

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y ESTRUCTURAL DE FELDESPATOS POTÁSICOS DE ALGUNAS PEGMATITAS DE LOS GRUPOS BALILLA Y AURORA, DISTRITO PEGMATÍTICO VALLE FÉRTIL, SAN JUAN

Julio OYARZÁBAL¹, M. Belén ROQUET¹, Miguel A. GALLISKI² y Ernesto PERINO³

¹ Cátedra de Mineralogía, Universidad Nacional de San Luis, San Luis.

² IANIGLA, CCT Mendoza-CONICET, Mendoza. E-mail: galliski@lab.cricyt.edu.ar

³ Área de Química Analítica, Universidad Nacional de San Luis, San Luis.

RESUMEN

Las pegmatitas San Guillermo, Santa Amalia, Andacollo y El Chañar se localizan entre los 30°30' y 30°47' S y 67°29' y 67°43' O, al oeste de las localidades de Usno y San Agustín, en el ámbito de la Sierra de Valle Fértil, San Juan. Se encuentran emplazadas en rocas metamórficas de alto grado, de facies anfibolitas a granulitas, principalmente metabasitas y gneises granodioríticos con intercalaciones anfibolíticas e intrusiones de metagabros, metatonalitas y granitos biotíticos en el sector austral. Los cuerpos son tabulares, con rumbos entre N25°-30°O y N25°-45°E y buzamientos 30°-45° NE o NO. Las pegmatitas son micacíferas y pueden ser clasificadas mayoritariamente como de clase muscovita (MS), conjuntamente con otros yacimientos de similares características integran los grupos Balilla y Aurora del distrito pegmatítico Valle Fértil. Los depósitos exhiben una estructura interna heterogénea, reconociéndose zonas de borde, externa, intermedia y núcleo, más diferentes unidades de reemplazos. La asociación mineral está formada por Kfs-Qtz-Ab- $Ms-Bt \pm$ Grt-Brl-Vrm-Aln-Mnz-Ep. El feldespato potásico estudiado proviene de la zona intermedia de cada depósito, es de color rosado a pardo, moderadamente perthítico y desarrolla siempre formas subhedrales y textura en bloque. Los análisis químicos caracterizan el tipo pegmatítico, su signatura geoquímica y el potencial mineralógico de los depósitos, reflejando elevada pureza composicional, con alto K₂O y Ba, y bajos tenores de P₂O₅, Rb y Cs, acorde a feldespatos alcalinos pertenecientes a pegmatitas consideradas geoquímicamente como de bajo nivel evolutivo. Las relaciones K/Rb, K/Cs y Rb/Sr correlacionan muy bien con los valores obtenidos en otros yacimientos de similares características de la provincia pegmatítica Pampeana. El grado de ordenamiento (Al, Si), como indicador del grado estructural de cada fase, fue determinado así como el contenido de Al en sitios tetraédricos T₁ y calculado en función de los parámetros de celda, de picos de difracción característicos y de las distancias traslacionales [110] y [110]. Los resultados obtenidos indican que el feldespato en bloques de la zona intermedia tiene una estructura altamente ordenada, sugiriendo condiciones de cristalización con baja cinética de nucleación.

Palabras clave: *Feldespato potásico, geoquímica, estructura interna, pegmatitas, distrito pegmatítico Valle Fértil.*

ABSTRACT

Geochemical and structural characterization of potassic feldspars from pegmatites from Balilla and Aurora Group, Valle Fértil pegmatitic field, San Juan.

San Guillermo, Santa Amalia, Andacollo and El Chañar muscovite-bearing pegmatites from Balilla and Aurora pegmatite groups, are located between 30°30' and 30°47' S and 67°29' and 67°43' W, in the Sierra de Valle Fértil, northwestern Argentina. The deposits are hosted in medium to high-grade metamorphic rocks of Barrovian upper amphibolite to granulite facies. The pegmatites are tabular, with N25°-30°W to N25°-45°E predominant strikes, and 30°-45° NE or NW dips. The pegmatites show heterogeneous, complex internal structure with variable textural patterns and mineral modes; the units of primary crystallization are border, wall, intermediate zones and quartz core, discrete muscovite and albite replacement bodies are always present. The mineral assemblages are characterized by the predominance of K-feldspar, quartz, plagioclase, muscovite and biotite; the accessory minerals are Grt-Brl-Vrm-Aln-Mnz-Ep. Based on mineralogical, geochemical, structural and paragenetic attributes, the pegmatites are mainly classified as belonging to the muscovite (MS) class. The K-feldspar from the intermediate zones shows pink or pale brown color, blocky texture and moderate perthitic character. Their chemical analyses reflect the pegmatite type, geochemical signature and mineralization of the deposits, the K/Rb, K/Cs and Rb/Sr ratios correlate well with the established patterns of geochemical fractionation for muscovite-bearing and barren rare-element pegmatites of LCT (Li, Cs, Ta) signature of the Pampean pegmatitic province. (Al, Si) ordering in the tetrahedral sites have been calculated from lattice parameters, selected diffraction-peak positions, and translation distances along [110] and [110] directions.

The results indicate that the blocky K-feldspar from intermediate zones have a fully ordered structure. The near maximum microcline state suggests conditions of crystallization at low rates of nucleation. Identical ordering values were determined for internal K-feldspar with similar texture and grain-size in other deposits of the Pampean pegmatitic province.

Keywords: *K-feldspar, geochemistry, (Al, Si) ordering, pegmatites, Valle Fértil pegmatite field.*

INTRODUCCIÓN

Feldespatos potásico, albita, cuarzo y muscovita son constituyentes esenciales en pegmatitas graníticas; todos ellos, y en especial los feldespatos alcalinos, cristalizan durante todo el período de consolidación pegmatítica, por lo que sus análisis composicionales proveen información relacionada a las características petrogenéticas del yacimiento (Trueman y Černý 1982, Černý *et al.* 1985, Černý 1994), a tendencias evolutivas en depósitos cogenéticos (Shearer *et al.* 1985) y a su potencial económico (Gordiyenko 1971, Smeds 1992).

La estructura interna del feldespato potásico está formada por una red tridimensional de tetraedros SiO₄ y AlO₄, en relación ~3:1, con intersticios en los cuales se alojan cationes alcalinos, predominantemente K, con número de coordinación 12. En estos sitios estructurales en reemplazo de K se alojan Rb, NH₄, Cs, Ca, Sr, Pb, Ba, Eu, La y Li, mientras que B, Ga, Ge, Fe, Mg, Ti y P son incorporados como reemplazos en los sitios tetraédricos. La concentración de estos elementos subordinados, minoritarios y trazas constituye un excelente indicador de las características petrogenéticas, mineralógicas y geoquímicas de un depósito y puede ser utilizado para determinar el tipo de pegmatita, su signatura geoquímica y su probable mineralización, además de servir de base para establecer patrones de correlación entre diferentes distritos pegmatíticos. Trabajos previos referidos a esta temática en diversos yacimientos y distritos de la provincia pegmatítica Pampeana han sido llevados a cabo por Morteani *et al.* 1995, Galliski *et al.* (1997), Perino (1998), Oyarzábal y Perino (2000), Oyarzábal y Galliski (2002), Oyarzábal (2004), Oyarzábal y Roquet (2004) y Oyarzábal y Cadile (2004), entre otros.

La determinación del grado de ordenamiento estructural del feldespato potásico, condicionada por la distribución (Al, Si) en sitios tetraédricos específicos, es petrológicamente informativa y constituye una valiosa herramienta en el análisis de las condiciones fisicoquímicas imperantes durante los procesos de consolidación de una pegmatita (Černý 1982). Influyen en el ordenamiento algunos factores tales como la velocidad de enfriamiento, la composición de los fluidos, la intensidad de los procesos deformacionales, la presencia de exsoluciones sódicas, la abundancia de sustituciones alcalinas, y algunos aspectos texturales, en especial los relacionados a la granometría (Guidotti *et al.* 1973, Smith 1974, Viswanathan y Kielhorn 1983, Martín 1988, Neves y Godinho 1999). Recientes estudios vinculados a esta temática en pegmatitas de los distritos Valle Fértil (San Juan), Papachacra (Catamarca), Punilla (Córdoba), Conlara y Totoral (San Luis) han sido llevados a cabo por Oyarzábal y Perino (2000), Oyarzábal y Galliski (2002), Roquet y Oyarzábal (2002), Černý *et al.* (2003), Oyarzábal (2004), Oyarzábal y Roquet (2004), Colombo y Lira (2006) y Colombo (2007).

En esta contribución se dan a conocer estudios geoquímicos y de difracción de rayos X realizados sobre los feldespatos potásicos de algunas pegmatitas representativas del distrito Valle Fértil.

DISTRITO PEGMATÍTICO VALLE FÉRTIL

Los primeros aportes al estudio integral de las pegmatitas del distrito Valle Fértil fueron realizados por Herrera (1958) y Mirré (1976), con posteriores reseñas de Galliski (1994, 1999). Villar Fabre *et al.* (1958) y Brodtkorb (1971) estudiaron los minerales de torio y allanita respectiva-

mente, procedentes de estas pegmatitas; Oyarzábal (1999a, b, c) ha realizado estudios inéditos sobre algunas pegmatitas en particular, mientras que Oyarzábal y Perino (2000), Casquet *et al.* (2003) y Oyarzábal y Roquet (2004) son las contribuciones más recientes.

