332	189,0	549,2	0,997	0,020	0,711517	0,000012
AB 273	CIG 1335	196,3	567,9	1,001	0,020	0,711463	0,000011

Efectuadas por FRX y el error en la relación $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ es menor que 2%. Las relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ fueron determinadas en análisis sin *spike* (Sr natural).

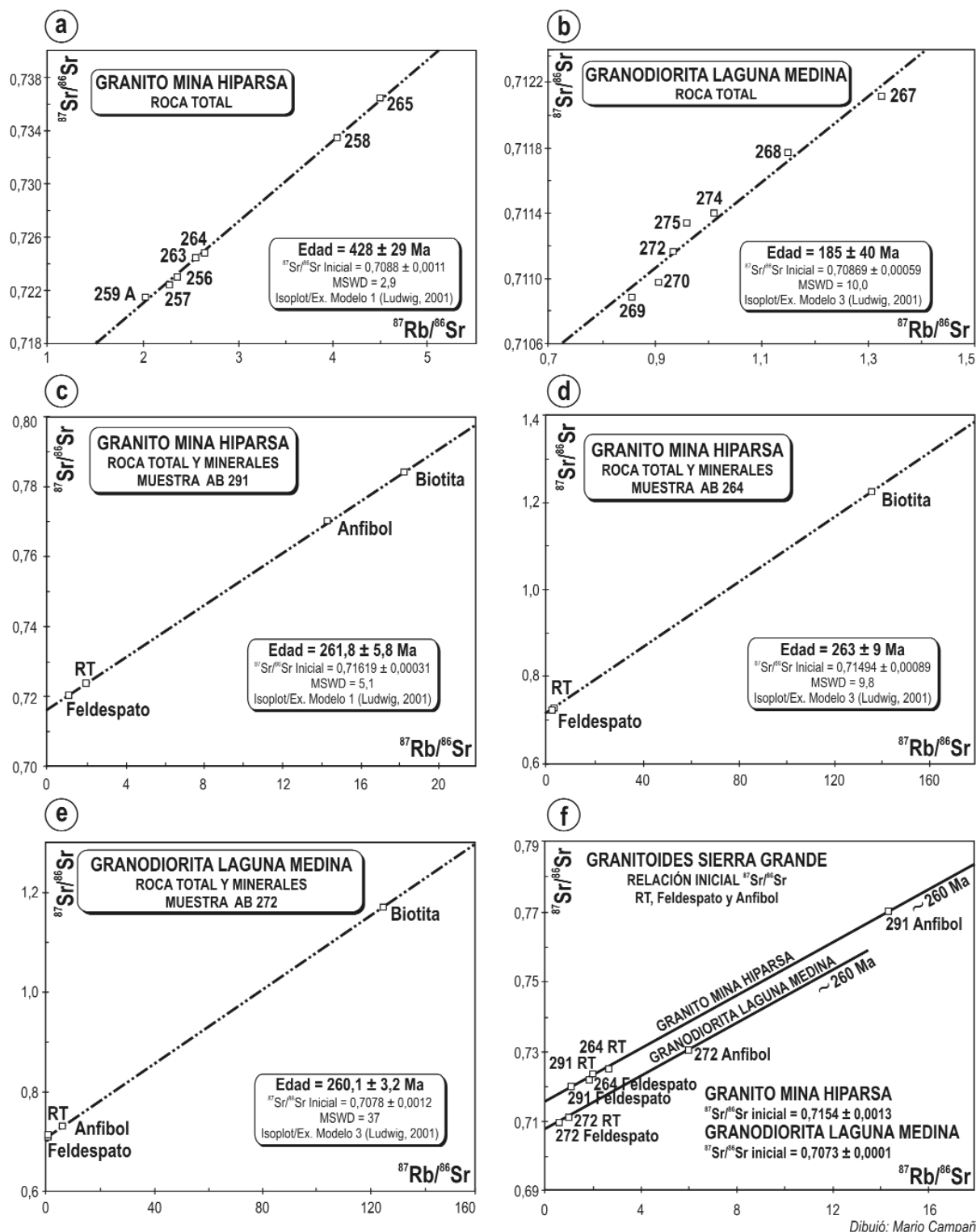
tectonotérmico de suficiente intensidad como para producir la apertura parcial del sistema a nivel de roca total.

