

# Geología local y mineralogía accesoria de las pegmatitas berilíferas del Distrito Velasco y rocas graníticas asociadas, Provincia Pegmatítica Pampeana, Noroeste de Argentina

Fernando Guillermo SARDI<sup>1</sup>, Adriana HEIMANN<sup>2</sup> y Janet SARAPURA MARTINEZ<sup>3</sup>

**Resumen:** *GEOLOGÍA LOCAL Y MINERALOGÍA ACCESORIA DE LAS PEGMATITAS BERILÍFERAS DEL DISTRITO VELASCO Y ROCAS GRANÍTICAS ASOCIADAS, PROVINCIA PEGMATÍTICA PAMPEANA, NOROESTE DE ARGENTINA.* Se realiza un estudio de la estructura interna de las pegmatitas y del contenido mineralógico de las pegmatitas y rocas asociadas del Distrito Velasco de la Provincia Pegmatítica Pampeana, Argentina. Las pegmatitas pertenecen a la clase de Elementos Raros, tipo berilo, subtipo berilo-columbita-fosfato, y tienen relación espacial y genética con los granitos post-orogénicos de edad Carbonífera inferior, los que presentan características de granito tipo-A. Las pegmatitas tienen formas elipsoidales, alargadas y semi-circulares, siendo la relación del eje mayor/eje menor variable, entre aproximadamente 1 y 4,7. El rumbo del eje mayor de las pegmatitas es variable para cada pegmatita. La zonación es simple; desde la parte externa hacia el interior de las pegmatitas, se observa una zona de borde de naturaleza netamente granítica, con escasa a nula biotita; una zona intermedia, con sub-zonas de acuerdo al mineral de feldespato predominante; y finalmente, un núcleo de cuarzo. El microclino gráfico y pertítico de la zona intermedia presenta en algunas pegmatitas un reemplazamiento por plagioclasa. La mineralogía accesoria de los granitos parentales incluye: biotita, muscovita, apatita, fluorita, circón, ilmenita, magnetita, uraninita y xenotima; en el borde de las pegmatitas, muscovita, biotita, apatita, circón, monacita, fluorita, columbita-tantalita, ilmenita, rutilo, pirita, calcopirita, thoria; y en la zona intermedia, muscovita, biotita, berilo, apatita, triplita, turmalina, granate.

**Abstract:** *LOCAL GEOLOGY AND ACCESORY MINERALOGY OF BERYL-PEGMATITES AND GRANITIC ROCKS OF THE VELASCO DISTRICT, PAMPEANA PEGMATITE PROVINCE, NORTHWESTERN ARGENTINA.* A study of the internal structure of the pegmatites and its mineralogy and associated granitic rocks from the Velasco district of the Pampean Pegmatite Province (Argentina) is presented. The pegmatites belong to the Rare Elements class, beryl type, beryl-columbite-phosphate subtype. They have spatial and genetic relationship to Carboniferous A-type granites. The pegmatites have ellipsoidal, elongated and semi-circular morphologies, being the major axis/minor axis ratio between 1 and 4.7. The direction of the major axis is variable for each pegmatite. The zoning is simple. From the outside inwards, the following internal zones could be recognized in the pegmatites: border zone, intermediate zone and quartz core. The graphic and peritic microcline of the intermediate zone is replaced by plagioclase in some pegmatites. The accessory mineralogy is: for the parental granites, biotite, muscovite, apatite, fluorite, zircon, ilmenite, magnetite, uraninite and xenotime; for the border of the pegmatites, muscovite, biotite, apatite, zircon, monazite, fluorite, columbite-tantalite, ilmenite, rutile, pyrite, chalcopyrite, thorite; and for the intermediate zone, muscovite, biotite, beryl, apatite, triplite, tourmaline, garnet.

**Palabras clave:** Estructura interna. Pegmatitas zonadas. Pegmatitas intragraníticas. Distrito Velasco.

**Key Words:** Internal structure. Zoned pegmatites. Intragranitic pegmatites. Velasco District.

<sup>1</sup> INSUGEO-CONICET. Miguel Lillo 205. (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina. fgsardi@csnat.unt.edu.ar

<sup>2</sup> Department of Geological Sciences, East Carolina University, 101 Graham Building, Greenville NC 27858, USA.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo – UNT. Miguel Lillo 205. (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.

## Introducción

La Provincia Pegmatítica Pampeana (Galliski, 1994) se encuentra localizada en la unidad morfoestructural del mismo nombre caracterizada por contener importantes afloramientos de rocas cristalinas, tanto metamórficas como ígneas, en su gran mayoría de edad paleozoica. Las Sierras Pampeanas contienen numerosas pegmatitas de diferentes edades, evolución y composición.

Galliski (2009) reconoce 19 distritos pegmatíticos: 4 pertenecientes a la clase Muscovita, y los restantes a la clase de Elementos Raros. Estos últimos son en su mayoría de tipo orogénicos, mientras que una menor proporción son distritos post-orogénicos, entre los cuales se encuentra el distrito Velasco (figura 1A). El distrito Velasco contiene varias pegmatitas intruidas en granitos porfiroides de edad Carbonífera que presentan una estructura interna zonada y una mineralogía esencial compuesta de cuarzo, microclino peritítico y plagioclasa, mientras que los principales accesorios son silicatos y fosfatos (Ricci, 1971; Sardi, 2005).

En este trabajo, se realiza un estudio detallado de la petrografía y mineralogía, incluyendo composición modal, de las zonas de las diferentes pegmatitas seleccionadas y además, se contribuye al conocimiento mineralógico de las pegmatitas y granitos parentales asociados del distrito Velasco.