El distrito pegmatítico Valle Fértil agrupa más de cincuenta pegmatitas ubicadas en una faja meridional de unos 30 km de longitud comprendida en el sector oriental de la sierra homónima. Según Herrera (1958) se distinguen tres grupos pegmatíticos que de norte a sur se denominan Balilla, Aurora y Tinacria.

El grupo Balilla se encuentra ubicado en el sector norte del distrito, aproximadamente 15 km al O de la localidad de Usno, y en él se encuentran emplazadas numerosas pegmatitas muscovíticas de las cuales los exponentes más relevantes son los depósitos San Guillermo y Santa Amalia. El grupo Aurora está localizado 12 km al oeste de la localidad de San Agustín, los yacimientos más importantes que lo integran son las pegmatitas Andacollo, El Chañar y El Jote. En el sector sur del distrito, sobre el faldeo occidental de la quebrada de Las Juntas, y aproximadamente a 30 km al SO de San Agustín, se encuentran los yacimientos María Estela y Myriam, exponentes de referencia del grupo Tinacria.

Las pegmatitas se encuentran emplazadas en rocas metamórficas de alto grado, de facies anfíbolitas a granulitas, principalmente metabasitas y gneises granodioríticos con intercalaciones anfíbolíticas e intrusiones de gabros, tonalitas y granitos biotíticos en el sector austral (Mirré 1971), aunque también concurren intercalaciones de protolitos pelíticos, cuarzo-feldespatos y, muy subordinados, calcáreos. Recientemente, varios autores estudiaron las condiciones del metamorfismo, las cuales tienen algunas variaciones en fun-

CUADRO 1: Asociaciones paragenéticas de yacimientos de los grupos pegmatíticos Balilla y Aurora.

	Z. de borde	Z. externa	Z. intermedia	Núcleo
San Guillermo	Pl(50)-Qtz(40)-Ms(10) ±Bt-Grt	Mc(45)-Qtz(40)-Pl(10)-Ms(5) ±Bt	Mc(50-80)-Qtz(15-45)-Ms(10)Bt(5) ±Vrm	Qtz(100) ±Ms-Brl-Ep
Santa Amalia	Pl(50)-Qtz(30)-Ms(20) ±Bt-Grt	Mc(40)-Qtz(45)-Pl(10)-Ms(5) ±Bt-Vrm-Grt	Mc(50-70)-Qtz(20-50)-Ms(10)-Bt(5) ±Vrm	Qtz(100) ±Ms
Andacollo	Qtz(50)-Pl(40)-Ms(10) ±Gr	Mc(50)-Qtz(40)-Pl(5)-Ms(5)	Mc(80)-Qtz(10)-Ms+Bt(10) ±Gr	Qtz(95)-Pl(5) ±Ms-Brl
El Chañar	Qtz(50)-Pl(40)-Ms(10) ±Gr	Mc(65)-Qtz(30)-Pl(5) ±Ms-Gr	Mc(80)-Qtz(15)-Ms(5)±Bt-Gr	Qtz(100) ± Ms-Brl-Ab

Se consigna entre paréntesis el porcentaje modal correspondiente a cada mineral.

ción de las asociaciones minerales estudiadas. Delpino *et al.* (2008) y Gallien *et al.* (2009) establecieron en paragénesis calcáreas una trayectoria metamórfica que va de 860° a 750° C a presiones intermedias de 6,5 kb, mientras que Otamendi *et al.* (2008) estudiando asociaciones pelíticas y cuarzo-feldespáticas obtuvieron rangos de temperatura y presión para el pico metamórfico comprendidos entre 840°-770°C y 7,1-5,2 kb respectivamente. Según Rapela *et al.* (2001), la edad del pico metamórfico estaría definida en 466,5 Ma (U-Pb SHRIMP).

Basado en varias dataciones K-Ar sobre muscovita, Toubes Spinelli (1983) diferenció tres ciclos de intrusiones pegmatíticas, situados entre 650-600 Ma, 500 Ma y 430 Ma. Galindo *et al.* (1996) obtuvieron sobre granate, feldespato potásico y muscovita de una pegmatita cercana a Usno, una isocrona de 455±3 Ma (MSWD = 1,9) con una relación inicial $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86} = 0,7093 \pm 0,0002$, mientras que una errorcra sobre muscovita, biotita, feldespatos potásicos blanco y rosado, granate y berilo de una pegmatita ubicada en el arroyo Cachiuyuyo les dio 437±14 Ma (MSWD = 43) y $^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ inicial 0,700±0,006. Asimismo obtuvieron edades K-Ar de muscovita, biotita y feldespato potásico blanco de esta misma pegmatita que dieron 458±11 Ma, 409±8 Ma y 311±10 Ma respectivamente. Casquet *et al.* (2003) obtuvieron la edad de cristalización de una pegmatita del distrito mediante la aplicación del método Sm-Nd en granates con altos contenidos en tierras raras pesadas, resultando ser de 455±3 Ma (MSWD = 1,4).

En relación al origen de estas pegmatitas, Herrera (1958) postuló como probable el mecanismo de cristalización pegmatítica a partir de fundidos contenidos en cámaras cerradas, provenientes de la diferen-

ciación de un granito biotítico emplazado en el sector centro-occidental del distrito. Galliski (1994, 1999) no descartó un posible origen anatóctico. De acuerdo a Casquet *et al.* (2003), las pegmatitas de la sierra de Valle Fértil se habrían formado por fusión de protolitos corticales ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7093$) y posterior emplazamiento bajo condiciones P-T que postdatan a un pico metamórfico local de ~ 690°±90° C y 4,1±0,4 kbar, durante una fase de acortamiento horizontal generadora de fracturas extensionales de bajo ángulo y fallas inversas.

GEOLOGÍA DE LAS PEGMATITAS

En general, los depósitos del distrito exhiben morfología tabular a irregular, con dimensiones de 30-325 m de longitud por 10-20 m de ancho máximo; de acuerdo a Herrera (1958), los rumbos predominantes están comprendidos entre N25°-30°O y N25°-45°E. No obstante, los cuerpos estudiados se emplazan con dirección N20°-51°E e inclinaciones de hasta 45° hacia el SE. En el exocontacto, las rocas huéspedes desarrollan una salbanda muy friable, de color pardo grisáceo, con foliación paralela a la interfase y abundancia de filosilicatos secundarios.

Las pegmatitas muestran una estructura interna compleja e irregular, con desarrollo de zonas de borde, externa, intermedia y núcleo, más diferentes unidades de reemplazo albiticas y muscovíticas. Si bien las diferencias texturales y modales caracterizan a cada yacimiento, la asociación paragenética siempre está definida por la predominancia de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y muscovita, con mineralización accesoria de Bt-Vrm-Alm-Tur-Brl-Ep-Mnz-Aln (*cf.* Cuadro 1, símbolos según Kretz 1983).

Los yacimientos San Guillermo y Santa Amalia se encuentran al N del distrito, 15 km al O de la localidad de Usno, sobre las nacientes de la quebrada de Cachiuyuyo (Fig. 1). Ambos tienen morfología tabular; el mayor de ellos, San Guillermo, desarrolla una corrida de 120 m de longitud a través de un área aflorante de aproximadamente 4.400 m², con un rumbo predominante comprendido entre N20°-25°E y un buzamiento medio de 47°SE (Oyarzábal 1999c, Oyarzábal y Perino 2000). Los afloramientos correspondientes al cuerpo Santa Amalia se localizan 1.000 m al SSO y son de moderadas dimensiones. Ambos depósitos se encuentran actualmente inactivos, pero fueron explotados intensamente durante décadas pasadas para producir muscovita y biotita, y posteriormente algo de vermiculita, todas de muy buena calidad. La pegmatita Andacollo se localiza 12 km al O de la localidad de San Agustín, a 30° 38'55''S y 67° 34'47''O (Fig. 1). Se trata de un cuerpo de morfología subtabular, de 325 m de largo por 200 m de ancho medio, con su eje mayor orientado en dirección N51°E e inclinación hacia el SE (Oyarzábal 1999 a). En los últimos años se ha explotado intensamente para la extracción de feldespato potásico y cuarzo de excelente calidad.

El depósito El Chañar está ubicado 27 km al SO de San Agustín, a 30°45'19''S y 67°29'39''O (Fig. 1). Sus afloramientos cubren un área de 2.400 m² y definen un cuerpo lenticular de moderadas dimensiones, con una longitud de 77 m y un ancho máximo de 50 m; su elongación, de rumbo N34°O, coincide con la estructura mayor de la roca de caja, el buzamiento en general es hacia el SE. Afectan a la mineralización dos sistemas de fractura post-emplazamiento, de rumbos e inclinaciones N76°O 75°SO y N38°O 68°SE,



Figura 1: Croquis de ubicación de las pegmatitas San Guillermo, Santa Amalia, Andacollo y El Chañar.

ambos se hacen extensivos a manifestaciones vecinas (Oyarzábal 1999b). Si bien aún no se ha iniciado su explotación comercial, se considera al yacimiento como una interesante reserva de micas y minerales cerámicos.