La isocrona roca total de la Granodiorita Laguna Medina (Fig. 3b) fue construida con siete de las nueve muestras analizadas. Los contenidos de Rb (mínimo 182 ppm y máximo 222 ppm) y altos tenores de Sr (mínimo 485 ppm y máximo 618 ppm) proveen valores $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,85 y 1,33. Debido a la escasa cobertura en el eje X del diagrama de isocronas el conjunto es desfavorable para la datación por este método. La falta de alineación según una recta puede en parte deberse a asimilación desigual de roca de caja. Los valores de 185 ± 40 Ma y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,7087 \pm 0,0006$ son solamente orientadores y caben dentro de la categoría de "errorcrona" acorde con el MSWD = 10,0. La edad calculada no es comparable con la obtenida previamente con cinco muestras por Varela *et al.* (1997), con valores de 319 ± 34 Ma y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $0,7069 \pm 0,0005$ aparentemente más confiable por haberse analizado en el conjunto una roca con mayor relación Rb/Sr y tener la isocrona mejor cobertura en el eje X.

En vista del resultado obtenido según

FRX-Sr natural en roca total, que en ambas unidades no resolvieron el problema planteado, en una segunda etapa se trabajó con muestras de roca total y concentrados de minerales, efectuándose análisis por dilución isotópica (DI). Para ello se prepararon y calibraron en el CIG trazadores (*spikes*) enriquecidos en ^{87}Rb y ^{84}Sr , con espectrometría de masas realizada en el CPGeo.

Se escogieron para esta metodología dos rocas del Granito Mina Hiparsa y una de la Granodiorita Laguna Medina. Una fracción del triturado de ellas se destinó a pulverización para ataque químico de roca total. Otra fracción fue utilizada para molienda y tamizado y se escogió la fracción granulométrica 100-150 micrones para concentración de minerales utilizando separador electromagnético (Frantz) y mesa vibratoria. Se obtuvieron concentrados de anfíbol, biotita y feldespato, que pasaron a ataque químico. Los ataques químicos se realizaron según pesadas con resolución de 0,01 mg en balanza Mettler-Toledo AX-205. Se hicieron ataques para roca total, feldespato, anfíbol y biotita. Todos los ataques fueron realizados con adición de *spike* de Sr junto a los reactivos de digestión (Sr *spike*



Dibujó: Mario Campaña

Figura 3: Diagramas de isocronas Rb-Sr según metodología de rocas totales (a y b) y roca total-minerales (c, d, y e). En el último diagrama (f) se muestra el paralelismo de las isocronas de aproximadamente 260 Ma de la Granodiorita Laguna Medina y del Granito Mina Hiparsa en análisis de roca total-minerales. Se destaca los diferentes valores de relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial, en el primer caso atribuido a cristalización y en el segundo a *reseteo*.

antes). Los datos constan en el Cuadro 2 y las isocronas obtenidas en Figura 3. Las isocronas roca total-minerales co-

respondientes a la unidad Granito Mina Hiparsa, muestras AB 291 y AB 264, están graficadas en las figuras 3c y 3d,

respectivamente. La primera surge del análisis de roca total, feldespato, anfíbol y biotita, con valores de $261,8 \pm 5,8$ Ma,

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,71619 \pm 0,00031$ y MSWD = 5,1. La segunda isocrona fue obtenida en roca total y concentrados de feldespato y biotita, correspondiendo una edad de 263 ± 9 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,71494 \pm 0,00089$ y MSWD = 9,8.

La isocrona roca total-minerales para la Granodiorita Laguna Medina, muestra AB 272 (Fig. 3e) proviene del análisis de roca total y concentrados de feldespato, anfíbol y biotita. Provee una edad de $260,1 \pm 3,2$ Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial = $0,7078 \pm 0,0012$ y MSWD = 37.