## Antecedentes Regionales

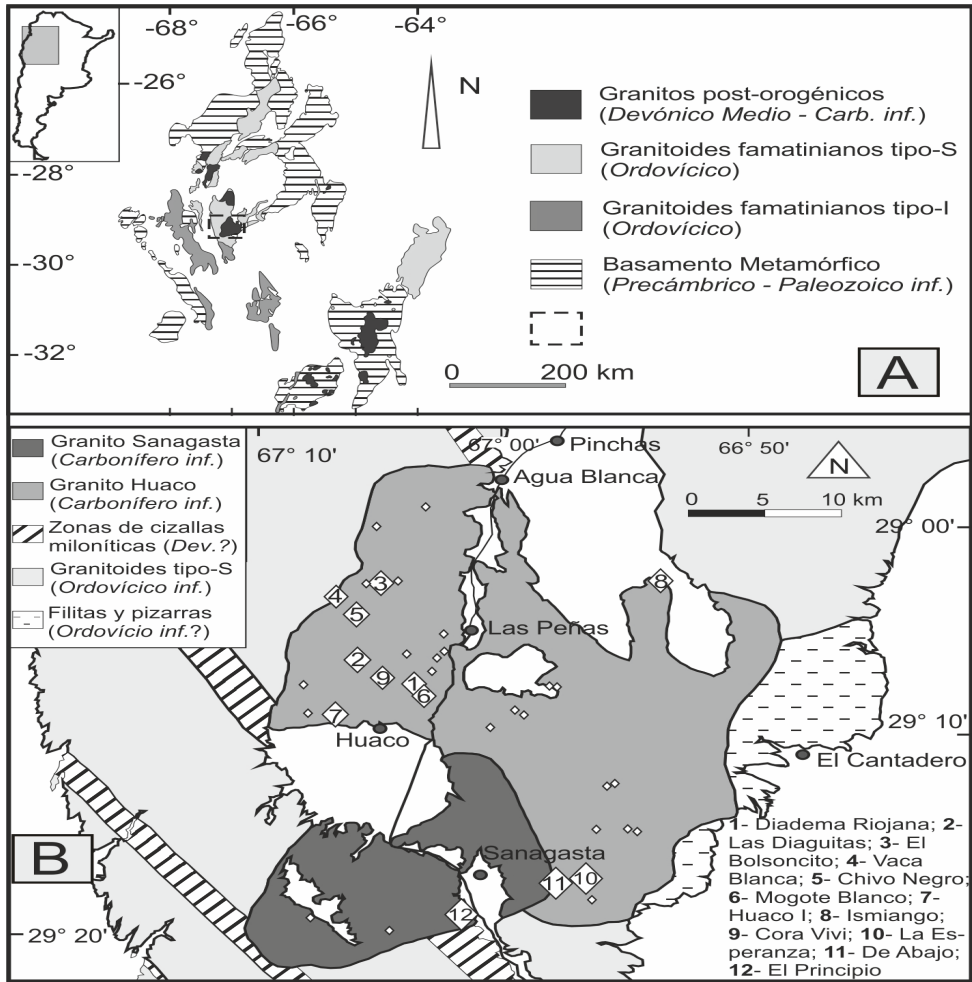
Entre los antecedentes que registran una visión regional de las pegmatitas de la Provincia Pampeana, merecen destacarse los trabajos de Herrera (1965, 1968), Galliski (1994, 2009) y Morteani *et al.* (1995). El primer autor realiza un trabajo petrográfico y genético de las pegmatitas de las Sierras Pampeanas, y en base a ello, las divide en cuatro tipos fundamentales de acuerdo principalmente a su estructura interna, composición y asociaciones paragenéticas: Pegmatitas Tipo 1 -pegmatitas caracterizadas por la presencia de zonas externas con oligoclasa-; Tipo 2 -aparición de zonas intermedias de cuarzo, plagioclasa y microclino y aumento del contenido total del feldespató potásico-; Tipo 3 -pegmatitas con una estructura zonal muy simple, mayor diversidad y abundancia de minerales accesorios y aparición de una fase de reemplazo sódico-potásico-; y Tipo 4 -pegmatitas con zonas con espodumeno y aumento de albita-. Según esta clasificación, los cuerpos del distrito Velasco contienen caracteres del tipo 2 y 3.

El trabajo de Galliski (1994) constituye una importante referencia regional de las pegmatitas de las Sierras Pampeanas. Corresponde a estudios sobre tipología, distribución y metalogénesis de los diferentes distritos pegmatíticos, con una reciente revisión actualizada (Galliski, 2009). Morteani *et al.* (1995) realiza un estudio geoquímico de granitos y pegmatitas de las Sierras Pampeanas determinando procesos de diferenciación, y utiliza química mineral de pegmatitas para determinar la potencialidad en mineralización de metales raros.

## Antecedentes locales

Entre los trabajos de detalle en el distrito pegmatítico Velasco se destacan: Herrera (1971) referido a la estructura, mineralogía y génesis; Ricci (1971) realiza un mapeo regional y local de numerosos cuerpos, haciendo referencia a la morfología, dimensiones y estructura interna; Cravero (2005) realiza un trabajo petrográfico y mineralógico sobre estas pegmatitas; trabajos de tipo petrográficos de algunas pegmatitas del distrito Velasco han sido realizado

por Sardi (2005), y sobre la importancia económica del distrito se destaca el trabajo de Sardi (2008); Sardi y Grosse (2005) realizan una clasificación preliminar del distrito. Por otra parte, cabe mencionar los trabajos petrográficos y geoquímicos realizados en la roca de caja granítica de Toselli *et al.* (2000, 2006), Grosse y Sardi (2005), Grosse *et al.* (2009), Dahlquist *et al.* (2010) y Sardi *et al.* (2010). Los aportes principales de estos trabajos serán citados a lo largo de la presente contribución.