METODOLOGÍA ANALÍTICA

Todos los especímenes analizados pertenecen a feldespato potásico y fueron recolectados de la zona intermedia de los depósitos. Las muestras fueron previamente fragmentadas con un mortero de Abich, los granos libres de impurezas fueron seleccionados bajo lupa binocular y posteriormente molidos con un mortero de ágata.

Los análisis de P, Si, Ti, Al, Mn, K, Ba, Sr, Ga, Rb y Cs fueron realizados mediante fluorescencia de rayos X en el Área de Química Analítica de la Universidad Nacional de San Luis, utilizando un espectrómetro Philips PW-1400 y aplicando la técnica desarrollada por Perino (1998). Las líneas analíticas fueron calibradas por regresión, utilizando para ello los patrones de referencia internacional FK-N (feldespato potásico), GS-N, ACE y G2 (granitoides) y AGV-1 (andesita) provistos por el *United States Geological Survey* (USGS) y

la *Association Nationale de la Recherche Technique* (ANRT). Las determinaciones de Na, Ca y Fe^{3+} se efectuaron por fotometría de llama, titulación y espectrofotometría UV, respectivamente.

Los diagramas de polvo de rayos X, realizados para determinar el ordenamiento interno de los feldespatos potásicos, fueron obtenidos con un difractómetro Rigaku, modelo D-Max IIIC, con ánodo de Cu (λ 1,54184 Å), usando NaCl p/a como patrón de calibración interno, en un rango de lectura comprendido entre 10° - $70^\circ(2\theta)$, con velocidad de barrido de $3^\circ/\text{min}$ y $0,05^\circ$ de paso en la adquisición de datos. Para obtener una correcta valoración del orden de desdoblamiento de las difracciones 131 y $\bar{1}\bar{3}1$, todas las muestras fueron barridas nuevamente entre 28° - $32^\circ(2\theta)$, a un paso de $0,02^\circ$. El análisis de ajuste de los picos de difracción fue realizado mediante simulaciones de áreas integradas por ecuaciones lorentzianas. Los parámetros de celda se calcularon con el programa CELREF V3 desarrollado por Laugier y Bochu (2003). El índice de triclinicidad fue evidenciado gráficamente de manera preliminar en función del desdoblamiento de las difracciones 131 y $\bar{1}\bar{3}1$ y posteriormente calculado usando la ecuación de Goldsmith y Laves (1954), mientras que Σt_i , Δt_i , t_{10} , t_{1m} y $2t_2$, como indicadores de la distribución (Al, Si) en sitios tetraédricos, fueron calculados por diferentes metodologías: en función de $b-c^*$ y $\gamma^*-\alpha^*$ (Wright y Stewart 1968), de líneas de difracción características (Kroll y Ribbe 1987), y de las distancias translacionales a través de $[110]$ y $[\bar{1}\bar{1}0]$ (Kroll 1973). El parámetro de deformación *strain index* fue determinado mediante dos vías de análisis: a partir de los parámetros de celda, y de espaciados reticulares específicos, ambas propuestas por Kroll y Ribbe (1987).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ÓPTICAS DE LOS FELDESPATOS POTÁSICOS

Los cristales de feldespato potásico de la zona intermedia de los diferentes depósi-

tos desarrollan textura en bloque, por lo que sus dimensiones son centimétricas a métricas, muestran color rosado a pardo, sin desarrollo de zonación cromática concéntrica en individuos particulares. En todos los casos exhiben marcado carácter pertítico; los intercrecimientos gráficos con cuarzo son significativos, no obstante sólo han sido advertidos en las partes más externas. Los individuos son subhaciales a euédrales, con muy buen desarrollo de sus formas pinacoidales. En el sector SO de la cantera principal de la mina Andacollo se han reconocido algunas drusas conteniendo cristales euédrales decimétricos de microclino con minerales del grupo de las arcillas en los intersticios.

En secciones delgadas, los cristales son transparentes a levemente translúcidos, su aspecto es límpido, con caolinización muy incipiente, exhiben maclado en enrejado según las leyes de Albita y Periclina. En todos los casos muestran texturas de intercrecimiento con albita como exsoluciones pertíticas, los patrones observados más frecuentes son lamelas subparalelas (*film perthites*, de 3-10 μ de espesor en muestras de Andacollo), venas (*vein perthites*, de 35-200 μ de ancho en especímenes de El Chañar), y ampollas delgadas orientadas con bordes algunas veces difusos (*blebs perthites*, minas San Guillermo y Santa Amalia). Algunos factores tales como un fuerte control estructural-cristalográfico del microclino hospedante, relación inversa entre espaciamiento y grosor, y continuidad óptica de la fase sódica sugieren génesis por exsolución. No se han observado fenómenos de crecimientos epitáxicos, y los reemplazos sódicos son muy superficiales.

CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONALES DE LOS FELDESPATOS POTÁSICOS

Los feldespatos potásicos estudiados fueron colectados de la zona intermedia de cada uno de los yacimientos, para cada caso se analizaron químicamente, median-

te diferentes técnicas complementarias, entre cinco y siete muestras provenientes de diferentes cristales. El cuadro 2 resume los valores mínimos (m), máximos (M) y promedios (X_n) para cada agrupación analizada.

El contenido en K_2O muestra muy baja dispersión y varía entre 13,01 y 15,01 %, mostrando valores que, si bien están por debajo del contenido estequiométrico, son lo suficientemente elevados como para ser correlacionados con pegmatitas de similar grado de diferenciación en yacimientos de la provincia pegmatítica Pampeana (Galliski *et al.* 1997, Oyarzábal y Perino 2000, Oyarzábal y Galliski 2002). Valores de Na_2O y CaO entre 1,76 y 2,83 % y 0,08 y 0,19 % indican que el contenido de sodio puede ser asignado casi exclusivamente a la presencia de albita exsuelta, y que en todos los casos la composición de microclino se acercaría a la correspondiente a 100% Or mol. Los datos derivados del estudio estructural de los mismos especímenes parecieran indicar idénticos resultados (diagrama V- Δ tr [110], véase Fig. 3f).

La concentración de rubidio varía desde 177 a 306 ppm y, aunque en todos los casos es baja y acorde a este tipo de pegmatitas, se advierte un leve incremento en los depósitos San Guillermo y Santa Amalia, localizados al N del distrito. La relación K/Rb expresa el bajo nivel evolutivo alcanzado por estos depósitos y los concentra por sobre el umbral de ~ 300,

que en distritos de la provincia pegmatítica Pampeana pareciera diferenciar entre feldespatos potásicos de facies de granitoides fértiles o de pegmatitas de clase muscovita y pegmatitas berilíferas más evolucionadas. Valores similares a los obtenidos en este trabajo han sido mencionados en las pegmatitas El Jote, Andacollo y Pecho Blanco, localizadas en este distrito (Galliski *et al.* 1997) y en las facies más evolucionadas de los granitos fértiles Paso del Rey, Loma Alta y Cerro La Torre, correspondientes a los grupos pegmatíticos homónimos del distrito Totoral, provincia de San Luis (Oyarzábal 2004). Feldespatos potásicos de zonas de borde e intermedia de algunas pegmatitas con mayor nivel evolutivo emplazadas en el distrito Totoral, tales como La Vistosa (estéril con transición al tipo berilo) y otras vecinas, exhiben una relación K/Rb sensiblemente por debajo del umbral de 300 (Oyarzábal y Galliski 2002).

El contenido en P_2O_5 es muy bajo en todos los casos, con valores promedios entre 0,012 y 0,022 %. Este elemento, al igual que el galio y probablemente el arsénico, es incorporado en la estructura por sustitución del silicio en sitios tetraédricos, y si bien su concentración suele ser errática, en las pegmatitas estudiadas es extremadamente baja, acorde con depósitos muy pobremente evolucionados. El diagrama P_2O_5 -K/Rb (Fig. 2a) muestra que todos los valores obtenidos se concentran debajo del límite de 0,1 % de

P_2O_5 que, según London *et al.* (1990), diferencia entre pegmatitas muscovíticas o de clase elementos raros estériles (campo I) y depósitos más evolucionados (campo II).

La sustitución deficiente de cesio en sitios alcalinos es muy significativa para identificar pegmatitas con bajos niveles de diferenciación. En los depósitos estudiados, el contenido promedio de este elemento en feldespato potásico de zonas intermedias, varía entre 8 y 18 ppm. Estos valores son correlacionables con los obtenidos en trabajos previos en pegmatitas muscovíticas o estériles, o en facies pegmatoides de granitos fértiles (Galliski *et al.* 1997, Oyarzábal y Galliski 2002, Roquet y Oyarzábal 2002); en depósitos de la provincia pegmatítica Pampeana pareciera que el límite mínimo para inferir mineralización económica de berilio estaría cerca de las 100 ppm de cesio. Los diagramas Cs-K/Rb y Rb-K/Cs de las figuras 2b y 2c muestran los resultados obtenidos.