Los resultados obtenidos por dilución isotópica analizando roca total y concentrados minerales de ambas unidades en estudio, son considerados de buena calidad y aportan valores de edad y parámetros isotópicos coherentes. Se destaca que analizando minerales se consiguió expandir considerablemente el tramo de eje X en el diagrama de isocronas, cubriendo el rango de 1 a 18 (AB 291), 2 a 136 (AB 264) y 1 a 125 (AB 272). En cada una de las isocronas el comportamiento alineado de roca total y cada una de las fases minerales analizadas indica la condición de sistemas cerrados para el lapso de tiempo que indican las edades obtenidas. Las tres edades son muy concordantes entre sí y fluctúan entre 261 Ma y 263 Ma, que permite referirlas al Pérmico tardío (Guadalupiano-Lopingiano).

Cabe resaltar que el análisis de biotita fue realizado para mejorar el resultado en la edad de la roca, dado su mayor expansión en eje X. Por otra parte, el análisis de roca total, feldespato y anfíbol, permite determinar con mayor precisión los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial de las unidades en consideración (Fig. 3f). Se aprecia una clara distinción entre la graficación de las muestras correspondientes a una y otra unidad, que definen dos rectas paralelas de diferente ordenada al origen, la correspondiente al Granito Mina Hiparsa con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7154$ y la de la Granodiorita Laguna Medina con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7073$.

La evolución isotópica del par Rb-Sr en los sistemas reseteados (parcialmente en

CUADRO 2: Datos analíticos correspondientes a los análisis de roca total y minerales.

Nº Campo	Nº Lab.(CIG)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Error	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Error
Granito Mina Hiparsa							
AB 291 RT	1366-1382	133,71	195,75	1,980	0,009	0,723564	0,000036
AB 291 Feld.	1367-1383	52,22	136,01	1,113	0,005	0,720109	0,000315
AB 291 Anf.	1368-1384	331,23	67,03	14,388	0,080	0,770142	0,000143
AB 291 Bio.	1369-1385	375,91	59,79	18,331	0,086	0,784146	0,000136
AB 264 RT	1374-1386	166,10	180,46	2,668	0,012	0,724995	0,000049
AB 264 Feld.	1375-1387	111,14	170,44	1,890	0,008	0,721950	0,000036
AB 264 Bio.	1376-1388	824,09	18,38	136,341	0,721	1,225261	0,000146
Granodiorita Laguna Medina							
AB 272 RT	1377-1389	183,34	539,58	0,984	0,004	0,711097	0,000086
AB 272 Feld.	1378-1390	119,38	586,97	0,589	0,003	0,709709	0,000414
AB 272 Anf.	1379-1391	444,57	214,40	6,015	0,036	0,730555	0,000059
AB 272 Bio.	1380-1392	934,62	22,55	125,392	0,639	1,171532	0,000109

* Realizadas con el agregado de spikes, por dilución isotópica.

roca total; completamente en fase mineral) del Granito Mina Hiparsa se ilustra en la figura 4. Las rocas totales definen la isocrona de 428 ± 29 Ma con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7088$. Los minerales y su correspondiente roca total proporcionan una edad de 263 ± 9 Ma con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7149$.

Cabe por último analizar el resultado del cálculo de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial para 476 Ma de los granitoides del plutón Mina Hiparsa. Los valores calculados en 11 determinaciones (todas rocas totales, en nueve de ellas análisis de Rb y Sr por FRX y en dos por dilución isotópica) oscilan entre $0,7059$ y $0,7101$, con un valor medio de $0,7072$. Se aprecia que el valor obtenido soporta la comparación con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7081$ del plutón ordovícico Arroyo Salado y que también es próximo a $0,7088$ obtenido para éste trabajo en la isocrona con rocas totales.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente contribución se apoya en el mapeo de unidades expuestas al oeste de la mina de hierro Hiparsa, el análisis de las relaciones de contacto entre ellas, el estudio detallado de los afloramientos y petrografía de granitoides y la datación rubidio-estroncio de los últimos en roca total y minerales.