**Figura 1.** Contexto geográfico y geológico del distrito Velasco. **A.** Bosquejo geológico simplificado de las Sierras Pampeanas, Argentina. Se incluyen los diferentes distritos pegmatíticos siguiendo la distribución de Galliski (2009). Referencias: PPP, Provincia Pegmatítica Pampeana. **B.** Mapa geológico del distrito pegmatítico Velasco, provincia de La Rioja, Argentina (modificado de Sardi *et al.*, 2010 y de Sardi y Heimann, 2014). Referencia de las pegmatitas: 1. Diadema Riojana; 2. Las Diaguitas; 3. El Bolsoncito; 4. Vaca Blanca; 5. Chivo Negro; 6. Mogote Blanco; 7. Huaco I; 8. Ismiango; 9. Cora Vivi; 10. La Esperanza; 11. De Abajo; 12. El Principio. / **Figure 1.** Geographic and geological context of the Velasco district. **A.** Simplified geologic scheme of the Sierras Pampeanas, Argentina. The various pegmatitic districts from Galliski (2009) are included. References: PPP, Pampean Pegmatite Province. **B.** Geologic map of the Velasco pegmatite district, La Rioja province, Argentina (modified from Sardi *et al.*, 2010 and Sardi and Heimann, 2014). Pegmatite references: 1. Diadema Riojana; 2. Las Diaguitas; 3. El Bolsoncito; 4. Vaca Blanca; 5. Chivo Negro; 6. Mogote Blanco; 7. Huaco I; 8. Ismiango; 9. Cora Vivi; 10. La Esperanza; 11. De Abajo; 12. El Principio.

## Marco Geológico Regional

La sierra de Velasco está constituida esencialmente por granitoides de diferente naturaleza petrográfica de edad paleozoica (Báez *et al.*, 2005; Toselli *et al.*, 2005) y reducidos afloramientos de metapelitas y metapsamitas que por correlación se la designa aquí como Formación La Cébila definida en la vecina sierra de Ambato ubicada más al norte (González Bonorino, 1951).

El magmatismo de la sierra de Velasco tiene un carácter temporalmente polifásico: uno desarrollado preponderantemente durante el Ordovícico y otro durante el Carbonífero (Toselli *et al.*, 2007). Los granitos ordovícicos ocupan mayor extensión que los carboníferos y se sitúan en los sectores noroccidental, occidental y centro de la sierra con composición sienogranítica y monzogranítica con muscovita y biotita, ocasionalmente cordierita, y geoquímicamente son peraluminosos (Toselli *et al.*, 2007). También, hacia el sur de la sierra se encuentran granitos ordovícicos que presentan composición tonalítica a granodiorítica con accesorios tales como allanita, titanita, magnetita, biotita y hornblenda (Bellos, 2008).

En la sierra de Velasco se han reconocido hasta 6 zonas de cizallas de una orientación general NNO-SSE que afecta a rocas graníticas del Ordovícico en las que se originaron rocas miloníticas (López *et al.*, 2007). Este cizallamiento habría tenido lugar durante el Silúrico superior-Devónico inferior (Höckenriener *et al.*, 2003).

Los granitos carboníferos, asignados por dataciones radimétricas (Báez *et al.*, 2004; Dahlquist *et al.*, 2006; Grosse *et al.*, 2009), intruyen a las unidades precedentes y se encuentran ubicados en el extremo norte y sector noroeste, y en la parte central y centro-oriental. Corresponden a granitos de carácter post-tectónico, sin indicios de deformación, de composición sienogranítica y monzogranítica con biotita y muscovita como minerales accesorios más importantes. Los granitos parentales de las pegmatitas de berilo del distrito Velasco corresponden a este grupo de granitos carboníferos, y son denominados como granito Huaco (Toselli *et al.*, 2000) y granito Sanagasta (Grosse y Sardi, 2005) (figura 1B).

## Metodología de estudio

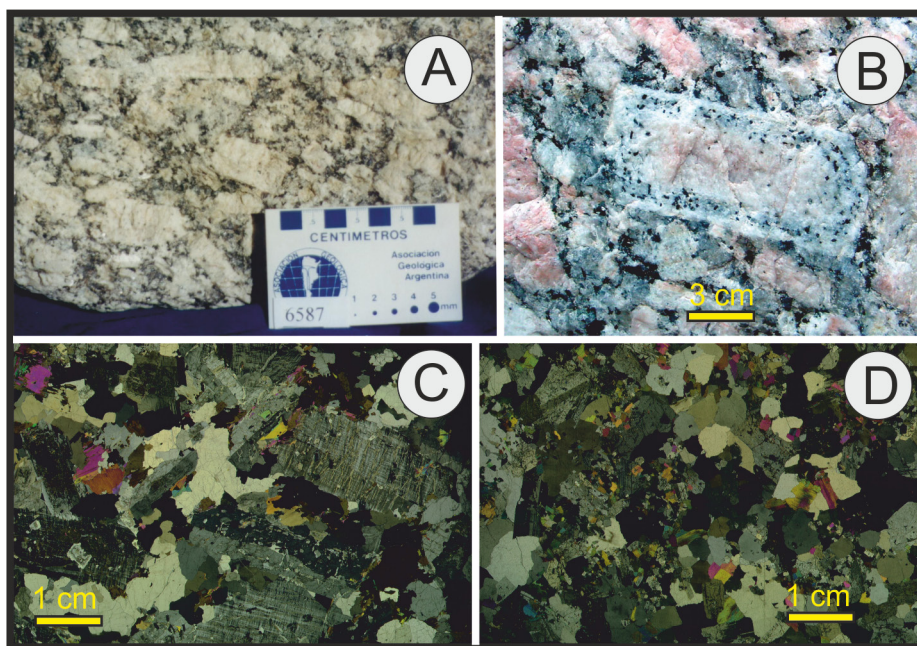
El control de campo del mapeo recopilado de las pegmatitas (realizados por Ricci, 1971) fue realizado con brújula y cinta métrica. No obstante, con el auxilio de estos materiales se confeccionaron aquellos mapas de pegmatitas que no habían sido mapeadas por Ricci (1971). La “proporción modal” de las zonas de las diferentes pegmatitas se realizó mediante el cálculo de las superficies de cada una de ellas tomando como material base los mapas de los cuerpos. El contenido mineralógico-modal de los megacrístales o bloque-mineral de la zona intermedia fue determinado por apreciación visual en varios campos de observación (3 a 4). Luego, se realizó el promedio, por lo que en muchos casos se obtienen valores con decimales.