Los elementos compatibles estroncio y bario muestran comportamientos predecibles para este tipo de yacimientos. Estroncio varía entre 8 y 81 ppm, y en general los valores más bajos corresponden a las pegmatitas Santa Amalia y San Guillermo. En el diagrama Rb/Sr-K/Rb de la figura 2d, las muestras analizadas se concentran cerca del campo 1, o dentro de él; esta área fue delimitada por Galliski *et al.* (1997) para incluir a las pegmatitas

CUADRO 2: Análisis químicos de feldespatos potásicos de yacimientos de los grupos pegmatíticos Balilla y Aurora.

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	Sr	Ga	Rb	Cs
KfsSG	m	66,10	0,01	16,30	0,05	0,09	0,004	1,76	13,66	0,005	518	8	9	249	6
	M	67,10	0,02	17,50	0,08	0,17	0,010	2,66	14,40	0,020	1118	43	13	306	18
	X ₆	66,59	0,02	16,94	0,07	0,12	0,006	2,25	13,92	0,012	923	18	11	272	12
KfsSAM	m	64,21	0,01	16,98	0,03	0,08	0,003	2,47	13,79	0,009	680	8	9	247	15
	M	65,80	0,03	18,01	0,08	0,13	0,010	2,83	14,20	0,021	1121	40	19	305	22
	X ₇	65,04	0,02	17,56	0,05	0,10	0,005	2,62	13,97	0,015	902	24	14	278	18
KfsAND	m	64,77	0,01	16,98	0,03	0,08	0,005	1,98	13,01	0,012	778	43	11	177	6
	M	66,00	0,03	18,01	0,08	0,13	0,012	2,77	14,01	0,031	1530	62	15	230	16
	X ₆	65,17	0,02	17,38	0,05	0,11	0,009	2,23	13,59	0,022	1134	55	12	203	11
KfsECH	m	64,02	0,01	16,98	0,11	0,13	0,005	2,43	14,43	0,011	1110	41	4	179	6
	M	65,85	0,03	17,51	0,14	0,19	0,013	2,55	15,01	0,019	2530	81	9	236	11
	X ₅	64,98	0,02	17,26	0,12	0,16	0,009	2,49	14,68	0,014	1758	62	7	202	8

KfsSG: San Guillermo, KfsSAM: Santa Amalia, KfsAND: Andacollo, KfsECH: El Chañar.
Óxidos en %, elementos en ppm, m: mínimo, M: máximo, Xn: promedio de n análisis.

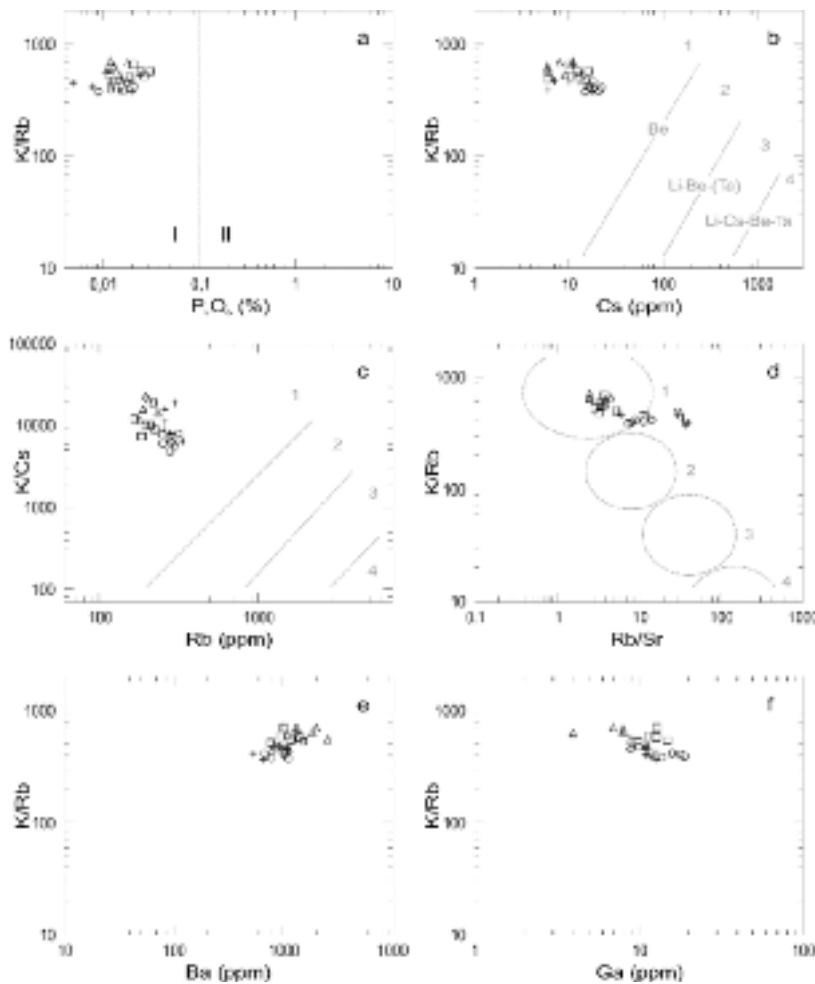


Figura 2: Diagramas de correlación geoquímica para feldespato potásico de pegmatitas del distrito Valle Fértil. a) P_2O_5 -K/Rb; b) Cs-K/Rb, en este diagrama y en los dos siguientes los campos indican: 1) pegmatitas de clase muscovita y elementos raros estériles de signatura geoquímica LCT e híbrida o NYF (Nb, Y, F); 2) pegmatitas de clase elementos raros tipos berilo, 3) pegmatitas tipo complejo, subtipos espodumeno y albíta-espodumeno, y 4) pegmatitas tipo complejo, subtipo lepidolita y tipo albíta; c) Rb-K/Cs; d) Rb/Sr-K/Cs; e) Ba-K/Rb; f) Ga-K/Rb. Los símbolos corresponden a los siguientes depósitos: \circ Santa Amalia, $+$ San Guillermo, \square Andacollo y \triangle El Chañar.

de clases muscovita y elementos raros estériles de signatura LCT (Li, Cs, Ta) e híbrida o NYF (Nb, Y, F); este diagrama muestra además, que pueden diferenciarse dos grupos de datos, uno incluye a los de las pegmatitas del grupo Balilla, mientras que el restante abarca los correspondientes a los depósitos del grupo Aurora. El bario fluctúa entre 518 y 2530 ppm, los valores más altos corresponden a los feldespatos de las pegmatitas Andacollo y El Chañar y su concentración decrece sensiblemente en los depósitos del grupo Balilla; en el diagrama Ba-K/Rb (Fig. 2e) las muestras estudiadas se localizan en el

extremo correspondiente a pegmatitas muy poco evolucionadas, distinguiéndose una tendencia evolutiva somera en los depósitos del grupo Aurora.

El contenido en galio no permite establecer una tendencia clara de diferenciación entre yacimientos de ambos grupos pegmatíticos, no obstante los valores promedio obtenidos, entre 7 y 14 ppm, son correlacionables en general con los obtenidos por Galliski *et al.* (1997) en otros depósitos del mismo distrito. En el diagrama Ga-K/Rb (Fig. 2f) se grafican los resultados obtenidos.

En todas las muestras analizadas, los con-

tenidos en SiO_2 y Al_2O_3 muestran muy bajos niveles de dispersión y se ajustan a valores cercanos a los estequiométricos. Los valores correspondientes a Fe_2O_3 en algunos casos, tal como en la pegmatita El Chañar, están sobre el límite establecido para algunos requerimientos cerámicos.

ESTADO ESTRUCTURAL DE LOS FELDESPATOS POTÁSICOS

En el feldespato potásico, las variables de simetría y dimensiones de celda están fuertemente condicionadas por el modo de distribución (Al, Si) en sitios T y por la intensidad de las sustituciones involucradas en el catión M. Al igual que las variables composicionales, el grado de ordenamiento interno tiene fuertes implicancias petrogenéticas y puede ser utilizado para dilucidar aspectos inherentes al modo de enfriamiento, a la concentración y composición de fluidos magmáticos, a procesos deformacionales, a la interferencia de albíta exsuelta como pertita, a la presencia de determinados elementos traza, y al tamaño de los cristales, entre otros.

El índice de triclinicidad y el estado estructural de los feldespatos alcalinos, expresado como el contenido en Al (t_n) en sitios tetraédricos específicos (T_n), y cuantificado por las variables $t_{10}+t_{1m}$ y $t_{10}-t_{1m}$, pueden ser determinados a través del análisis de los parámetros de la celda unidad, y por la posición relativa de líneas de difracción características.