Las relaciones de campo y petrografía de granitoides no permitieron separar los afloramientos atribuidos tentativamente

a uno y otro plutón. Contrariamente, los resultados isotópicos Rb-Sr apoyan la existencia local de dos plutones. Mantenemos para los mismos la denominación de trabajos anteriores, Granito Mina Hiparsa y Granodiorita Laguna Medina. La edad obtenida para el Granito Hiparsa con muestras de roca total, 428 ± 29 Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7088$), se considera una edad mínima.

En cuanto a las edades provistas para el Granito Hiparsa por análisis de dos rocas según roca total-feldespato-anfíbol y biotita, 262 ± 6 Ma y 263 ± 9 Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,7162$ y $0,7149$) son interpretadas como edades reseteadas y relacionadas con deformación y metamorfismo asociados al cizallamiento que afectó al plutón. Constituyen edades mínimas respecto a la edad de cristalización del plutón correspondiente.

En las muestras del plutón Hiparsa, con edad de metamorfismo de aproximadamente 260 Ma (AB 291 y AB 264), el cálculo de relaciones iniciales $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para 476 Ma corresponde a un valor promedio de $0,7072$. La edad de 476 Ma corresponde a la edad de cristalización obtenida en circones por el método U-Pb convencional en la Granodiorita Arroyo Salado y por U-Pb SHRIMP en el Granito Hiparsa.

En lo que hace a la Granodiorita Laguna Medina la edad mediante rocas totales (185 ± 40 Ma) no debe considerarse por el alto error provocado por los contenidos de los elementos rubidio y estroncio,

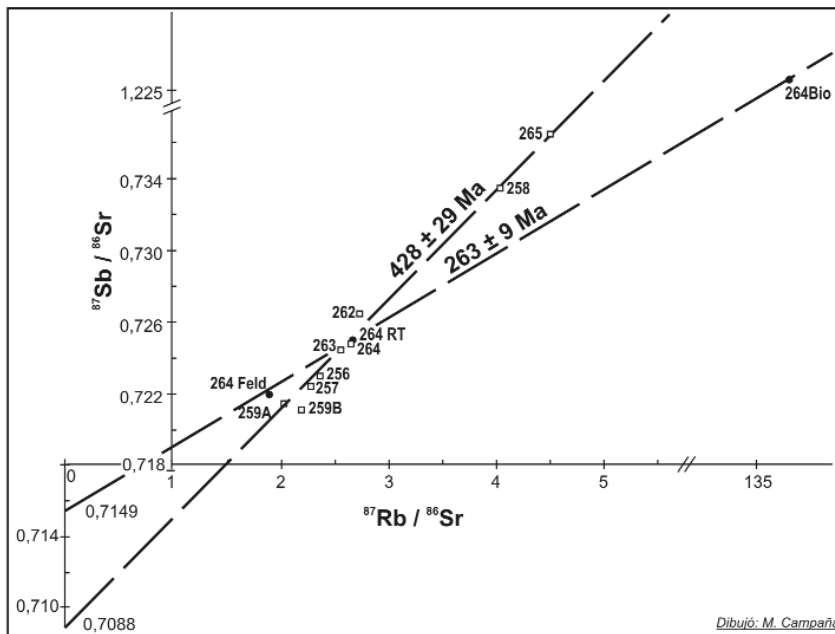


Figura 4: Diagrama de rocas totales y de roca total-minerales para el Granito Mina Hiparsa (muestra AB 264). La isocrona de rocas totales (cuadrados) provee una edad mínima (428 ± 29 ; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial 0,7088) frente a la edad U-Pb SHRIMP en circones (476 ± 6 Ma). La isocrona roca total-minerales (círculos negros) corresponde a la edad de reseteo (263 ± 9 Ma; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial 0,7149) producida por deformación y calentamiento durante la orogenia gondwánica.

