

Estudios termométricos de granitoides de Algarrobo del Águila, provincia de La Pampa

Teresita MONTENEGRO¹, Sonia QUENARDELLE¹ y Eduardo LLAMBÍAS²

¹Universidad de Buenos Aires – CONICET, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, 1428, Buenos Aires. E-mail: mon@gl.fcen.uba.ar

²Universidad Nacional de La Plata – CONICET, Calle 1, N° 644, 1900 La Plata.

RESUMEN. Los plutones graníticos de Algarrobo del Águila, provincia de La Pampa, forman parte del Complejo Intrusivo Algarrobo del Águila y afloran en el bloque de Las Matras. Tienen edad permo-triásica y constituyen cerros de escasa altura. Los principales afloramientos son Puesto Los Cerros, Puesto Las Tinajeras y Cerro Colorado. Hacia el oeste, cerca del límite con Mendoza, se encuentra, en forma aislada, el monzogranito de Chos Malal. Las edades obtenidas por el método K/Ar sobre roca total son de $256,8 \pm 5,5$ Ma para Cerro Colorado y $197,9 \pm 3,9$ Ma para Puesto Los Cerros. Los cuerpos ígneos se caracterizan por una amplia variación textural con transición hacia términos volcánicos, indicativos de una rápida cristalización en ambientes de profundidad somera. La cristalización del cuarzo tiene lugar bajo diferentes presentaciones. A partir de 370° y hasta 260°C los megacrístales de cuarzo capturaron fluidos de composición compleja $H_2O-NaCl-CO_2$, con salinidad elevada y concentración de CO_2 no mayor a 0,04% molar. En las miarolas, el cuarzo cristalizó entre 335° y 235°C y en las venas entre 330° y 300°C, con salinidades de hasta 14% equivalente en peso NaCl. Los feldespatos potásicos tienen un grado de ordenamiento intermedio lo que indica un enfriamiento rápido a temperaturas inferiores a 400°C. Estas temperaturas son congruentes con la cristalización de microclino sin las maclas según leyes de Albita-Periclinó. La presencia de minerales como fluorita, apatito y turmalina, sumado a todas las anteriores características, son indicativos de la cúpula de un plutón emplazado en niveles someros.

Palabras clave: Granitos someros, Variación textural, Inclusiones fluidas, Feldespato potásico

ABSTRACT. *Thermometric Studies from Algarrobo del Aguila granitoids, province of La Pampa.* The granitic stocks of Algarrobo del Aguila, in the province of La Pampa, are assembled in “Complejo Intrusivo Algarrobo del Aguila” and they crop out in Las Matras Block forming smooth and small hills. Main outcrops of these Permian-Triassic granites are Puesto Los Cerros, Puesto Las Tinajeras and Cerro Colorado. The isolated outcrops of the Chos Malal monzogranite are close to the border with the province of Mendoza. Two new K/Ar whole rock ages yielded 256.8 ± 5.5 Ma for the Cerro Colorado aplite and 197.9 ± 3.9 Ma for the Puesto Los Cerros aplite. The granites show a wide textural variety, from fully plutonic to volcanic ones indicating a quick process of crystallization in a high level of the crust. Quartz crystallized in different modes. Complex composition fluids ($H_2O-NaCl-CO_2$) with high salinity, were captured from 370 to 260°C in megacrysts. The CO_2 did not pass 0.04% molar. The miarolitic quartz crystallized between 335 and 235°C, and the quartz of the veins between 330 to 300°C, both with salinities to 14 wt % eq. NaCl. The K-feldspars have intermediate values suggesting rapid cooling below 400°C temperature. Those temperatures are compatible with microcline crystallization without “tartan” twin. The occurrence of minerals as fluorite, apatite, and tourmaline supports the hypothesis of a shallow intrusion level for these rocks.

Key words: Shallow granites, Variety of textures, Fluid inclusions, Alkali feldspar

Introducción

En la provincia de La Pampa se han diferenciado dos bloques sobre la base de sus características geológicas y de las distintas edades, el Bloque del Chadileuvú al este (Llambías *et al.* 1996) y el de Las Matras al oeste (Sato *et al.* 2000). En ambos bloques se ha desarrollado la actividad magmática que corresponde a las manifestaciones del Grupo Choiyoi. Este está constituido por plutones graníticos, domos subvolcánicos, ignimbritas - en su mayoría con características de alto grado o muy soldadas - (Quenardelle y Llambías 1997) y depósitos

de tobas. Debido a la amplia extensión de sus afloramientos, 45.000 km², este conjunto de rocas ha sido considerado como un plateau riolítico (Llambías y Leveratto 1975).

A pesar de los estudios realizados sobre las distintas unidades que componen dicho plateau, aún no se conoce con precisión la ubicación de los centros volcánicos ni tampoco la morfología de sus edificios. Así por ejemplo, los trabajos previos sobre los granitos no han enfocado el nivel de emplazamiento, por lo cual se desconoce si forman parte de un aparato volcánico o son intrusiones independientes. Una hipótesis de trabajo es

que estos granitos pueden representar los reservorios magmáticos que alimentaron las voluminosas erupciones piroclásticas.

Los estudios sobre inclusiones fluidas asociados con el análisis de las texturas y de las condiciones de cristalización de los minerales son útiles para determinar los niveles de intrusión. Además, permiten obtener información acerca de la posición relativa dentro del plutón; es decir, se puede discriminar si los afloramientos corresponden a la cúpula o al interior del cuerpo ígneo. Los granitos de las cercanías de Algarrobo del Águila permiten aplicar estos métodos. Considerando la estrecha relación espacial y la similar composición existente entre los cuerpos graníticos y las ignimbritas riolíticas es posible asignarlos a un mismo centro de emisión.

En este trabajo se demostrará que los afloramientos de los granitos corresponden probablemente a la cúpula de un plutón emplazado muy cerca de la superficie.

Antecedentes y marco geológico regional

El basamento de la provincia de La Pampa está conformado por rocas de edades que varían entre el Mesoproterozoico y el Paleozoico inferior, cuya distribución depende del bloque en que se sitúen. En el sector occidental de la provincia, en el Bloque Las Matras, el basamento está compuesto por tonalitas y trondhjemitas de 1,2 Ga, que han sido correlacionadas con otras unidades de edad grenvilliana pertenecientes a las Sierras Pampeanas Occidentales, Pie de Palo y Umango y Bloque de San Rafael (Sato *et al.* 1999, 2000). También afloran calizas ordovícicas equivalentes a las de la Fm. Ponon Trehue del Bloque de San Rafael e incluso a las de la Precordillera (Melchor *et al.* 1999).