La descripción mineralógica fue realizada en forma macroscópica a simple vista, y con el auxilio de lupas, y también por microscopía de luz polarizada. El peso específico de algunos minerales fue determinado con picnómetro. Se ha utilizado además, la técnica SEM/EDS (por sus siglas en inglés, microscopio electrónico de barrido y espectrometría por energía dispersiva) en muestras de láminas delgadas de roca de caja y de la zona de borde de las pegmatitas en el Departamento de Biología de ECU (East Carolina University, USA).

## Distrito Pegmatítico Velasco

### Granitos Huaco y Sanagasta

El distrito de Velasco está ocupado mayormente por los granitos carboníferos Huaco y Sanagasta. El contacto entre ambos granitos es irregular y transicional aunque ambos tienen la misma edad (Grosse *et al.*, 2009). El granito Huaco es porfiroide con megacrystales de microclino de color blanco, mientras que el granito Sanagasta tiene la misma característica textural pero el microclino es de color rosado exhibiendo en algunos casos una textura tipo rapakiwi (figura 2).

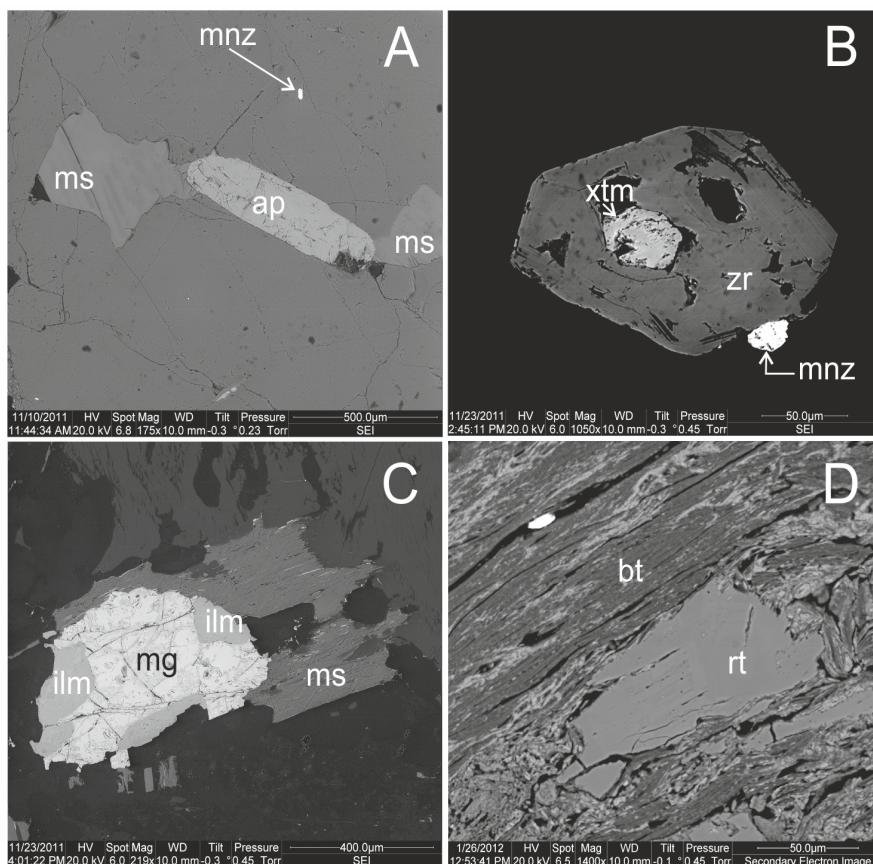


**Figura 2.** Textura de los granitos parentales y zona de borde de pegmatita. **A.** Microfotografía de la textura porfiroide del granito Huaco, con megacrystales de microclino de color blanco; **B.** Idem para el granito Sanagasta, con megacrystales de microclino rosado y con textura rapakiwi; **C.** Microfotografía de la textura del granito Huaco, con megacrystales de microclino peritítico maclado en ley Carlsbad en una matriz hipidio-xenomorfa; **D.** Microfotografía de la textura equigranular xenomorfa de la zona de borde granítica de las pegmatitas de berilo del Distrito Velasco (zona de borde de la pegmatita Diadema Riojana). "Fotografías gentileza Dr. Grosse" / **Figure 2.** Texture of the parental granites and the border zone of the pegmatites. **A.** Microphotography of the porphyritic texture of the Huaco granite, with megacrystals of white microcline; **B.** Idem for Sanagasta granite, with pink megacrystals of microcline and rapakiwi texture; **C.** Microphotograph of the texture of the Huaco granite, with megacrystals of perthitic microcline with Carlsbad twins in a hipidite-xenomorphic matrix; **D.** Microphotograph of the xenomorphic equigranular texture of the granitic border zone of the Be-pegmatites of the Velasco district (border zone of the Diadema Riojana pegmatite).