sión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) proveyó imágenes satelitales para el Proyecto "Investigaciones geológicas en el Centro-Oeste de Argentina". Agradecemos la colaboración en las tareas de campo de los alumnos del curso 2006 de la asignatura Geología Argentina, Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata. Las observaciones y sugerencias de los árbitros (Dres. R. Lira, V.A. Ramos y anónimo) han contribuido a mejorar el escrito original, destacándose que su trabajo y opinión dividida no se apartó de la conocida discusión sobre el magmatismo en Sierra Grande. Lo anterior seguramente motivó a los presentes autores y a la comunidad geológica en general a realizar nuevas investigaciones sobre el tema.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Basei, M.A.S., Varela, R., Passarelli, C.R., Siga Jr., O., Cingolani, C.A., Sato, A.M. y González, P.D. 2005. The crystalline basement in the North of Patagonia: isotopic ages and regional characteristics. En Pankhurst, R.J. y Veiga, G.D. (eds.) Gondwana 12 (Mendoza), Academia Nacional de Ciencias de Argentina, Abstracts: 61. Córdoba.
- Busteros, A., Giacosa, R. y Lema, H. 1998. Hoja Geológica 4166-IV, Sierra Grande. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 241, 75 p., Buenos Aires.
- Caminos, R. y Llambías, E.J. 1984. El basamento cristalino. En Ramos, V. (ed.) Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro, 9º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 37-63, Bariloche.
- Dalla Salda, L.H., Aragón, E., Benialgo, A., Abre, P. y Pezzotti, C. 2003. El protolito siliciclástico de las Ectinitas El Jagüelito, provincia de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58(3): 321-328.
- de Alba, E. 1954. Nota sobre la estratigrafía de Sierra Grande, territorio nacional de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina 9(2): 131-134.
- de Alba, E. 1964. Descripción geológica de la Hoja 41j - Sierra Grande. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 97, 67 p. Buenos Aires.

desfavorables para la aplicación del método.

Por el contrario la edad provista para la Granodiorita Laguna Medina mediante el análisis de roca total-feldespato-anfibol-biotita, 260 ± 3 Ma, es aceptada como edad de cristalización y emplazamiento del plutón. Ubicado en el Pérmico Tardío (Guadalupeano-Lopingiano), posiblemente fue el productor del metamorfismo térmico en sedimentitas de la Formación Sierra Grande. El evento magmático es considerado tardío a postcinemático en relación con el diastrofismo gondwánico (afin a la Fase San Rafael del área cordillerana), que localmente produjo la importante estructuración de las sedimentitas de la Formación Sierra Grande y unidades de mayor antigüedad.

Las edades obtenidas por análisis de rocas totales y minerales, aunque tienen distinta interpretación para uno y otro plutón, son altamente coherentes entre sí, con promedio de 262 Ma. Cabe señalar que esa es la edad del metamorfismo que aplicado sobre estratos sedimentarios silúricos causó los cambios mineralógicos que favorecieron el aprovechamiento

económico del yacimiento de hierro.

De acuerdo con los resultados obtenidos se explica la encontrada opinión de investigadores anteriores en relación a la antecendencia o posterioridad del magmatismo respecto a la Formación Sierra Grande. Nuestros resultados permiten proponer que los granitoides pertenecen a dos plutones graníticos de diferente edad y ciclos tectonotérmicos, uno famatiniano y ordovícico (476 Ma, reseteado a 260 Ma), el otro gondwánico y pérmico (260 Ma). El argumento principal para esta interpretación queda expresado gráficamente en el paralelismo de ambas rectas isocronas y diferente relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial, la edad U-Pb SHRIMP ordovícica del Granito Hiparsa y la positiva correlación del valor $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial corregido para 476 Ma con la de la Granodiorita Arroyo Salado, plutón comprobadamente ordovícico.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos fueron realizados en el marco de los Proyectos UNLP N435 y N528, CONICET PIP 5855 y 5027. La Comi-