En el Bloque del Chadileuvú, el basamento está conformado por rocas graníticas del ciclo Famatiniano, correlacionables con las de las Sierras Pampeanas de San Luis (Linares *et al.* 1980, Sato *et al.* 1996, 2000; Tickyj 1999). Sobre estas unidades se depositaron las sedimentitas pérmicas de la Fm. Carapacha (Melchor 1999), las cuales fueron suavemente plegadas durante el Pérmico e intruidas y cubiertas por las rocas ígneas permo – triásicas del Grupo Choiyoi, en un ambiente tectónicamente estable. Estas rocas tienen características comunes con el resto de las que constituyen el Grupo, como ser la abundancia de ignimbritas mesosilícicas a silícicas de alto grado (contenidos de SiO_2 que varían desde 60 a 75% en general), domos subvolcánicos y plutones graníticos emplazados en niveles someros de la corteza.

Las rocas ígneas del Paleozoico superior

Las rocas estudiadas se hallan en el Bloque Las Matras y forman parte del Complejo Ígneo Algarrobo

del Águila, compuesto por plutones graníticos, domos riolíticos e ignimbritas traquidácicas a riolíticas. La edad es pérmica – triásica y los afloramientos principales se encuentran al norte de Algarrobo del Águila. Un segundo plutón granítico estudiado aflora en Chos Malal, casi en el límite con Mendoza (Fig. 1).

Los cuerpos intrusivos del Complejo Ígneo Algarrobo del Águila

Los cuerpos intrusivos constituyen cerrillos de escasa altura, con reducida representación areal y algunos son explotados como roca de aplicación. Se destacan, por la calidad de afloramientos, los de Puesto Los Cerros, Puesto Las Tinajeras (o Puesto Sánchez) y Cerro Colorado (Fig. 2). La relación con la roca de caja no es visible, ya que los cuerpos están rodeados por la cubierta sedimentaria cuaternaria. Fueron agrupados bajo el nombre de Formación Zúñiga del Grupo Sierra Pintada, como equivalentes plutónicos de las volcanitas de la Formación Choique Mahuida, por Linares *et al.* (1980).

Linares *et al.* (1980) dieron a conocer valores de 236 ± 10 y 256 ± 10 Ma para los granitos de la Fm. Zúñiga en la zona de Algarrobo del Águila, por el método K/Ar.

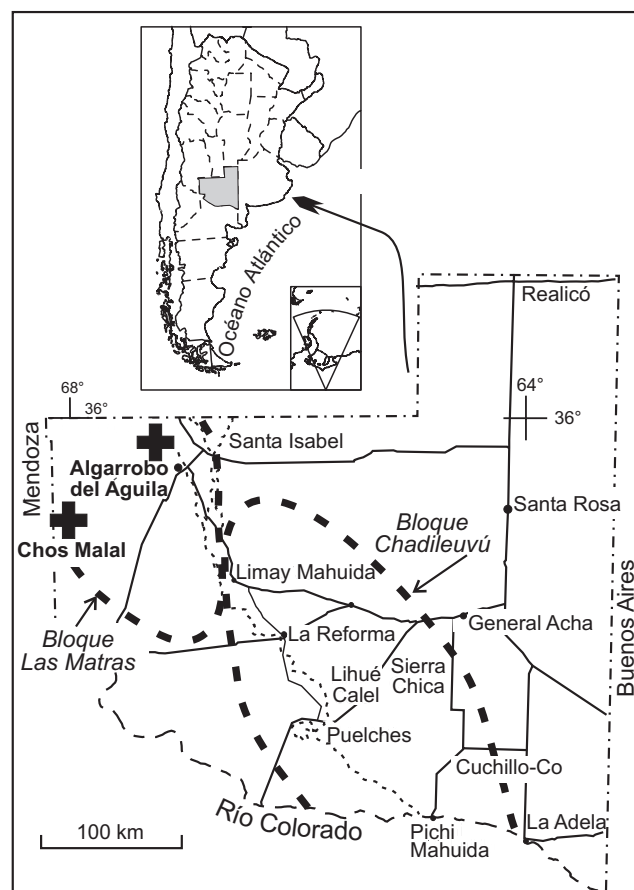


Figura 1: Mapa de ubicación. Se indica, con líneas punteadas, las áreas probables de los Bloques Las Matras y Chadileuvú.



Figura 2: Mapa geológico.

Se realizaron dos nuevas dataciones K/Ar sobre roca total y se obtuvieron edades mínimas de enfriamiento de los cuerpos, de $256,8 \pm 5,5$ Ma para la aplita de Cerro Colorado y $197,9 \pm 3,9$ Ma para la aplita de Puesto Los Cerros (Cuadro 1).

La edad de Cerro Colorado coincide con las edades obtenidas por Linares *et al.* (1980), aunque la correspondiente a Puesto Los Cerros es ligeramente menor que la de los restantes granitos. Sin embargo, queda comprendida dentro del segundo pulso de plutonismo definido por Llambías *et al.* (1996).

Los afloramientos de Chos Malal están constituidos exclusivamente por monzogranitos. Sus relaciones geológicas son inciertas ya que no se observan otras rocas. Linares *et al.* (1980) obtuvieron edades de 220 ± 10 , 244 ± 10 y 250 ± 10 Ma para el granito de Chos Malal, por el método K/Ar. Estas edades indican una edad pérmica superior a triásica, similar a las de otras rocas del Grupo Choiyoi en La Pampa.

Petrografía

Los granitos tienen textura granular fina, equigranular con variaciones a levemente porfírica, por mayor desarrollo de cuarzo y de feldespato potásico. En estos casos la matriz tiene textura granular fina y es de colores rosados con variaciones hacia tonos anaranjados. Los granitos se componen principalmente de cuarzo, feldespatos rosados y laminillas de biotita de 0,2 cm de longitud promedio. Los megacristales de feldespato potásico son euhedrales, con pertitas visibles en muestra de mano. Como minerales máficos se distingue escasa biotita y se identifica pirita oxidada.

Posee miarolas que alcanzan hasta 10 cm de diámetro, formadas por cuarzo y en ocasiones, también escaso feldespato alcalino. Hay además drusas y venillas rellenas por cuarzo, en ocasiones brechadas y cementadas con ópalo y material aplítico. Las venillas

tienen un espesor aproximado y variable entre 0,7 y 10 centímetros.

Puesto Los Cerros

Es un granito rosado con textura granular fina en la que se destacan grandes cristales de cuarzo y de feldespato potásico rosado. Son frecuentes las variaciones hacia texturas aplíticas y porfiroides. Asimismo presenta concentraciones de biotita y segregaciones de cuarzo, con participación accesoria de pirita.

Microscópicamente, la textura varía desde un tipo aplítico a porfírica con matriz microgranular gruesa que, en algunos casos, llega a ser granofírica. Los porcentajes modales promedios de los minerales principales son los siguientes: feldespato potásico (35%), cuarzo (>30%) y plagioclasa (<25%).