El cuadro 3 contiene los parámetros cristalográficos de los feldespatos estudiados. Si se analizan los valores obtenidos para las dimensiones de celda, se aprecia en general que éstos se aproximan al extremo de microclino bajo, excepto en las muestras de la mina San Guillermo, en donde se advierte una correspondencia hacia términos tendientes a microclino intermedio. El diagrama *b-c* (Wright y Stewart 1968) de la figura 3a representa gráficamente los resultados obtenidos, en donde se advierte que los feldespatos potásicos de la mina San Guillermo exhiben

CUADRO 3: Parámetros cristalográficos de feldespatos potásicos de yacimientos de los grupos pegmatíticos Balilla y Aurora.

	a (Å)	b (Å)	c (Å)	α (°)	β (°)	γ (°)	V (Å ³)
KfsSG01	8,555(6)	12,969(7)	7,200(4)	90,64(3)	115,90(2)	87,68(2)	717,994
KfsSG02	8,553(4)	12,968(6)	7,193(3)	90,66(2)	115,85(1)	87,67(2)	717,373
KfsSG06	8,565(6)	12,958(6)	7,195(3)	90,67(2)	115,86(3)	87,68(2)	717,887
KfsSG07	8,559(2)	12,965(2)	7,195(1)	90,65(2)	115,84(1)	87,69(1)	717,981
KfsSG08	8,559(5)	12,975(4)	7,196(3)	90,64(2)	115,88(2)	87,65(2)	718,368
KfsSG09	8,570(8)	12,966(10)	7,205(5)	90,67(3)	115,83(3)	87,70(2)	720,026
KfsSAM01	8,571(3)	12,958(3)	7,222(2)	90,68(2)	116,03(2)	87,50(2)	720,001
KfsSAM02	8,576(2)	12,973(2)	7,219(2)	90,59(3)	115,89(1)	87,66(2)	721,961
KfsSAM03	8,569(3)	12,966(2)	7,221(2)	90,71(2)	115,83(2)	87,80(2)	721,601
KfsSAM04	8,575(1)	12,954(2)	7,223(1)	90,62(1)	115,98(1)	87,80(1)	720,762
KfsAND01	8,571(4)	12,973(3)	7,221(3)	90,75(5)	116,01(2)	87,66(3)	720,906
KfsAND02	8,575(3)	12,975(3)	7,226(2)	90,64(2)	116,03(2)	87,73(1)	721,804
KfsAND03	8,566(2)	12,973(2)	7,223(1)	90,71(2)	115,88(1)	87,72(1)	721,572
KfsECHO1	8,584(2)	12,950(2)	7,215(1)	90,66(2)	115,93(1)	87,76(1)	720,804
KfsECHO2	8,577(2)	12,965(1)	7,222(1)	90,54(1)	115,93(1)	87,71(1)	721,550
KfsECHO3	8,584(2)	12,969(2)	7,224(2)	90,74(2)	116,06(2)	87,72(2)	721,840
KfsECHO4	8,576(2)	12,962(2)	7,223(2)	90,67(2)	116,01(1)	87,76(1)	720,947

KfsSG01-09: San Guillermo, KfsSAM01-04: Santa Amalia, KfsAND01-03: Andacollo, KfsECH01-04: El Chañar.

una disminución del grado de simetría triclinica máxima conforme disminuye la longitud del eje c de su celda unidad.

El índice de triclinicidad (Δ) ha sido cuantificado en función de la ecuación de Goldsmith y Laves (1954), cuya expresión matemática refleja el grado de alejamiento, en función de 2θ (°), de los espaciamientos interplanares correspondientes a 131 y 131 . La interferencia por solapamiento entre los picos 131 y 222 correspondientes a microclino y a albita exsuelta, respectivamente, fue minimizada por deconvolución de ambas reflexiones, en las que $I/I_{0-131}(\text{Mc}) > I/I_{0-222}(\text{Ab})$. El rango de desdoblamiento entre d_{131} y d_{1-31} , expresado en términos de 2θ (°), fluctúa entre $0,611^\circ$ y $0,802^\circ$, en consecuencia los valores de triclinicidad obtenidos varían entre $0,766 \leq \Delta \leq 1,015$, con mínimos correspondientes a las muestras de la pegmatita San Guillermo (Cuadro 4). Valores muy levemente superiores a $\Delta = 1,000$ se deben a diferencias $d_{131} - d_{1-31}$ $0,08$ Å, límite superior propuesto por Goldsmith y Laves (1954) para feldespato potásico correspondiente al término extremo de microclino máximo.

El estado estructural de los feldespatos expresa el modo de distribución (Al, Si) en sitios tetraédricos. Su cuantificación, expresada numéricamente a través de los

valores Σt_1 , Δt_1 , t_{1o} , t_{1m} y $2t_2$, y de manera gráfica a través de $(t_{1o} + t_{1m})$ y $(t_{1o} - t_{1m})$, fue realizada a partir de los parámetros b , c^* , α^* y γ^* (Wright y Stewart 1968), y en función de la posición 2θ (°) de las líneas de difracción correspondientes a los planos reticulares 060 , 204 , 130 , 130 y 201 (Kroll y Ribbe 1987). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4.

Los valores obtenidos demuestran que todos los feldespatos potásicos analizados tienen simetría triclinica, con $0,929 \leq t_{1o} \leq 1,032$ y $0,883 \leq t_{1m} \leq 1,049$ para las metodologías de Wright y Stewart (1968) y Kroll y Ribbe (1987), respectivamente. Valores $t_{1o} > 1$ y $t_{1m} < 0$ son físicamente incorrectos, sin embargo se los puede justificar por una serie de errores previsibles en este tipo de cálculos y han sido mencionados en numerosos trabajos previos. En general, todos los feldespatos potásicos estudiados exhiben un alto grado de ordenamiento de iones (Al, Si) en sitios tetraédricos, por lo que el estado estructural predominante corresponde a microclino máximo. No obstante, en las muestras de la pegmatita San Guillermo se observa que los valores relativos de ocupancias de iones Al en el sitio específico t_{1o} son inferiores a los correspondientes a los demás yacimientos. Resultados similares se han observado al cuan-

tificar parámetros equivalentes a través de las variables de celda unidad y del índice de triclinicidad. Los diagramas c^*-b , $\alpha^*-\gamma^*$, $2\theta_{204}-2\theta_{060}$ y $2\theta_{201}-\Delta 2\theta_{130}$ (Figs. 4b-4e) muestran gráficamente los resultados obtenidos.

La determinación de las distancias de traslación según $[010]$ y $[\bar{0}10]$ constituye uno de los parámetros más sensibles en relación al ordenamiento (Al, Si) en feldespatos alcalinos. De acuerdo a Kroll (1973), la secuencia con que se disponen los sitios tetraédricos a través de $[010]$ y $[\bar{0}10]$ es $T_1O \rightarrow T_2O \rightarrow T_2m$ y $T_1m \rightarrow T_2O \rightarrow T_2m$, respectivamente. En las fases monoclinicas ($C2/m$), $t_{1o} = t_{1m}$ y $t_2o = t_2m$, y en consecuencia el contenido en iones Al^{3+} es idéntico en ambas direcciones, mientras que si la estructura es completamente ordenada (simetría triclinica, $C\bar{1}$), todo el aluminio se dispone en T_1O ($t_{1o} = 1$) a través de $[110]$, y en consecuencia $\Delta tr = tr_{[010]} - tr_{[\bar{0}10]} \neq 0$. Los valores de ordenamiento calculados por esta metodología fueron obtenidos con las ecuaciones propuestas por Kroll (1973) y Kroll y Ribbe (1987), en los que las variables de cálculo son los parámetros de celda a , b y γ . En el cuadro 5 se muestran los resultados de cálculo, en donde se advierten valores de t_{1o} y t_{1m} equivalentes a los obtenidos previamente por diferentes me-