Geoquímicamente son granitos peraluminosos, ricos en  $\text{SiO}_2$  y álcalis, especialmente en  $\text{K}_2\text{O}$ , desarrollados a partir de una fuente cortical (principalmente los metagranitos ordovícicos) con una menor participación del manto (Grosse *et al.*, 2009). La edad de cristalización ha sido fechada en 350-358 Ma. para el granito Huaco y en  $353 \pm 1$  Ma. para el granito Sanagasta utilizando metodología convencional U-Pb en zircón y monacita (Grosse *et al.*, 2009). Con U-Pb LA-ICP-MS en zircón las edades dieron  $345 \pm 6$  Ma. y  $349 \pm 5$  Ma., respectivamente

(Söllner *et al.*, 2009). Estudios geoquímicos de roca total y mineral, y también isotópicos, indican que tanto el granito Huaco como el granito Sanagasta tienen afinidad de granitos tipo A (Grosse *et al.*, 2009; Dahlquist *et al.*, 2010).

Los granitos Huaco y Sanagasta tienen composición litológica monzogranítica y sienogranítica, siendo los principales minerales accesorios la biotita, muscovita, apatita, fluorita, circón e ilmenita. Además, se identificaron mediante la técnica SEM/EDS magnetita, uraninita, rutilo y xenotima (figura 3).



**Figura 3.** Imágenes de minerales a partir del microscopio electrónico (SEM) en granitos Huaco (A) y Sanagasta (B, C y D). Referencias: mnz, monacita; ms, muscovita; ap, apatita; xtm, xenotima; zr, circón; ilm, ilmenita; mg, magnetita; bt, biotita; rt, rutilo. / **Figure 3.** Images of the minerals from scanning electron microscopy (SEM) in Huaco granite (A) and Sanagasta granite (B, C and D). References: mnz, monazite; ms, muscovite; ap, apatite; xtm, xenotime; zr, zircon; ilm, ilmenite; mg, magnetite; bt, biotite; rt, rutile.

## Pegmatitas

### Formas y dimensiones

El contacto de las pegmatitas con el granito de la caja (granitos Huaco y Sanagasta) es en general neto, observándose un mayor porcentaje de cuerpos pegmatíticos en el granito

Huaco que en el de Sanagasta. Según Ricci (1971) habría más de 60 cuerpos pegmatíticos integrando el distrito. Las pegmatitas seleccionadas para este estudio se indican en la tabla 1, y su distribución geográfica en el mapa de la figura 1B.

En general, los cuerpos presentan formas “globosas” por lo cual no se constata una dimensión que predomine preponderantemente sobre otra. La forma elipsoidal es la más común, mostrándose además, formas alargadas, discontinuas-irregular, y hasta semi-circular. La relación del eje mayor/eje menor es variable entre aproximadamente 1 y 4,7 (tabla 1). El rumbo del eje mayor es aleatorio y no responde a ningún patrón estructural.

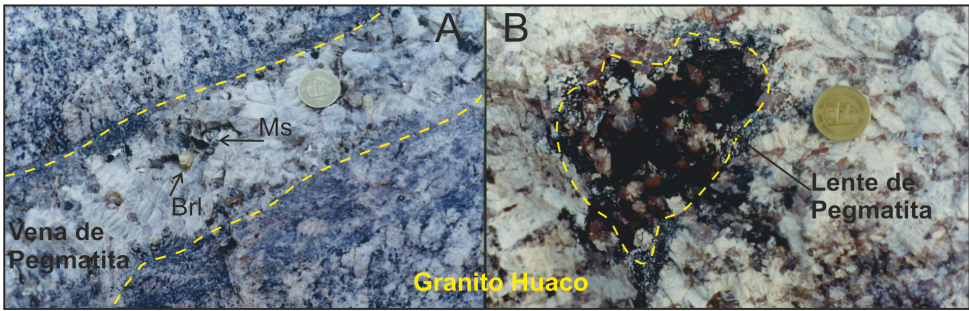
Por otra parte, las dimensiones de los cuerpos son reducidas, con ejes mayores que no superan los 140 m (ejemplo de mayor longitud de este eje en la pegmatita de Vaca Blanca).

| Pegmatita          | Caja | Coordenadas                    | Forma                  | Dimensión      | Relación <sup>1</sup> | Rumbo <sup>1</sup> /inclinación   |
|--------------------|------|--------------------------------|------------------------|----------------|-----------------------|---|
| 1- Diadema Riojana | GH   | 29° 07' 46" S<br>67° 03' 22" O | Elipsoidal             | 70m x 23m      | 3.0                   | N 265°/70° S*   |
| 2- Las Diaguítas   | GH   | 29° 06' 31" S<br>67° 06' 04" O | Elipsoidal             | 80m x 40m      | 2.0                   | N 230°/sub vertical   |
| 3- El Bolsóncito   | GH   | 29° 02' 54" S<br>67° 05' 09" O | Discontinua-irregular  | 3 cuerpos < 6m | --                    | Cuerpo 1: N 310°/66° NE;<br>Cuerpo 2: N 52°/44° SE;<br>Cuerpo 3: N 320°/--- |
| 4- Vaca Blanca     | GH   | 29° 03' 18" S<br>67° 06' 53" O | Discontinua, irregular | 140m x 30m*    | 4.7                   | N 290°/vertical*  |
| 5- Clavo Negro     | GH   | 29° 04' 22" S<br>67° 06' 08" O | Alargada, irregular    | 40.5m ancho    | --                    | N 51°/48° SE*   |
| 6- Mogote Blanco   | GH   | 29° 07' 56" S<br>67° 03' 06" O | Elipsoidal             | 40m x 25m      | 1.6                   | N 5°/vertical   |
| 7- Huaco I         | GH   | 29° 09' 17" S<br>67° 06' 52" O | Elipsoidal irregular   | 46m x 24.6m*   | 1.9                   | N 123°/7° SW**  |
| 8- Ismaingo        | GH   | 29° 02' 42" S<br>66° 51' 15" O | No definido            | 12.5m ancho    | --                    | No definido/vertical  |
| 9- Cora Viva       | GH   | 29° 07' 25" S<br>67° 05' 01" O | Elipsoidal             | 45m x 27m*     | 1.7                   | N 296°/no definido*   |
| 10- La Esperanza   | GH   | 29° 17' 02" S<br>66° 57' 18" O | Semi-circular          | ~30m diámetro  | ~1                    | --  |
| 11- De Abajo       | GS   | 29° 17' 19" S<br>66° 57' 58" O | Irregular-alargada     | 55m x 20m      | 2.8                   | N 345°/vertical   |
| 12- El Principio   | GS   | 29° 19' 29" S<br>67° 01' 13" O | Elipsoidal             | 40m x 25m      | 1.6                   | N 90°/vertical  |