El feldespato potásico se identifica ópticamente como microclino, anhedral a subhedral con fuerte tendencia a desarrollar individuos más grandes que el resto de los minerales, otorgando así un aspecto porfiroide a la textura. Las maclas son según leyes de Albite-Periclino, no visibles en todos los cristales, generalmente combinadas con la de dos individuos (Carlsbad?). Presenta pertitas de tipo venilla, a veces entrelazadas. Los bordes de los cristales están remarcados por una orla de inclusiones de individuos de la matriz, reflejando posiblemente un crecimiento subsolvus. El cuarzo es sub a anhedral cuando integra la matriz y forma bipirámide y prisma corto si es megacristal. La extinción es normal a levemente fragmentosa, incluye agujas de rutilo y cuando se aloja en feldespato potásico forma «gotas». En las rocas con matriz aplítica adopta formas ameboidales. El contenido de inclusiones fluidas es variable. La plagioclasa (An_{10-14}) es subhedral, con maclado de Albite, tenue zonación y macla de dos individuos. Algunos desarrollan maclas de deslizamiento. Una albitización tardía forma un reborde más ácido. La biotita es escasa, está corroída, se asocia con minerales opacos, moscovita y clorita. Se detectaron relictos de un máfico esquelético (probablemente un anfíbol) ahora relleno por una asociación de minerales opacos oxidados, esfena, allanita y moscovita. Los minerales accesorios menores son apatita, allanita, circón, minerales opacos y fluorita violeta.

Puesto Las Tinajeras

Es un cuerpo granítico de color rosado de textura aplítica a porfiroide que aloja venas de cuarzo con biotita, brechadas y cementadas por ópalo y material aplítico. Microscópicamente, la textura es porfiroide y está compuesta por feldespato potásico (40%), cuarzo (35%) y plagioclasa (25%) y una matriz constituida por los mismos minerales. Los megacristales están atravesados por finas venillas de cuarzo.

Cuadro 1: Datos K/Ar de las rocas intrusivas de Cerro Colorado (Cocol-2) y Puesto Los Cerros (LCM-7).

N° Lab	N° Campo	Roca	Material	% K	%error K	⁴⁰ Ar Rad 10 ⁶ (ccSTP/g)	⁴⁰ Ar Atm %	Edad (Ma)
7717	Cocol-2	Aplita	RT	3,7874	0,6248	40,60	4,92	256,8 ± 5,5
7718	LCM-7	Aplita	RT	3,9910	0,5000	32,43	2,52	197,9 ± 3,9

El microclino forma megacrístales subhedrales a anhedrales, pertíticos con macla en arpillera combinada con la de dos individuos. El cuarzo es anhedral a subhedral, con bordes engolfados, con extinción normal a levemente fragmentosa. Su tamaño aumenta gradualmente desde los individuos de la matriz hasta los que forman los megacrístales. En general presenta sólo algunas inclusiones fluidas. La plagioclasa es escasa y está corroída e invadida por microclino. Tiene zonali- dad difusa e incipientes mirmequitas. Está levemente reemplazada por sericita y carbonatos. La biotita está pobremente representada y se asocia con minerales opacos y moscovita.

Cerro Colorado

Es una aplita rosada con penetraciones hidrotermales de material silíceo de grano fino que reemplaza a los megacrístales de feldespato y a la biotita.

Al microscopio la textura es granular hipidiomórfica fina, compuesta por cuarzo (35%), microclino (>30%), plagioclasa (<25%), biotita y minerales accesorios me- nores (5%).

El cuarzo es sub a anhedral con extinción en ocasio- nes fragmentosa. Tiene escasas microfracturas con in- clusiones fluidas, adopta disposición intersticial y a veces ameboidal. El microclino es pertítico, anhedral, con macla en arpillera y de dos individuos. La plagioclase es subhedral, se encuentra corroída y levemente alterada a sericita y a carbonatos, tiene zonali- dad difusa y, ocasionalmente, maclas según ley de Periclino. La composición corresponde al intervalo albita-oligo- clasa. Presenta mirmequitas, fracturas y recristalización de maclas. La biotita es escasa y siempre se asocia con minerales opacos, esfena, apatita y circón.

Chos Malal

Es un granito rosado con textura granular mediana, con variaciones aplíticas y pegmatíticas en diques. Se compone de feldespato alcalino tabular, rosado, de has- ta 0,8 cm de longitud (46%), cuarzo euhedral con tama- ño promedio de 0,5 cm (34%), plagioclase (17%), biotita en laminillas de 0,3 cm de diámetro promedio (1,5%) y minerales accesorios menores (1,5%). En las facies aplíticas se distinguen cúmulos de granate rojo de 0,2 cm de diámetro promedio.

Al microscopio el feldespato potásico es anhedral e

intersticial, tiene macla de dos individuos (Carlsbad?) y es fuertemente pertítico, está invadido por la plagio- clasa y aloja cuarzo globular. La argilitización y moscovitización es escasa. Algunos cristales son euhedrales y sin asociación con la plagioclase. El cuarzo es anhedral a euhedral, ameboidal por sectores, límpido con extinción normal y escasas inclusiones fluidas en trenes subparalelos. La plagioclase (An₆₋₁₀) es subhedral a anhedral, adopta disposición de interre- lación con el feldespato potásico, originando antipertitas y pertitas entrelazadas. La biotita es escasa, se asocia con moscovita o desarrolla simplectitas con cuarzo e incluye cristales de circón. La biotita comúnmente se asocia con magnetita presentando texturas de disequi- librio. Este último mineral se encuentra en grandes cris- tales, oxidados diferencialmente en forma concéntrica y con el núcleo reemplazado por arcillas y cloritas. Además de magnetita, otros minerales accesorios son fluorita (asociada con magnetita) circón y allanita.

Inclusiones fluidas

Se estudiaron muestras de cuarzo de miarolas (LCMim), cuarzo pegmatítico-miarolítico (CHMi), megacrístales (LCMif) y venas de cuarzo (SANi). LCM son muestras de Puesto Los Cerros, CHM del granito de Chos Malal y SAN, de Puesto Las Tinajeras. Los especímenes fueron analizados en sección doblemente pulida, con la platina de enfriamiento y calentamiento Chaixmea adosada a un microscopio Leitz Orthoplan, en el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

Descripción petrográfica de las muestras

Megacrístales (LCMif): Son cristales de cuarzo de gran tamaño, bipirámides con prismas cortos o sin pris- mas, ambas variedades de alta temperatura (conservados por rápido enfriamiento), que se encuentran como megacrístales en el monzogranito porfiroide. Es limpi- do, con inclusiones distribuidas a lo largo de planos y al azar (fig.3). Las inclusiones son bifásicas con una burbuja que ocupa un volumen promedio de 30% y hay algunas trifásicas con cubos dentro de la cavidad (halita?). La morfología de las cavidades varía desde muy irregular a cristal negativo y tienen 5 a 20 micrones.