- de Almeida, F.F.M. y Hasui, Y. 1984. Introdução. En de Almeida, F.F.M. y Hasui, Y. (eds.) *O Pré-Cambriano do Brasil*, Editorial Blücher, 1-5, São Paulo.
- Giacosa, R.E. 1993a. El basamento Precámbrico del sector oriental del Macizo Nordpatagónico, Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1(1/2): 89-100. Stuttgart.
- Giacosa, R.E. 1993b. El Ciclo Eruptivo Gondwánico en el área de Sierra Pailemán, Macizo Nordpatagónico, Argentina. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso Nacional de Hidrocarburos*, Actas 4: 113-119, Mendoza.
- Giacosa, R.E. y Paredes, J.M. 2001. Estructura de las metamorfitas del Paleozoico temprano en el arroyo Salado. Macizo Nordpatagónico, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56(2): 141-149.
- Gelós, E.M. 1977. Metamorfismo de contacto en el Yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 32(2): 99-110.
- González, P.D., Poiré, D.G. y Varela, R. 2002. Hallazgo de trazas fósiles en la Formación El Jagüelito y su relación con la edad de las meta-sedimentitas, Macizo Norpatagónico Oriental, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(1): 35-44.
- Gradstein, F., Ogg, J. y Smith, A. 2004. *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press, 589 p., Cambridge.
- Grecco, L.E., Gregori, D.A., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J. y Labudía, C.H. 1994. Peraluminous granites in the Northeastern sector of the North Patagonian Massif. *7° Congreso Geológico Chileno*, Actas 2: 1354-1359, Concepción.
- Halpern, M., Umpierre Urquhart, M. y Linares, E. 1970. Radiometric ages of Crystalline rocks from southern South America as related to Gondwana and Andean Geologic Provinces. *Conferencia Problemas de la Tierra Sólida*, Actas 2: 345-356, Buenos Aires.
- Halpern, M. 1972. Geochronologic Evolution of Southern South America. *Simposio Sistema Carbonífero e Permiano América do Sul*. Academia Brasileira de Ciências 44 (Supl.): 149-160, São Paulo.
- Llambías, E.J., Caminos, R. y Rapela, C.W. 1984. Las plutonitas y vulcanitas del Ciclo Eruptivo Gondwánico. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro*, 9° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 85-117, Bariloche.
- Ludwig, K.R. 2001. Using Isoplot/Ex. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication N 1.
- Manceño, M.O. y Damborenea, S.E. 1984. Megafauna de invertebrados paleozoicos y mesozoicos. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro*, 9° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 413-465, Bariloche.
- Müller, H. von, 1965. Zur altersfrage der eisen-zlagerstätte Sierra Grande, Río Negro. En *Nordpatagonien aufgrund neuer fossilfunde*. *Geologische Rundschau* 54: 715-732, Stuttgart.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M. y Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76(3-4): 235-257.
- Ramos, V.A. 1975. Geología del sector oriental del Macizo Nordpatagónico entre Aguada Capitán y la Mina Gonzalito, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30(3): 274-285.
- Varela, R., Cingolani, C., Sato, A., Dalla Salda, L., Brito Neves, B.B., Basei, M.A.S., Siga Jr., O. y Teixeira, W. 1997. Proterozoic and Paleozoic evolution of Atlantic area of North-Patagonian Massif, Argentine. *South-American Symposium on Isotope Geology*, Campos do Jordão, Extended Abstracts: 326-329, São Paulo.
- Varela, R., Basei, M.A.S., Sato, A.M., Siga Jr., O., Cingolani, C.A. y Sato, K. 1998. Edades isotópicas Rb/Sr y U/Pb en rocas de Mina Gonzalito y Arroyo Salado. Macizo Norpatagónico Atlántico, Río Negro, Argentina. *10° Congreso Latinoamericano de Geología Económica*, Actas 1: 71-76, Buenos Aires.
- Varela, R., Basei, M.A.S., Cingolani, C.A., Siga Jr., O. y Passarelli, C.R. 2005. El basamento cristalino de los Andes norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32(2): 167-187.
- Varela, R., Sato, K., González, P., Sato, A. y Basei, M. 2007. Descifrando la edad y significado del plutonismo paleozoico en Sierra Grande, nor-este patagónico, Argentina. *5° Congreso Uruguayo de Geología*, Resumen en CD: 132, Montevideo.
- Weber, E.I. 1983. Descripción geológica de la Hoja 40j - Cerro El Fuerte. Servicio Geológico Nacional, Boletín 196, 69 p., Buenos Aires.
- Zanettini, J.C.M. 1981. La Formación Sierra Grande (Provincia de Río Negro). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 36(2): 160-179.

Recibido: 5 de marzo, 2008

Aceptado: 2 de marzo, 2009