**Tabla 1.** Formas y dimensiones, rumbo e inclinación de las pegmatitas estudiadas del distrito Velasco, Provincia Pegmatítica Pampeana./ **Table 1.** Shape, dimensions and dip of the studied pegmatites of The Velasco District, Pampean Pegmatite Province. GH: Granito Huaco; GS: Granito Sanagasta; <sup>1</sup> azimut del eje mayor; \*según Ricci (1971). <sup>1</sup> long/short axis ratio; <sup>2</sup> strike of long axis; \* after Ricci (1971).

## Estructura Interna

En la Cuesta de Huaco (sector central del distrito) y en el extremo noreste del Bolsón de Huaco se reconocieron pegmatitas no zonadas (pegmatitas homogéneas) tal como las define Černý (1991), caracterizadas por el tamaño de grano grueso de sus minerales con una distribución uniforme de los principales componentes. Corresponden a pequeños filones y lentes no mayores a magnitudes decimétricas de espesor, portadoras de berilo en su mayoría (figura 4A), pero también con turmalina (figura 4B). No obstante, las pegmatitas de mayores dimensiones (tabla 1) son más frecuentes que las citadas más arriba y constituyen el principal motivo de este trabajo.



**Figura 4.** Filones y lentes de reducidas dimensiones en el Granito Huaco portadores de berilo (Brl) **A** - y turmalina **B** - Referencia: Ms: muscovita. / **Figure 4.** Beryl- (*A*) and tourmaline- (*B*) bearing veins and lenses in Huaco granite. **A** - and tourmaline **B** - Reference: Ms: muscovite.

Presentan una zonación simple, desde la zona más externa hacia el centro: zona de borde, zona intermedia y núcleo de cuarzo. En este trabajo, se redefine a la zona marginal-externa de Sardi (2005) como la zona de borde, la que presenta sub-zonas de acuerdo a la litología predominante, ya sea aplita o granito equigranular. La zona intermedia también puede presentar sub-zonas según el mineral esencial (o asociación mineral) predominante. De esta manera, se establecen una sub-zona de aplita y una sub-zona de granito equigranular en la zona de borde, mientras que en la zona intermedia, se puede encontrar una sub-zona de microclino, una sub-zona de plagioclasa, una sub-zona de cuarzo-microclino y/o una sub-zona de cuarzo-plagioclasa.

Se destaca que algunas de las zonas o subzonas están pobremente representadas o bien, no han sido observadas por estar ocultas. La figura 5 muestra un esquema de la zonación de las pegmatitas del distrito Velasco. A su vez, la figura 6 representa la geología local mostrando la estructura interna de las pegmatitas seleccionadas para este estudio.

| 1a                            | 1b                      | 2a                         | 2b                 | 3a                        | 3b                         | 3c                               | 3d                                | 4                       |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| + + +<br>+ + +                | + + +<br>+ + +          | • • • •<br>• • • •         | + + + +<br>+ + + + | K K K K<br>K K K K        | P P P P<br>P P P P         | X X X X<br>X X X X               | X X X X<br>X X X X                | x x x x<br>x x x x      |
| <b>Roca de caja granítica</b> |                         | <b>Zona de Borde</b>       |                    | <b>Zona Intermedia</b>    |                            |                                  |                                   | <b>Núcleo de Cuarzo</b> |
| 1a<br>Granito Huaco           | 1b<br>Granito Sanagasta | 2a<br>Granito equigranular | 2b<br>Aplita       | 3a Sub-zona de Microclino | 3b Sub-zona de Plagioclasa | 3c sub-zona de Cuarzo-microclino | 3d Sub-zona de Cuarzo-plagioclasa |                         |

**Figura 5.** Esquema representativo de la zonación de las pegmatitas del distrito Velasco, modificado de Sardi (2005). / **Figure 5.** Scheme of the zoning of the pegmatites of the Velasco district, modified from Sardi (2005).