Además hay inclusiones según líneas de crecimiento

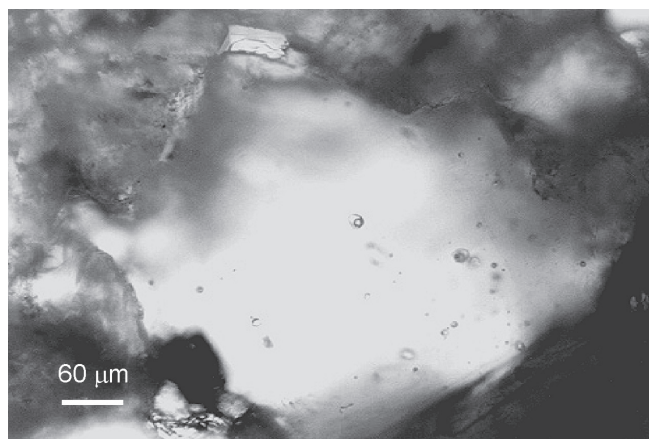


Figura 3: Megacrystal de cuarzo en el granito porfiroide de Puesto Los Cerros.

asociadas a agujas de rutilo. Son cristales negativos, de reducido tamaño (menos de 5 m) (vítreas?). Se identifica, también, una fracturación con inclusiones de gran tamaño, con estrangulamiento, irregulares, con aire o líquido de color oscuro.

Se estudiaron 4 pastillas del granito del Puesto Los Cerros con un total de 68 inclusiones, de las cuales 43 contienen CO_2 y las restantes son acuosas.

Miarola (LCMim): Es una miarola de aproximadamente 15 cm de diámetro, constituida por cuarzo y escaso feldespato potásico. El cuarzo, al microscopio muestra diferentes tipos de fracturaciones. Hay microfracturas subparalelas, con inclusiones de gran tamaño y de morfología muy irregular tipo “estrella” y con algunas evidencias de estrangulamiento, otras tienen forma de cristal negativo paralelos a la fracturación. Son bifásicas con una burbuja que ocupa el 30% del volumen de la cavidad. Esporádicamente, aparecen intercaladas cavidades con relleno trifásico con dos burbujas concéntricas de CO_2 . Algunas alojan, en la solución acuosa, sólidos con morfología cúbica y rectangular, y opacos.

También hay planos perpendiculares a los anteriores, constituidos por inclusiones de reducido tamaño con morfología de cristal negativo orientadas perpendicularmente a la fractura. Éstas son las más abundantes.

En general las cavidades tienen entre 5 y 20 micrones de diámetro máximo, algunas llegan hasta 100 micrones con evidencias de fuga del líquido.

Se estudiaron 5 pastillas del cuarzo de miarolas del granito del Puesto Los Cerros, con un total de 31 inclusiones acuosas.

Pegmatita - miarola (CHMi): Es una segregación de cuarzo y feldespato potásico en el granito porfiroide. El cuarzo tiene una lineación general con inclusiones fluidas muy irregulares, tipo atolón, con estrangulamiento. Hay algunas de reducido tamaño con forma de cristal

negativo y en general no tiene buenas inclusiones para microtermometría. Es una muestra muy fracturada, con inclusiones inmaduras, con mucho estrangulamiento. Las inclusiones son bifásicas con 10 a 30% de volumen gaseoso.

Se estudiaron 4 pastillas de cuarzo de una pegmatita-miarola del granito de Chos Malal, con un total de 12 inclusiones acuosas.

Vena de cuarzo (SANi): Es una vena de cuarzo brechada y cementada por ópalo y material granítico de grano fino. El cuarzo es euhedral, con textura “diente de perro” y lechoso, no muy bueno para el estudio de inclusiones fluidas ya que tiene abundantes planos muy irregulares y oscurecidos por impurezas (fig. 4). Estos planos alojan algunas inclusiones bifásicas, con 20-30% de volumen gaseoso, con morfología de cristal negativo. En general, las cavidades tienen formas muy irregulares, “estrelladas”, con bordes cóncavos y evidencias de estrangulamiento de las cavidades.

Se analizaron tres pastillas de cuarzo de una vena del granito de Puesto Las Tinajeras.

Resultados microtermométricos

Se estudiaron las inclusiones con morfología más regular, sin evidencias de modificaciones postcaptura, la mayoría son bifásicas con una solución acuosa y una burbuja que ocupa entre el 20 y el 30% del volumen total de la cavidad. En las muestras de Puesto Los Cerros hay, además CO_2 de baja densidad, tanto en el megacrystal como en la miarola. En algunas inclusiones se incrementa el porcentaje de CO_2 y llega a constituir una burbuja de CO_2 vapor o inclusive, las dos burbujas concéntricas con las dos fases de CO_2 (trifásicas). En Chos Malal y Puesto Las Tinajeras no hay evidencias de la presencia de CO_2 en las inclusiones bifásicas.

En el histograma de la figura 5 se ilustran los intervalos de las temperaturas de homogeneización.

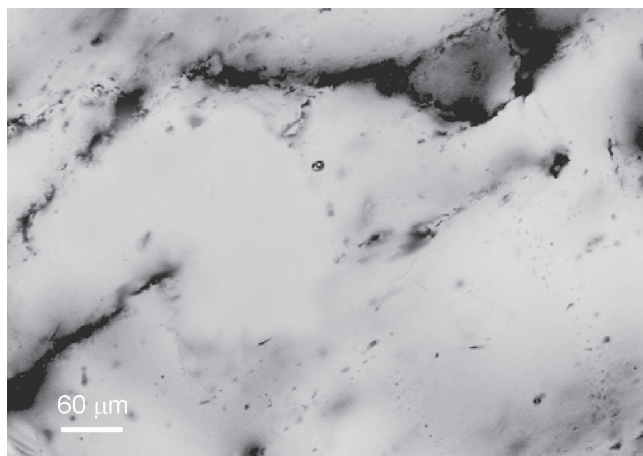


Figura 4: Cuarzo de vena, granito de Puesto Las Tinajeras.

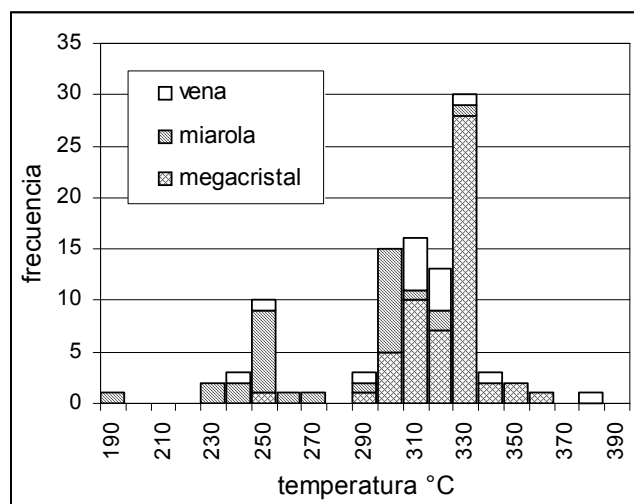


Figura 5: Histograma de las temperaturas de homogeneización. Vena: granito de Puesto Las Tinajeras; miarola: granito de Puesto Los Cerros; megacrystal: granito porfiroide de Puesto Los Cerros.