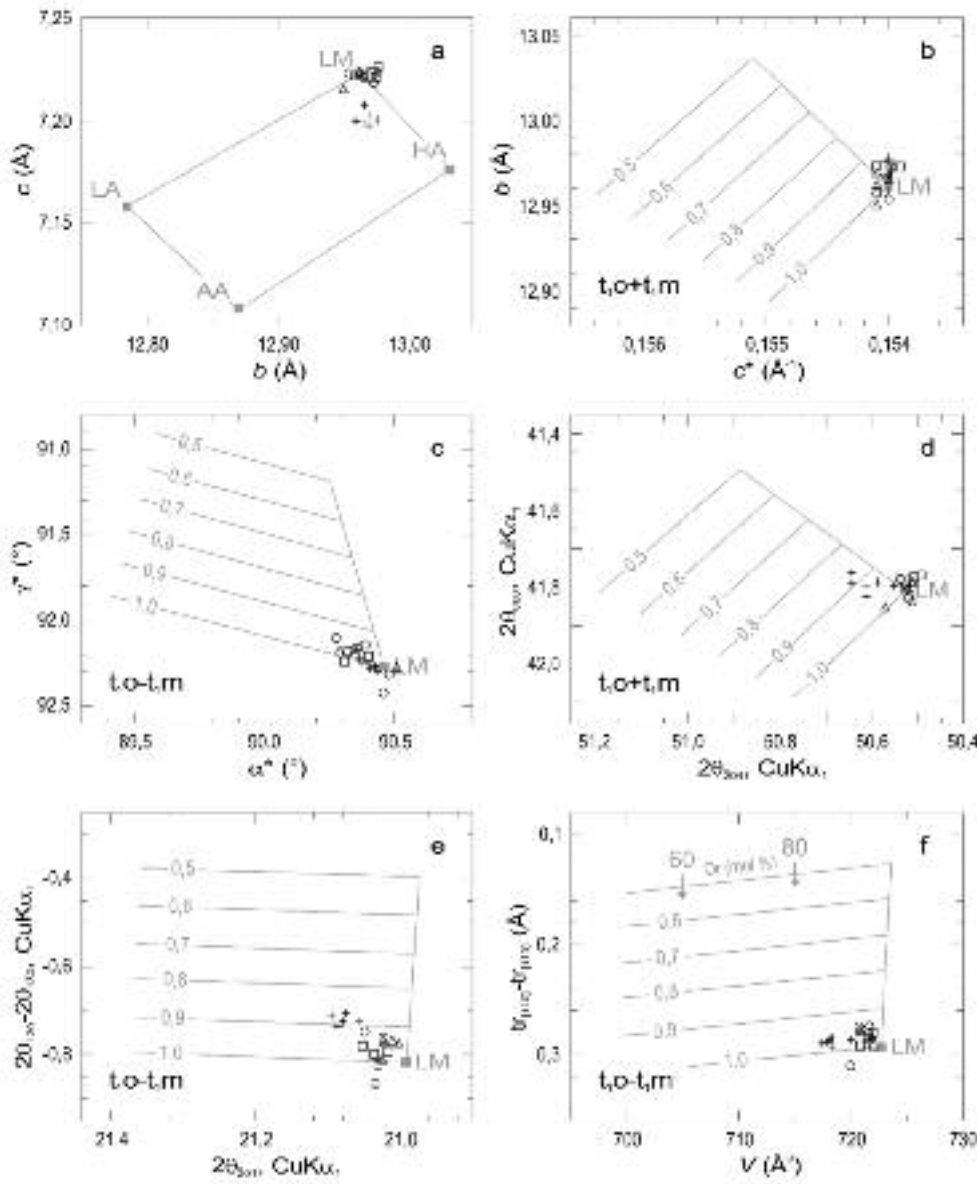


Figura 3: Diagramas de ordenamiento (Al, Si) para Kfs topoquímicamente triclinicos de pegmatitas del distrito Valle Fértil. a) b-c; b) c^*-b ; c) $\alpha^*-\gamma^*$; d) $20_{204}-20_{060}$; e) $20_{201}-\Delta 20_{130}$; f) $V-\Delta tr$. LM: microclino ordenado (*low microcline*), HS: sanidina, LA: albita ordenada (*low albite*) y AA: albita desordenada (*analbite*). Los símbolos corresponden a los siguientes depósitos: ○ Santa Amalia, + San Guillermo, □ Andacollo y △ El Chañar.

tecnologías. El diagrama $V-\Delta tr$ (Fig. 3f) refleja gráficamente los resultados obtenidos.

Las microtensiones cristalinias generadas por incoherencias estructurales en la interfase feldespato potásico-feldespato sódico en exsoluciones pertíticas pueden ser valoradas a través del parámetro *strain index* (Kroll y Ribbe 1987) o índice de tensión (de aquí en más SI , por sus siglas en inglés). Los valores de SI fueron obtenidos tomando como variables de cálculo a los parámetros de celda unidad a , b y c , y a los espaciamentos interplanares d_{201} , d_{060} y d_{204} , y denominados en este

trabajo SI_1 y SI_2 , respectivamente. En el cuadro 5 se consignan los resultados obtenidos, con $10,031 \leq SI_1 \leq -11,590$ y $5,982 \leq SI_2 \leq -7,779$; estos valores evidencian la existencia de microtensiones muy bajas a moderadas en la mayoría de las muestras analizadas, valores de $SI \sim 25-30$ son frecuentes en feldespatos potásicos fuertemente pertíticos. En los diagramas $b \cdot c-a$ y $d_{060} \cdot d_{204}-d_{201}$ de las figuras 4a y 4b (ambas adaptadas de Kroll y Ribbe, 1987), se observa el estrecho rango en el que se disponen las muestras estudiadas.

CONCLUSIONES

Mediante el análisis de las composiciones químicas de feldespatos potásicos de zonas intermedias de pegmatitas del distrito Valle Fértil, se ha podido establecer que el nivel evolutivo alcanzado por cada uno de los depósitos estudiados no difiere del establecido en otros distritos para yacimientos de características similares. Las relaciones K/Rb y K/Cs son coherentes con las mencionadas en trabajos previos para este tipo de depósitos y la población de datos obtenidos exhibe muy bajos niveles de dispersión; los diagramas

CUADRO 4: Índice de triclinicidad y distribución (Al,Si) para feldespatos potásicos de yacimientos de los grupos pegmatíticos Balilla y Aurora.

	Triclinicidad		Distribución (Al,Si) en términos de $b-c^*y \alpha^* - \gamma^* \dagger$				Distribución (Al,Si) en términos de $2\theta_{060}-2\theta_{204}$ y $\Delta 2\theta_{130}-2\theta_{201} \ddagger$				
	Δ	Σt_1	Δt_1	t_{10}	t_{1m}	$2t_2$	Σt_1	Δt_1	t_{10}	t_{1m}	$2t_2$
KfsSG01	0,822	0,883	0,995	0,939	-0,056	0,117	0,932	0,913	0,922	0,010	0,068
KfsSG02	0,819	0,867	1,000	0,934	-0,066	0,133	0,887	0,884	0,886	0,001	0,113
KfsSG06	0,766	0,904	0,996	0,950	-0,046	0,096	0,937	0,875	0,906	0,031	0,063
KfsSG07	0,839	0,890	0,991	0,941	-0,051	0,110	0,920	0,914	0,917	0,003	0,080
KfsSG08	0,834	0,849	1,008	0,929	-0,080	0,151	0,870	0,897	0,883	-0,014	0,130
KfsSG09	0,816	0,941	0,987	0,964	-0,023	0,059	0,966	0,895	0,931	0,035	0,034
KfsSAM01	1,003	0,991	1,072	1,032	-0,041	0,009	1,018	1,079	1,049	-0,031	-0,018
KfsSAM02	1,015	0,971	1,004	0,987	-0,016	0,029	0,965	1,018	0,992	-0,026	0,035
KfsSAM03	0,955	1,024	0,945	0,984	0,040	-0,024	0,988	0,926	0,957	0,031	0,012
KfsSAM04	0,914	1,031	0,943	0,987	0,044	-0,031	1,029	0,943	0,986	0,043	-0,029
KfsAND01	0,914	0,938	1,004	0,971	-0,033	0,062	0,970	0,986	0,978	-0,008	0,030
KfsAND02	0,943	0,952	0,973	0,963	-0,010	0,048	0,996	0,973	0,984	0,011	0,004
KfsAND03	0,904	0,993	0,979	0,986	0,007	0,007	0,988	0,966	0,977	0,011	0,012
KfsECHO1	0,910	1,020	0,961	0,990	0,030	-0,020	0,994	0,952	0,973	0,021	0,006
KfsECHO2	1,006	0,995	0,981	0,988	0,007	0,005	0,996	1,004	1,000	-0,004	0,004
KfsECHO3	0,885	0,954	0,978	0,966	-0,012	0,046	0,996	0,954	0,975	0,021	0,004
KfsECHO4	0,905	0,986	0,960	0,973	0,013	0,014	1,007	0,952	0,980	0,027	-0,007

KfsSG01-09: San Guillermo, KfsSAM01-04: Santa Amalia, KfsAND01-03: Andacollo, KfsECHO1-04: El Chañar.

$\Delta = 12,5 \cdot (d_{131} - d_{131})$, Goldsmith y Leaves (1954).

\dagger Según Wright y Stewart (1968).

\ddagger Según Kroll y Ribbe (1987).

de variación P_2O_5 -K/Rb, Cs-K/Rb, Rb-K/Cs, Rb/Sr-K/Rb, Ba-K/Rb y Ga-K/Rb permiten definir dominios específicos en los que se concentran las muestras de los yacimientos estudiados. Estos sectores son coincidentes con los definidos por Galliski *et al.* (1997) y Oyarzábal (2004) para pegmatitas muscovíticas o estériles con muy pobre mineralización de berilio, y para las facies más evolucionadas de granitos fértiles en pegmatitas de elementos raros. Los feldespatos potásicos de los yacimientos San Guillermo y Santa Amalia, pertenecientes al grupo Balilla y por tanto emplazados en el sector septentrional del distrito, son más ricos en Rb y Ga, y contienen menos Sr y Ba que los restantes, por lo que en los diagramas pertinentes las muestras de estos depósitos se encuentran levemente desplazadas hacia sectores que indican depósitos más diferenciados. Esta tendencia no se corresponde con las determinaciones de campo, en ambos yacimientos no se ha determinado la presencia de berilio, y además contienen más biotita modal que los restantes. De todos modos, los

CUADRO 5: Distribución (Al,Si) y *strain index* para feldespatos potásicos de yacimientos de los grupos pegmatíticos Balilla y Aurora.