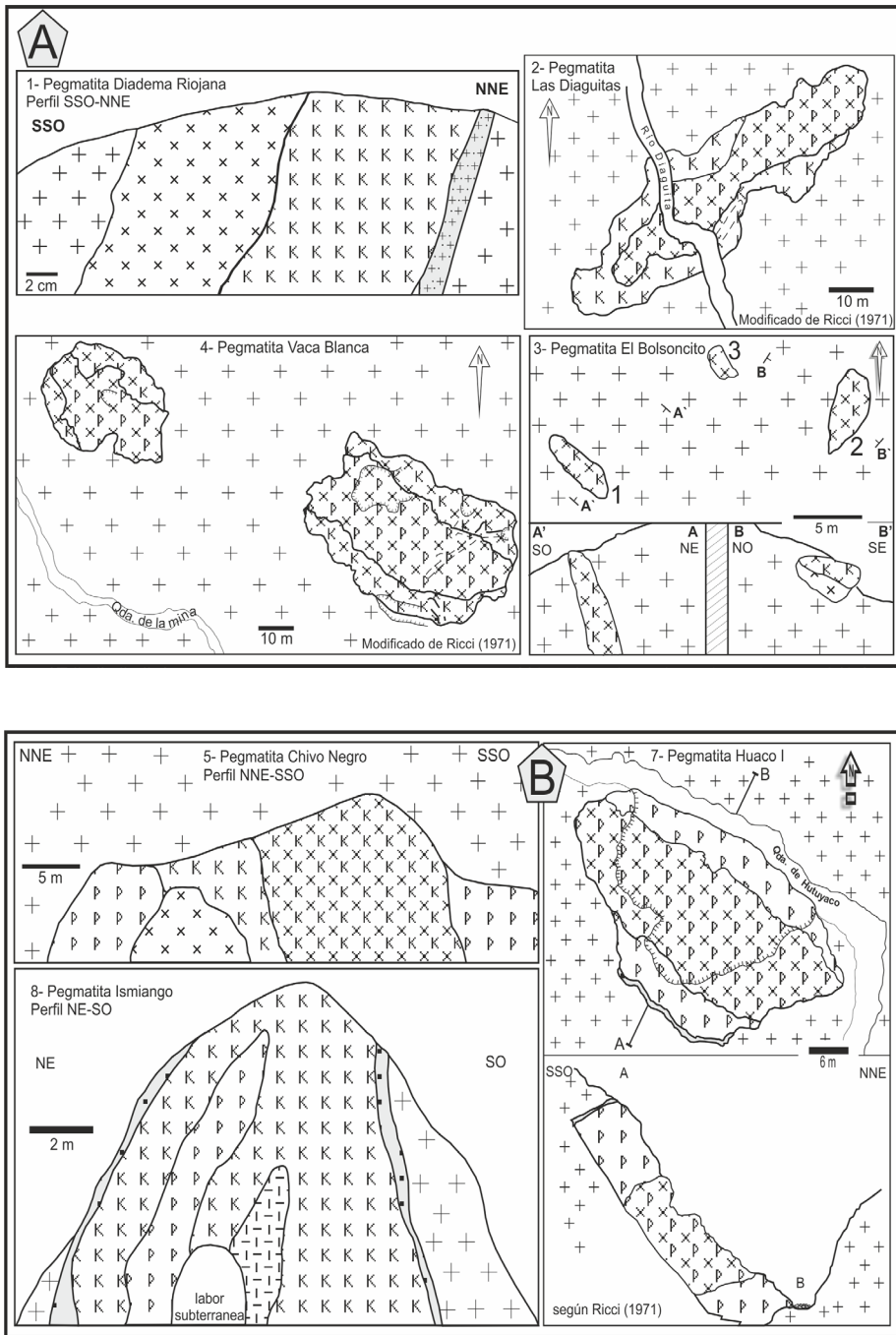
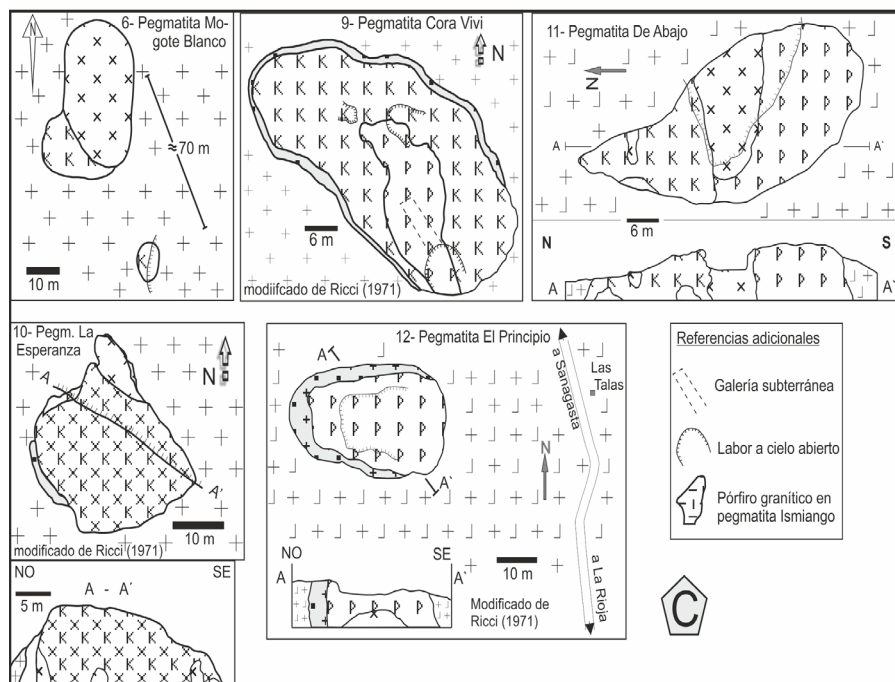


Figura 6.



**Figura 6.** Geología local de las diferentes pegmatitas del Distrito Pegmatítico Velasco. La simbología de la litología de las pegmatitas se corresponde con la simbología de la figura 5 precedente. **A.** Pegmatitas Diadema Riojana, Las Diaguitas, Vaca Blanca y El Bolsoncito; **B.** Pegmatitas Chivo Negro, Huaco I e Ismiango; **C.** Pegmatitas Mogote Blanco, Cora Vivi, De Abajo, La Esperanza y El Principio. / **Figure 6.** Local geology of the different pegmatites of the Velasco district. Symbols of the lithology for the pegmatites as in figure 5. **A.** Diadema Riojana, Las Diaguitas, Vaca Blanca and El Bolsoncito pegmatites; **B.** Chivo Negro, Huaco I and Ismiango pegmatites; **C.** Mogote Blanco, Cora Vivi, De Abajo, La Esperanza and El Principio pegmatites.