Megacrystal (LCMif): La mayoría de las cavidades son bifásicas con burbuja que ocupa el 30% del volumen de la cavidad. A temperatura ambiente, se puede visualizar, en algunas inclusiones, una delgada película en la interfase líquido-vapor, concéntrica con la burbuja. Durante el enfriamiento, se ve, en inclusiones bifásicas, la formación de la película. Se interpreta, de acuerdo con este comportamiento, que hay CO_2 con baja presión parcial y que, con pequeños aumentos de la densidad o con la disminución de la temperatura alcanza a formar la burbuja de CO_2 líquida, externa. En estos casos también se registra la fusión del CO_2 que tiene lugar en $-56,6^\circ\text{C}$, indicando la ausencia de otros gases disueltos. Esta fase congela entre -100 y -120°C .

Aquellas inclusiones en las que no se observa la película de CO_2 líquido, congelan entre -34 y -45°C . La fusión del clatrato, en los casos en que se identifica con claridad, tiene lugar entre 8 y 9°C , indicando salinidad de 2 a 4% eq. en peso NaCl. La fusión del hielo, estaría influenciada por el CO_2 disuelto, lo que conduce a sobrestimaciones de salinidad.

La homogeneización del CO_2 , en escasas inclusiones, tiene lugar y con más frecuencia, en fase vapor entre 18 y 29°C (escasos registros en fase líquida-crítica a 31°C). La homogeneización entre la fase gaseosa y la solución acuosa se produce entre 258 y $367,8^\circ\text{C}$ en fase acuosa (56 datos). Los valores más frecuentes se dan entre 295 y 351°C (54 datos). El promedio, con un máximo bien marcado en el histograma, se encuentra en 326°C (desviación estándar $16,25$). Debido a la baja densidad parcial de la inclusión, no es frecuente la ruptura de las cavidades previa a la homogeneización total, que sólo se acunó en un caso en $304,6^\circ\text{C}$. No hay ningún cambio en los sólidos ni al enfriar ni al calentar hasta 500°C temperatura a la que se rompen la mayoría de las cavidades.

Miarola (LCM im): Las inclusiones tienen líquido acuoso y una burbuja de vapor que ocupa, en promedio el 30% del volumen total de la cavidad, variando entre 5 y 60% en casos extremos. La fusión del hielo tiene lugar entre -8 y -10°C , indicando una salinidad de 12 a 14% equivalente en peso de NaCl. La temperatura del eutéctico es bastante difícil de determinar y tiene lugar alrededor de -21°C . La homogeneización es en fase líquida entre 235 y 332°C (30 datos). Se observó la decrepitación de dos cavidades en 249 y 286°C . Por las características ópticas del relleno podría haber CO_2 de baja densidad disuelto, teniendo en cuenta además, que en el examen petrográfico previo a los ensayos, se encontraron, aunque escasas, inclusiones con dos burbujas de CO_2 .

Vena (SANi): Las escasas inclusiones están alineadas según planos que alojan cavidades cuadradas y cristales negativos. Son bifásicas, con un volumen gaseoso que ocupa entre el 25 y el 30% . La fusión del hielo tuvo lugar entre -2 y -6°C indicando salinidades de $3,4$ a $9,2\%$ equivalente en peso de NaCl. El punto eutéctico no fue observado. La homogeneización se alcanzó entre 302 y 331°C (11 datos) con más frecuencia (promedio 305°C , desviación estándar 22), llegando a algunos valores extremos ($245,4$ y 381°C).

Pegmatita-miarola (CHMi)

Son escasas las inclusiones fluidas y la totalidad son acuosas bifásicas, con bajo volumen gaseoso (10 a 30%). El hielo funde entre -2 y -6°C indicando una salinidad entre $3,5$ y 9% eq. en peso de NaCl. El eutéctico tiene lugar en -23°C indicando la probable presencia de KCl. Hay escasos resultados experimentales de temperaturas de homogeneización ($203,4$ y $334,0^\circ\text{C}$) y de temperatura de decrepitación ($258,2$ y $239,6^\circ\text{C}$).

Los feldespatos

Para el estudio de la estructura y composición de los feldespatos también se separaron muestras de las facies porfiroides y pegmatíticas- miarolíticas.

Megacrystal: Puesto Los Cerros (LCM2, LCM9). El feldespato es el que otorga el carácter porfiroide a la roca. Tiene maclas según leyes de Albite-Periclino y de Carlsbad (macla de dos individuos, puede ser también según ley de Manebach o de Baveno). Es pertítico, con pertitas entrelazadas, en parches y vermiformes paralelas al clivaje.

Pegmatita-miarola: Chos Malal (CHM2). Es una segregación pegmatítica-miarolítica en granito porfiroide, constituida por cuarzo y feldespato. El feldespato

Cuadro 2: Espaciados interplanares e intensidades de los feldespatos alcalinos, indexados.

Megacristal		Megacristal		Pegmatita-miarola		
LCM2		LCM9		CHM2		
d	l/lo	d	l/lo	d	l/lo	hkl
6,4496	6	6,4822	7	6,6155	0,9	110
				6,4583	6	001,020
				5,8647	0,8	11-1
4,2143	3	4,2219	34	4,2169	4	20-1
3,9396	2	3,9458	5	3,9372	2,5	1-11
		3,8466	3	3,8453	2,0	200
		3,6640	6			13-1
		3,6180	4			1-3-1
3,4680	2,5	3,4707	15	3,4605	5	-112
				3,3115	5	220
3,2834	2,5	3,2914	25	3,2866	4,5	20-2,2-20
3,2328	100	3,2385	100	3,2289	100	040,002
		2,9906	9	2,9847	2,5	131
		2,9256	9	2,9244	2,5	1-31
2,8939	1,7	2,8975	12	2,8948	2,5	02-2, 04-1
2,7655	0,7			2,7608	1,0	1-3-2
				2,6021	1,0	
				2,5707	1,5	2-21,24-1
2,5531	1,3	2,5551	5	2,5497	1,5	112
		2,3256	3	2,3216	0,8	1-1-3
2,1580	2,5	2,1601	4	2,1584	2,2	060
2,0776	0,9	2,0747	2,5			202
		2,0500	2,5			023, 06-1
				1,9695	1,1	222
1,9242	0,55					400
1,8568	0,8			1,8528	1,25	113
1,8182	0,6	1,8188	19			26-2
1,7998	2	1,8006	4	1,7981	4	-204
				1,7194	1,25	1-33
1,6189	0,7					13-4
1,5948	0,8			1,5936	1,5	42-4
1,5703	1,6			1,5696	1,4	024
				1,4939	0,9	280
1,4504	0,7	1,4520	4			

potásico está asociado con un agregado fino de biotita-moscovita. No presenta maclas y las pertitas son coherentes (según las direcciones cristalográficas del mineral).