	Distribución (Al,Si) en términos de las distancias translacionales a través de [110] y [1-10] \dagger					Strain Index \ddagger	
	Σt_1	Δt_1	t_{10}	t_{1m}	$2t_2$	SI_1	SI_2
KfsSG01	0,944	0,984	0,964	-0,020	0,056	3,230	-1,615
KfsSG02	0,936	0,987	0,962	-0,026	0,064	7,259	2,259
KfsSG06	0,955	0,985	0,970	-0,015	0,045	10,031	4,301
KfsSG07	0,947	0,980	0,964	-0,017	0,053	7,482	2,220
KfsSG08	0,928	0,998	0,963	-0,035	0,072	3,871	0,959
KfsSG09	0,973	0,980	0,977	-0,004	0,027	2,411	-1,147
KfsSAM01	1,006	1,065	1,036	-0,030	-0,006	-4,436	-0,807
KfsSAM02	0,990	1,001	0,996	-0,005	0,010	-7,047	-4,196
KfsSAM03	1,010	0,940	0,975	0,035	-0,010	-6,477	-3,048
KfsSAM04	1,014	0,939	0,976	0,037	-0,014	-3,487	1,277
KfsAND01	0,974	0,999	0,986	-0,013	0,026	-8,490	-4,353
KfsAND02	0,978	0,971	0,975	0,004	0,022	-11,590	-7,779
KfsAND03	0,998	0,974	0,986	0,012	0,002	-9,933	-7,098
KfsECHO1	1,011	0,957	0,984	0,027	-0,011	2,758	5,982
KfsECHO2	1,000	0,979	0,990	0,011	0,000	-6,177	-2,268
KfsECHO3	0,980	0,976	0,978	0,002	0,020	-8,033	-3,260
KfsECHO4	0,993	0,957	0,975	0,018	0,007	-5,875	-2,268

KfsSG01-09: San Guillermo, KfsSAM01-04: Santa Amalia, KfsAND01-03: Andacollo,

KfsECHO1-04: El Chañar.

\dagger Según Kroll (1973) y Kroll y Ribbe (1987). $\text{tr}[110] = \frac{1}{2}(a^2 + b^2 + 2ab \cos \gamma)^{1/2}$, $\text{tr}[1-10] = \frac{1}{2}(a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma)^{1/2}$.

\ddagger Según Kroll y Ribbe (1987). SI_1 calculado en función de los parámetros de celda a, b y c; SI_2 en función de d_{201} , d_{060} y d_{204} .

datos geoquímicos aportados por los feldespatos potásicos de todos los yacimientos estudiados son coherentes con los rasgos geológicos, texturales y mineralógicos.

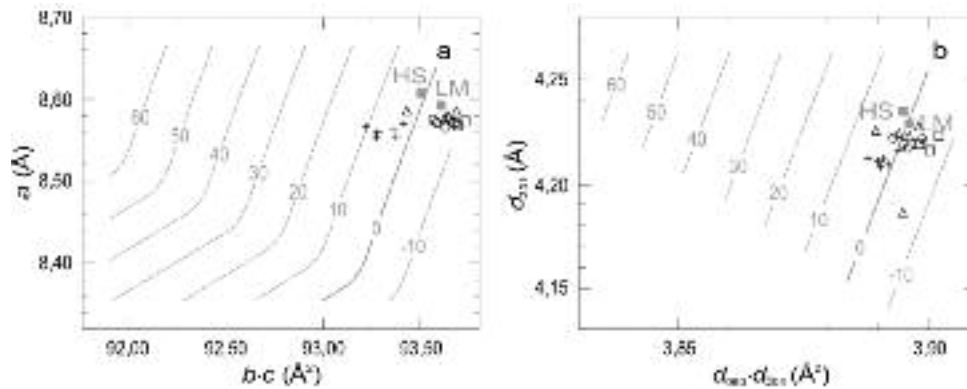


Figura 4: Diagramas determinativos del índice de tensión (*strain index*) para Kfs de pegmatitas del distrito Valle Fértil. a) SI1, diagrama *b-c-a*; b) SI2, diagrama $d_{060} \cdot d_{204} \cdot d_{201}$. LM: microclino ordenado (*low microcline*), HS: sanidina. Los símbolos corresponden a los siguientes depósitos: ○ Santa Amalia, + San Guillermo, □ Andacollo y △ El Chañar.

cos, que permiten encuadrar a los depósitos como pegmatitas micacíferas muy poco evolucionadas, de clase muscovita (MS) de la clasificación de Černý y Ercit (2005).

Las dimensiones de celda de los feldespatos potásicos analizados se acercan al extremo correspondiente a microclino máximo, aunque existen algunas desviaciones de este estado, tendientes hacia el término microclino intermedio, que corresponden a las muestras de la mina San Guillermo, en las que se advierte una ligera disminución en la dimensión del eje cristalográfico *c*. En este mismo sentido, los valores de triclinicidad, considerados como una expresión del acercamiento de una celda hacia la simetría triclínica, tienden en general al valor extremo; no obstante, sensibles desviaciones se advierten en las muestras de la mina San Guillermo, con $0,766 \leq \Delta \leq 0,839$. Por la geometría de los picos de difracción, en general muy agudos y bien definidos a lo largo de toda la región de 2θ explorada, es improbable que coexistan dominios de celdas unitarias con diferentes grados de triclinicidad.

El grado de ocupancia (Al, Si) en sitios tetraédricos específicos, determinado por diferentes vías de análisis, indica que los feldespatos estudiados poseen en general un estado muy avanzado de ordenamiento, con valores $t_{10} \geq 0,957$ en todos los depósitos, exceptuando el yacimiento San Guillermo, en el que se observan valores algo menores, con $0,883 \leq t_{10} \leq 0,977$. El estado estructural de los feldespatos potásicos de unidades intermedias, co-

rrespondiente a microclino máximo con elevado grado de ordenamiento (Al, Si), sugiere condiciones de cristalización con baja energía cinética de nucleación y posteriormente lento enfriamiento. La cristalización de feldespato potásico en unidades internas probablemente se haya iniciado por encima del campo de estabilidad de la fase C1, correspondiente a $\sim 450^\circ\text{C}$, y haya proseguido hacia temperaturas menores en las que la estructura de microclino es estable, indicando que el estado estructural de ordenamiento extremo se habría logrado a una temperatura *subsolidus* con elevada participación de fluidos preponderantemente alcalinos. La presencia de fluidos magmáticos preferentemente alcalinos, en contraposición con estudios experimentales en sistemas anhidros, constituye un factor de elevada importancia como inductor al ordenamiento de este tipo de estructuras (Parsons y Boyd 1971, Guidotti *et al.* 1973). La elevada profundidad de emplazamiento de este tipo de pegmatitas induce a postular un evento de enfriamiento muy prolongado. La euhedralidad y tamaño de los cristales constituyen evidencias texturales que apoyan esta hipótesis.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con aportes de los Proyectos CyT UNSL 349001, del PIP CONICET 5907 y del PICT 21638 del FONCYT. Se agradece muy especialmente las cuidadosas observaciones de los árbitros doctores Raúl Lira y Brígida Castro de Machuca.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Brodtkorb, M.K. de 1971. Estudio mineralógico de una allanita de Valle Fértil, provincia de San Juan, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26: 469-474.
- Casquet, C., Galindo, C., Rapela, C., Pankhurst, R.J., Baldo, E., Saavedra, J. y Dahlquist, J. 2003. Granate con alto contenido en tierras raras pesadas (HREE) y elevada relación Sm/Nd en pegmatitas de la Sierra de Valle Fértil (Sierras Pampeanas, Argentina). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 26-A: 133-134.
- Černý, P. 1982. Short course in granitic pegmatites in science and industry. En Černý, P. (ed.) *Short Course Handbook* 8, Mineralogical Association of Canada, 855 p., Canada.
- Černý, P. 1994. Evolution of feldspars in granitic pegmatites. En Parson, I. (ed.) *Feldspars and their reactions*, Kluwer Academic Publishers, 501-540, Holanda.
- Černý, P. y Ercit, T.S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist* 43: 2005-2026.
- Černý, P., Galliski, M.A., Oyarzábal, J., Teertstra, D.K., Chapman, R., Mac Bride, L. y Ferreira K. 2003. Metastable and equilibrated assemblages of late feldspars in two granitic pegmatites in the Pampean Ranges, Argentina. *The Canadian Mineralogist* 41: 1013-1026.
- Černý, P., Meintzer, R. E. y Anderson, A. J. 1985. Extreme fractionation in rare-element pegmatites: selected examples of data and mechanisms. *The Canadian Mineralogist* 23: 381-421.
- Colombo, F. 2007. Geología, mineralogía y génesis de granitoides de tipo A y sus pegmatitas asociadas en el plutón compuesto El Porte-