Las muestras fueron estudiadas con un difractómetro Siemens D5000 con radiación Cu/Ni. En primera instancia se separaron las reflexiones correspondientes a la fase sódica. Para la determinación de la variedad de feldespato y para la indexación de los 2 θ , se compararon los resultados con las fichas JCPDS y con los datos de Wright y Stewart (1968) (Cuadro 2). Los parámetros

de celda fueron calculados con el programa de Appleman y Evans (1973; Benoit 1987) (Cuadro 3).

La triclinicidad se calculó según la fórmula de Goldsmith y Laves (1954) utilizando las reflexiones de los planos 131 y 1-31 para los feldespatos LCM9 y CHM2 que son las únicas muestras en las que se identifican (Cuadro 2 y 3). Los resultados indican baja triclinicidad (Cuadro 3). La falta de definición del pico (131) podría adjudicarse a contenido de ortosa y microclino de oblicuidad variable (Parsons y Boyd 1971). Además, la existencia de una importante fase sódica como pertitas, oblitera la reflexiones 131 y 1-31 del feldespato potásico (entre otros Parsons y Boyd 1971). En el caso de los microclinos de Puesto Los Cerros, particularmente en LCM2, en el cual no se distingue ninguna reflexión de los planos 131 y 1-31, la comprobación de la presencia del polimorfo triclinico es obvia por la existencia de la macla compleja según leyes de Albite-Pericline.

Por otra parte, la diferencia entre las reflexiones de los planos (-201) de la fase sódica y de la potásica es, en los tres microclinos mayor a 1°, lo que indica que las pertitas están formadas por los miembros extremos. Considerando que no hay evidencias de fuerte deformación, el valor 2 θ de las reflexiones (-201) no está desplazado, lo que hace válida la anterior conclusión (Parsons y Boyd 1971).

Además, los feldespatos son anómalos, en el sentido de Wright y Stewart (1968), ya que sus parámetros de celda no coinciden con los datos teóricos. Por esta razón, se utilizan las reflexiones de los planos -201, 060

Cuadro 3: Parámetros de celda y reflexiones de algunos planos de los feldespatos potásicos.

	Megacristal	Megacristal	Pegmatita-miarola
	LCM2	LCM9	CHM2
	microclino	microclino	microclino
<i>a</i>	8,566	8,568	8,564
<i>b</i>	12,93	12,95	12,91
<i>c</i>	7,201	7,218	7,197
α	90,9	90,40	90,10
β	115,6	116,4	116,6
γ	88,2	89,6	89,9
α^*	89,86	89,75	89,93
γ^*	91,56	90,24	90,06
volumen	0,710	0,720	0,720
triclinicidad	nc	0,8125	0,7537
Δ (-201)	> 1°	> 1°	> 1°
2 θ (060)	41,825	41,782	41,817
2 θ (-204)	50,680	50,656	50,731
2 θ (-201)	21,063	21,025	21,050
Σt_1	0,8852	0,8732	0,8395
nc: no calculado			

y -204 (método de los tres picos de Wright 1968) para los cálculos del estado estructural. Estos valores (Cuadro 3) representados en el gráfico de Wright (1968) coinciden con el sector de microclino intermedio, sobre la línea de microclino máximo-baja albita. El grado de anomalía, calculado sobre la base de la diferencia entre el 2θ de la reflexión (-201) obtenido y teórico, indica que la muestra LCM9 es la que menos se aparta de los valores teóricos. Similares resultados se consiguen con el valor Δa , es decir, la diferencia entre la dimensión a calculada y la teórica. En todos los casos se obtuvieron valores superiores a 0,17 excepto para la LCM9 que es 0,008 (Kroll y Ribbe 1987).

En virtud de las anomalías, el porcentaje de ortosa se calculó a partir del volumen, obteniendo valores de 85% a 90% de ortosa (Wright y Stewart 1968, figura 1, p 44).

El estado estructural del feldespato fue determinado a través del contenido de Al en los sitios tetraédricos (T1) ya que los monoclinos son desordenados y los triclinos ordenados. El valor 2θ de los planos 060 y -240 (Kroll y Ribbe 1987) se utilizó para calcular $\Sigma t1$ (distribución Si-Al) que resulta entre 0,84 y 0,88. Estos valores representados también en el diagrama 2d de Kroll y Ribbe (1987) sugieren que no se alcanzó un ordenamiento máximo, ya que quedan representados en el campo del microclino intermedio.

Discusión

En los cuerpos intrusivos de La Pampa son frecuentes tanto las miarolas como las texturas aplíticas y pegmatíticas además de las porfiroides. Los granitos corresponderían a la cúpula de plutones monzograníticos, cuya textura en profundidad podría ser rica en megacristales de feldespato potásico. La abundancia de segregaciones aplíticas – pegmatíticas indican fracturas sinmagmáticas y alta concentración de fluidos. La amplia variación de texturas y los cambios abruptos en el tamaño de los cristales sugieren alta velocidad de nucleación y alta velocidad de crecimiento.

Según Candela (1997) la variación textural caracteriza a las rocas graníticas que se emplazan en niveles someros y representa la historia del enfriamiento de la roca. La saturación en volátiles en las cúpulas de los plutones favorece el desequilibrio textural dando lugar a diferentes morfologías como p. ej. cuarzo en megacristales, cuarzo pegmatítico, cuarzo granofírico, cuarzo aplítico y cuarzo de miarolas. De esta manera, la variación textural es la mejor evidencia de la saturación de los magmas en una fase volátil y esto se da, casi exclusivamente, en niveles superiores de la corteza. Son los granitos de grano más fino y los más ricos en cavidades miarolíticas.

Cuando el magma está saturado, además de la fase vapor, se puede separar una salmuera y en este caso, ambas fases actúan como potencial transporte de meta-

les. En este sentido, Ratajeski y Campbell (1994) describen inclusiones fluidas con soluciones saturadas en NaCl y otras sales de origen magmático, en un granito de ambiente somero. En Puesto Los Cerros es muy probable la presencia de halita precipitada en las cavidades, si bien no se ha podido confirmar a través de los ensayos microtermométricos debido a la decrepitación de las inclusiones a los 500°C, antes de alcanzar la disolución de la halita. Este fenómeno sucede probablemente porque hay CO₂ disuelto y al calentar la inclusión, la presión interna se eleva más rápidamente que en el sistema simple H₂O-NaCl o H₂O-CO₂. Además, el CO₂ disminuye la solubilidad del NaCl en agua. Al respecto, Ratajeski y Campbell (1994) han reportado temperaturas tan altas como 582°C para la disolución de la halita y Gómez y Martínez (1999) también encuentran inclusiones con CO₂ vapor y polifásicas, con cristales no solubles aún calentando por encima de la temperatura de desaparición de la burbuja de vapor, en el plutón somero de Serrezuela (Córdoba). Por la relación existente entre la solución acuosa salina y el CO₂ en los granitos de La Pampa, se puede inferir que existió una salmuera contemporánea con una fase vapor reducida en volumen.

En los megacristales, las inclusiones fluidas homogeneizan a temperaturas más bajas (260 y 370°C) que las temperaturas magmáticas. De acuerdo con la distribución de las inclusiones dentro de estos cristales, se propone un origen primario. Sin embargo, y teniendo en cuenta las temperaturas, es probable que estas inclusiones sean secundarias y originadas por procesos postmagmáticos. Los fluidos capturados son de composición compleja H₂O – NaCl – CO₂ con proporciones variables de NaCl, hasta 20% equivalente en peso y probablemente superando también el límite de saturación. El contenido de CO₂ es muy bajo, no mayor de 0,04% molar en las cavidades donde se observó la formación de clatrato durante el enfriamiento y menor a 0,015% molar en las cavidades donde no se condensa CO₂ líquido. En cualquier caso, CO₂ de baja densidad (0,3 g/cm³ la mayor densidad registrada) puede encontrarse solamente en ambiente de profundidad somera, con muy baja presión confinante.

La cristalización del cuarzo en las miarolas tuvo lugar entre 235 y 335°C, y en las venas entre 300 y 330°C, con salinidades de hasta 14% equivalente en peso de NaCl. En el diagrama de las isocoras (Fig. 6) se puede ver que es mayor el descenso en presión que en la temperatura durante la cristalización del cuarzo en las diferentes manifestaciones.

Por otra parte, considerando que el feldespato potásico es microclino intermedio, cuyo grado de ordenamiento no es máximo, se puede inferir que el enfriamiento ha sido más bien rápido (Shmakin 1979). Es probable que además de microclino, haya ortosa intercrecida. En este caso, no tendrían valor los parámetros calculados a partir de la indexación de las reflexiones ya que no es posible indexar para el sistema mono-

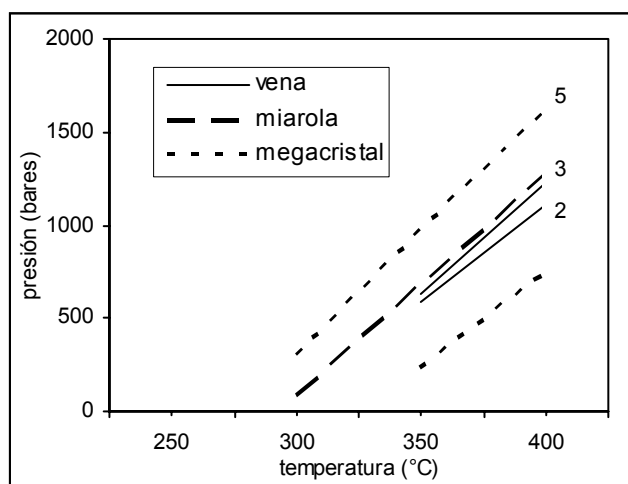


Figura 6: Evolución de los fluidos en el campo P-T. d: 1= 0,807 g/cm³; 2= 0,735 g/cm³; 3= 0,867 g/cm³; 4= 0,873 g/cm³; 5= 0,790 g/cm³ (calculado con el programa Flncon de Brown 1989).

clínico y el triclinico a la vez. Por esta razón se han realizado todos los cálculos en función de los valores de d y/o 2θ , evitando el problema de la incertidumbre en el valor de a , b , c y α , β , γ . Estudios de detalle (en Brown y Parsons 1989) han demostrado que coexiste microclino alto a intermedio con ortosa, a escala submicroscópica. En ese caso el microclino tiene un intervalo de valores de $\Sigma t1$ que coincide con los resultados experimentales del presente trabajo. Si bien es poco frecuente en la naturaleza el microclino de oblicuidad intermedia, en este caso estaría indicando un proceso de enfriamiento más rápido que lo habitual, coincidente con la propuesta de que estos afloramientos son la cúpula de un plutón. Sin embargo, el tiempo ha sido el suficiente para dar lugar a la exsolución de la fase peritética ya que todos los feldespatos contienen perititas de tipo *film* coherentes. Brown y Parsons (1989) aducen que la rareza del microclino intermedio en la naturaleza es producto de la relativa rapidez del ordenamiento de Al y Si, una vez que se supera la barrera de la textura *tweed* de la ortosa. El pasaje a microclino intermedio depende de que se encuentre en su campo de estabilidad P-T. El intervalo de temperatura de estabilidad en la naturaleza es pequeño y la velocidad de ordenamiento es geológicamente rápida. Su preservación requiere un intervalo muy limitado de velocidades de enfriamiento en ausencia de interacción con fluidos deutéricos (Brown y Parsons 1989). Al respecto, las rocas graníticas de La Pampa se conservan sin evidencias de acción de fluidos deutéricos. Además es común que las rocas subsolvus contengan grandes volúmenes de microclino intermedio formado a partir de la ortosa por “engrosamiento” de las maclas (Brown y Parsons 1989). La ausencia de la macla en enrejado en el cuerpo de Chos Malal se explicaría según lo observado por Barth (1969) para cuerpos pegmatíticos y otras rocas de baja temperatura.

Para una composición de 85 a 90% de ortosa, el microclino intermedio se habría formado por debajo de los 425°C lo que coincide con Barth (1969) que indica que feldespatos con valores de triclinicidad entre 0,75 y 0,81 cristalizan a menos de 400°C. Estas temperaturas coinciden claramente con los valores encontrados a partir del estudio de inclusiones fluidas.

Conclusiones

En el Complejo Ígneo Algarrobo del Águila la amplia variación textural y la marcada transición hacia los términos netamente volcánicos es causada por la rápida cristalización en ambientes de profundidad somera. La saturación en fluidos y la separación de una salmuera en las fases tardías ocasionan la formación de miarolas y variaciones aplíticas y pegmatíticas. Las rocas se mantienen frescas, en un ambiente tectónicamente estable, ya que, entre otras características, las inclusiones fluidas no evidencian modificaciones post-atrapa producidas por deformaciones. Los fluidos derivados del magma saturado en agua, en NaCl y con escaso CO₂ son atrapados como inclusiones fluidas en el cuarzo.