- zuelo (granito Papachacra, provincia de Catamarca). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, (inédita), 549 p., Córdoba.
- Colombo, F. y Lira, R. 2006. Geología y mineralogía de algunas pegmatitas del borde oriental del distrito Punilla, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61: 393-407.
- Delpino S., Bjerg E., Mogessie A., Schneider I., Gallien F., Castro de Machuca B., Previley L., Meissl E., Pontoriero S. y Kostadinoff J. 2008. Mineral deformation mechanism in granulite facies, Sierra de Valle Fértil, San Juan Province: Development conditions constrained by the P-T metamorphic path. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 181-195.
- Galindo C., Pankhurst R.J., Casquet C., Baldo E., Rapela C.W. y Saavedra J. 1996. Constraints on the age and genesis of the Sierra de Valle Fértil pegmatites (Western Sierras Pampeanas, Argentina). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 333, Buenos Aires.
- Gallien F., Mogessie A., Bjerg E., Delpino S. y Castro de Machuca B. 2009. Contrasting fluid evolution of granulite-facies marbles: implications for a high-T intermediate-P terrain in the Famatinian Range, San-Juan, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 95: 135-157.
- Galliski, M.A. 1994. La Provincia Pegmatítica Pampeana. I: tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 99-112.
- Galliski, M.A. 1999. Distrito pegmatítico Valle Fértil, San Juan. En Zappettini, E. O. (ed.) Recursos minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 353-355, Buenos Aires.
- Galliski, M.A., Perino, E., Gásquez, J., Marquez Zavalía, M.F. y Olsina, R. 1997. Geoquímica de feldspatos potásicos y muscovitas como guía de exploración de pegmatitas graníticas de algunos distritos de la Provincia Pegmatítica Pampeana. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 24-32.
- Goldsmith, J.R. y Laves, F. 1954. The microcline-sanidine stability relations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 5: 1-19.
- Gordiyenko, V.V. 1971. Concentration of Li, Rb, and Cs in potash feldspar and muscovite as criteria for assessing the rare metal mineralization in granite pegmatites. *International Geology Review* 13: 134-142.
- Guidotti, C.V., Ferd, H.H. y Tuttle, C.L. 1973. Composition and structural state of K-feldspar from K-feldspar + sillimanite grade rocks in Northwestern Maine. *American Mineralogist* 58: 705-716.
- Herrera, A.O. 1958. Estructura interna de las pegmatitas micacíferas de Valle Fértil, San Juan. Universidad de Buenos Aires, *Contribución Científica* 2: 5-29.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Kroll, H. 1973. Estimation of Al,Si distribution of feldspars from the lattice translations $tr[110]$ and $tr[110]$, I: alkali feldspars. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 39: 141-156.
- Kroll, H. y Ribbe, P.H. 1987. Determining (Al,Si) distribution and strain in alkali feldspars using lattice parameters and diffraction-peaks positions: a review. *American Mineralogist* 72: 491-506.
- Laugier, J. y Bochu, B. 2003. CELREF - Programme d'affinement des paramètres de maille à partir d'un diagramme de poudre développé au Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique, Ecole Nationale Supérieure de Physique de Grenoble (INPG) Domaine Universitaire BP 46, 38402, St. Marin d'Hères. <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/emgp/celref.htm>.
- London, D., Černý, P., Loomis, J.L. y Pan, J.J. 1990. Phosphorous in alkali feldspars of rare-element granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist* 28: 771-786.
- Martin, R.F. 1988. The K-feldspar mineralogy of granites and rhyolites: a generalized case of pseudomorphism of the magmatic phase. *Rediconto della Società Italiana di Mineralogia y Petrologia* 43: 343-354.
- Mirré, J. 1971. Caracterización de una comarca de metamorfismo epizonal de alto grado: la Sierra de Valle Fértil, provincia de San Juan, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26: 113-127.
- Mirré, J. 1976. Descripción de la hoja 19c, Valle Fértil, provincias de San Juan y La Rioja. Servicio Geológico Nacional, Boletín 147, 76 p., Buenos Aires.
- Morteani G., Preinfalk C., Spiegel W. y Bonalumi A. 1995. The Achala granitic complex and the pegmatites of the Sierras Pampeanas (Northwest Argentina): A study of differentiation. *Economic Geology* 90: 636-647.
- Neves, L.J.P.F. y Godinho, M.M. 1999. Structural state of K-feldspar in some Hercinian granites from Iberia: a review of data and controlling factors. *The Canadian Mineralogist* 37: 691-700.
- Otamendi J.E., Tibaldi A.M., Vujovich, C.I., y Viñao G.A. 2008. Metamorphic evolution of migmatites from the deep Famatinian arc crust exposed in Sierras Valle Fértil-La Huereta, San Juan, Argentina. *Journal South American Earth Sciences* 25: 313-335.
- Oyarzábal, J. 1999a. Estudio geológico-económico del yacimiento pegmatítico Andacollo, distrito Valle Fértil, San Juan, Argentina. Grupo Zanón, informe interno, (inédito), 32 p.
- Oyarzábal, J. 1999b. Yacimiento pegmatítico El Chañar, distrito Valle Fértil, San Juan, Argentina. Estudio geológico-económico. Grupo Zanón, informe interno (inédito), 41 p.
- Oyarzábal, J. 1999c. Yacimiento pegmatítico San Guillermo, distrito Valle Fértil, San Juan, Argentina. Estudio geológico-económico preliminar. Grupo Zanón, informe interno (inédito), 23 p.
- Oyarzábal, J. 2004. Geología, mineralogía y petrogenesis de yacimientos pegmatíticos del distrito Totoral. Sierra de San Luis, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédito), 371 p., Córdoba.
- Oyarzábal, J. y Cadile, S. 2004. Geology, geochemistry and petrogenesis of the Yatasto-San Bernardo Li-bearing pegmatite, Argentina. En Pecchio, M., Andrade, F.R.D., D'Agostino, L. Z., Kahn, H., Sant Agostino, L.M. y Tassinari, M.M.M.L. (eds.) *Applied Mineralogy* 793-796., Sao Paulo.
- Oyarzábal, J. y Galliski, M.A. 2002. Compositional and structural characterization of K-feldspar and muscovite from the La Vistosa pegmatite, San Luis, Argentina. En Brodtkorb, M.K. de, Koukharsky, M. y Leal, P. (eds.) *Mineralogía y Metalogía* 2002, 313-320, Buenos Aires.
- Oyarzábal, J. y Perino, E. 2000. Composición y estado estructural de los feldspatos potásicos del yacimiento San Guillermo, distrito Valle Fértil, Argentina. Su uso como indicadores del grado de evolución geoquímica. En Schalamuk, I., Brodtkorb, M.K. de y Etcheverry, R. (eds.) *Mineralogía y Metalogía* 2000, Instituto de Recursos Minerales, Uni-

- versidad Nacional de La Plata, Publicación 6, 360-368, La Plata
- Oyarzábal, J. y Roquet, M.B. 2004. Geochemical and structural characterization of K-feldspar from the Valle Fértil field pegmatites, Pampean Ranges. En Pecchio, M., Andrade, F.R. D., D'Agostino, L.Z., Kahn, H., Sant Agostino, L.M. y Tassinari, M.M.M.L. (eds.) *Applied Mineralogy*, 729-732, Sao Paulo.
- Parsons, I. y Boyd, R. 1971. Distribution of potassium feldspars polymorphs in intrusive sequences. *Mineralogical Magazine* 38: 295-311.
- Perino, E. 1998. Desarrollo de técnicas analíticas por FRX aplicadas a la prospección geoquímica de pegmatitas graníticas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Luis (inédito), 399 p., San Luis.
- Rapela, C., Pankhurst, R.J., Baldo, E., Casquet, C., Galindo, C., Fanning, M., Saavedra, J. 2001. Ordovician Metamorphism in the sierras Pampeanas: New U-Pb SHRIMP ages in central-east Valle Fértil and Velasco Batholith. 3° South American Symposium on Isotope Geology, Sernageomin, Actas CD-ROM, 616-619, Pucón.
- Roquet, M. B. y Oyarzábal, J. 2002. Geología y mineralogía del yacimiento pegmatítico Aída, distrito Conlara, San Luis, Argentina. En Brodtkorb, M. K. de, Koukharsky, M. y Leal, P. (eds.) *Mineralogía y Metalogenia 2002*, 413-418, Buenos Aires.
- Shearer, C.K., Papike, J.J. y Laul, J.C. 1985. Chemistry of potassium feldspars from three zoned pegmatites, Black Hills, South Dakota: implications concerning pegmatite evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 49: 663-673.
- Smets, S.A. 1992. Trace elements in potassium feldspar and muscovite as a guide in the prospecting for lithium- and tin-bearing pegmatites in Sweden. *Journal of Geochemical Exploration* 42: 351-369.
- Smith, J.V. 1974. Feldspar minerals. Structure and physical properties. Springer-Verlag, 627 p. Berlin.
- Toubes Spinelli, R.O. 1983. Edades potasio-argón de algunas rocas de la Sierra de Valle Fértil, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 405-411.
- Trueman, D.L. y Černý, P. 1982. Exploration for rare-element granitic pegmatites. En Černý, P. (ed.) *Short course in granitic pegmatites in science and industry*, Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook 8, 463-493, Winnipeg.
- Villar Fabre, J., Santomero, M. y Lucero, H. 1958. Los minerales de torio en la Argentina. Comisión Nacional de Energía Atómica (inédito), 30p., Buenos Aires.
- Viswanathan, K. y Kielhorn H.M. 1983. Variations in the chemical composition and lattice dimensions of (Ba,K,Na)-feldspars from Otjosundu, Namibia, and their significance. *American Mineralogist* 68: 112-121.
- 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. *American Mineralogist* 53: 38-87.

Recibido: 5 de Agosto, 2009.
Aceptado: 10 de Agosto, 2010.