En los megacrystalos del granito porfiroide las temperaturas de homogeneización se concentran notablemente entre 300 y 330°C. El gráfico de salinidad (%) vs. temperatura de homogeneización (Fig. 7) indica un descenso isotérmico de la salinidad, proceso que puede atribuirse a mezcla con aguas meteóricas. En las miarolas la captura de inclusiones fluidas se ha producido preferentemente entre 290 y 335°C. En la vena las temperaturas de homogeneización se concentran entre 300 y 330°C. En todos los casos, la mayor frecuencia de registros se concentra en un intervalo reducido indicando una rápida cristalización.

El grado de ordenamiento intermedio de los feldespatos potásicos también es indicativo de un enfriamiento

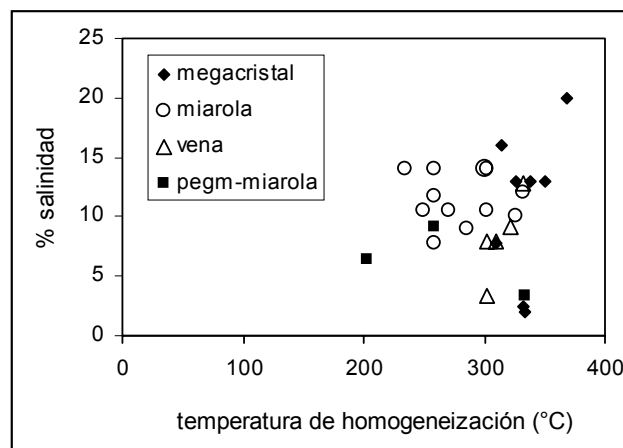


Figura 7: Temperatura de homogeneización *versus* contenido salino. Vena: granito de Puesto Las Tinajeras; miarola: granito de Puesto Los Cerros; pegmatita-miarola: granito Puesto Los Cerros; megacrystal: granito porfiroide de Puesto Los Cerros.

to rápido, a temperaturas por debajo de los 400°C. La ausencia de la macla según leyes de Albita-Periclino es frecuente en cuerpos de estas temperaturas.

Finalmente, todas las características de los cuerpos graníticos, en lo que respecta a la variación textural, abundancia de miarolas, propiedades P-T-X de las inclusiones fluidas, oblicuidad intermedia del microclino, enriquecimiento en componentes volátiles, presencia de minerales como fluorita, apatito y turmalina, son consistentes con la cúpula de un plutón emplazado muy cerca de la superficie. Posiblemente son los remanentes del reservorio magmático que alimentó las erupciones que dieron origen a los flujos piroclásticos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de La Pampa por su apoyo logístico. Los trabajos fueron financiados con fondos de los proyectos PEI 148/97 y PIP 4329/96 de Conicet y PICT 0743 de la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Appleman, D.E. y Evans, H.T. Jr. (1973): Job 9214. Indexing and least-squares refinement of powder-diffraction data. U.S. Geological Survey Computer Contribution 20, U.S. Nat. Techn. Inf. Serv., Doc. PB2-16188.
- Barth, T. F.W., 1969. Feldspars. Wiley – Interscience. New York. 261p.
- Benoit, P.H., 1987. Adaptation to microcomputer of the Appleman-Evans program for indexing and least-squares refinement of powder diffraction data for unit-cell dimensions. *The American Mineralogist* 72: 1018-1019.
- Brown, P.E., 1989. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *The American Mineralogist* 74, 1390-1393.
- Brown, W. y Parsons, I., 1989. Alkali feldspars: ordering rates, phase transformations and behaviour diagrams for igneous rocks. *Mineralogical Magazine*, 53: 25-42.
- Candela, P., 1997. A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles, and ore metals. *Journal of Petrology*, 38 (12): 1619-1633.
- Goldsmith, J.R. y Laves, F., 1954. The microcline-sanidine stability relations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 5: 1-19.
- Gómez, G.M. y Martínez, E., 1999. Distribución temporal de fluidos posmagmáticos e hidrotermales en el plutón granítico de Serrezuela, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(3): 195-205.
- Kroll, H. y Ribbe, P.H., 1987. Determining (Al, Si) distribution and strain in alkali feldspars using lattice parameters and diffraction-peak positions: A review. *The American Mineralogist*, 72: 491-506.
- Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C.O., 1980. Geología de la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35(1): 87-146.
- Llambías, E.J. y Leveratto, M.A., 1975. El plateau riolítico de la provincia de La Pampa, República Argentina. 2 Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 1: 99-114, Buenos Aires.
- Llambías, E.J., Melchor, R.N., Tickyj, H. y Sato, A.M., 1996. Geología del Bloque del Chadileuvú. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 417-425, Buenos Aires.
- Melchor, R.N., 1999. Redefinición estratigráfica de la Formación Carapacha (Pérmico), provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(2): 99-108.
- Melchor, R.N., Sato, A.M., Llambías, E.J. y Tickyj, H., 1999. Documentación de la extensión meridional del terreno Cuyania/Precordillera en la provincia de La Pampa. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 156-159.
- Parsons, I. y Boyd, R., 1971. Distribution of potassium feldspar polymorphs in intrusive sequences. *Mineralogical Magazine*, 38: (29) 5-311.
- Quenardelle, S.M. y Llambías, E.J., 1997. Las riolitas de Sierra Chica (37° 48' S, 65° 26' O): un centro eruptivo gondwánico en el bloque de Chadileuvú, provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52(4): 549-558.
- Ratajeski, K. y Campbell, A.R., 1994. Distribution of fluid inclusions in igneous quartz of the Capitan pluton, New Mexico, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58(3): 1161-1174.
- Sato, A.M., Tickyj, H. y Llambías, E.J., 1996. Geología de los afloramientos graníticos del sur de la provincia de La Pampa. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 429-439.
- Sato, A.M., Tickyj, H., Llambías, E.J. y Sato, K., 1999. Rb-Sr, Sm-Nd and K-Ar age constraints of the Grenvillian Las Matras pluton, Central Argentina. 2° South American Symposium on Isotope Geology, Actas: 122-126.
- Sato, A.M., Tickyj, H., Llambías, E.J. y Sato, K., 2000. The Las Matras tonalitic-trondhjemitic pluton, central Argentina: Grenvillian-age constraints, geochemical characteristics, and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 587-610.
- Shmakina, B.M., 1979. Composition and structural state of K-feldspars from some U.S. pegmatites. *The American Mineralogist*, 64: 49-56.
- Tickyj, H., 1999. Estructura y petrología del basamento cristalino en la región centro-sur de la provincia de La Pampa, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Museo, UNLP, La Plata, 299 p. (inédito).
- Wright, T.L. y Stewart, D.B., 1968. X-ray and optical study of alkali feldspar: I. Determination of composition and structural state from refined unit-cell parameters and 2V.
- Wright, T.L., 1968. X-ray and optical study of alkali feldspar: II: An X-ray method for determining the composition and structural state from measurement of 2q values for three reflections. *The American Mineralogist* 53: 88-104.

Recibido: 21 de diciembre, 2001

Aceptado: 14 de abril, 2003