### Zona de borde

Con esta denominación, se concuerda terminológicamente con la zona de borde granítica según los esquemas generales para pegmatitas de elementos raros (por ejemplo, Černý, 1991; London, 2008). Esta zona se presenta en forma envolvente total o parcial en los distintos cuerpos (figura 6). A veces, puede aparecer como segmentos o lentes que pasan transicionalmente a las zonas intermedias más internas. Está compuesta esencialmente de aplitas de grano fino o granitos equigranulares de grano medio (figura 2D), aumentando el tamaño de grano hacia el interior de la pegmatita. La litología dominante puede dividir a la zona de borde en sub-zona de granito equigranular y en sub-zona de aplita (figura 5).

El espesor de esta zona es variable desde unos pocos cm a casi un metro. La proporción modal de esta zona en los cuerpos estudiados es variable, alcanzando como máximo casi un 9 % del total de la pegmatita, con la excepción de la pegmatita El Principio que alcanza un 23 % (tabla 2).

| Pegmatita       | Zona de Borde        |        | Zona Intermedia |             |                    |                    | Núcleo de Cuarzo |
|-----------------|----------------------|--------|-----------------|-------------|--------------------|--------------------|------------------|
|                 | Granito equigranular | Aplita | Microclino      | Plagioclasa | Qz-Kf <sup>1</sup> | Qz-Pl <sup>2</sup> |                  |
| Diadema Riojana | 5.75                 | --     | 52.38           | --          | --                 | --                 | 41.87            |
| Las Diaguitas   | --                   | --     | 46.76           | --          | --                 | 53.24              | --               |
| El Bolsoncito   | --                   | --     | --              | --          | 76.00              | --                 | 24.00            |
| Vaca Blanca     | --                   | tr     | --              | --          | 39.79              | 60.21              | --               |
| Chivo Negro     | --                   | --     | 13.14           | 26.73       | 48.99              | --                 | 11.14            |
| Mogote Blanco   | --                   | --     | 25.84           | --          | --                 | --                 | 74.16            |
| Huaco I         | --                   | 1.62   | --              | 30.94       | --                 | 67.44              | --               |
| Ismiango        | --                   | 6.60   | 78.22           | 15.18       | --                 | --                 | --               |
| Cora Vivi       | --                   | 8.70   | 71.37           | 19.92       | --                 | --                 | --               |
| La Esperanza    | tr                   | 2.65   | --              | 1.77        | 85.84              | --                 | 9.74             |
| De Abajo        | --                   | --     | 26.32           | 50.72       | --                 | --                 | 22.97            |
| El Principio    | 23.27                | --     | --              | 76.73       | --                 | --                 | --               |

**Tabla 2.** Proporción modal de las zonas de las pegmatitas del Distrito Velasco. Valores en % de volumen. / **Table 2.** Modal proportion in pegmatite zones of the Velasco district. Values in volume %. <sup>1</sup>Qz-Kf: cuarzo microclino; <sup>2</sup>Qz-Pl: cuarzo plagioclasa; tr: cantidades escasas (<0.1%).

Sardi *et al.* (2010) determinan una composición granodiorítica a monzogranítica para la zona de borde. La roca es rica en cuarzo, y en promedio, el feldespato potásico tiene proporciones semejantes a plagioclasa (tabla 3), cuya composición es ácida (según determinación cualitativa bajo microscopio de polarización). El mineral accesorio principal es la muscovita; aparecen además, escasa biotita, apatita, circón, monacita, fluorita (figura 7); también, columbita-tantalita, ilmenita, rutilo, pirita, calcopirita y thorita (en su mayoría determinados mediante técnica EDS).

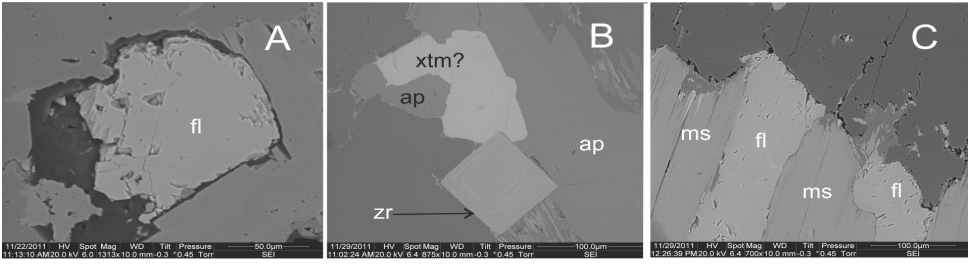
| Pegmatita       | Qz     | Kf     | Pl     | Ms     | Bt  | Ap  | Tl  | Tur | Brl |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Zona de borde   | 37.2   | 24.9   | 24.2   | 9.9    | 2.3 | tr  | --  | --  | --  |
| Diadema Riojana | 14.5   | 72.8   | 0.5    | 9.7    | tr  | tr  | --  | tr  | 2.9 |
| Las Diaguitas*  | < 21,3 | < 35,1 | < 24,0 | < 11,7 | --  | tr  | tr  | --  | tr  |
| El Bolsoncito   | 43,6   | 33,9   | 7,8    | 4,8    | 2,9 | --  | --  | tr  | 6,8 |
| Vaca Blanca     | 47,1   | 11,6   | 36,1   | 2,9    | 0,7 | tr  | 1,3 | --  | tr  |
| Chivo Negro     | 20,7   | 49,7   | 18,0   | 7,2    | 0,3 | tr  | 0,6 | 1,1 | 2,2 |
| Mogote Blanco   | 12,3   | 61,5   | 9,8    | 8,2    | tr  | 1,2 | --  | 2,5 | 4,9 |
| Huaco I         | 28,6   | 6,1    | 42,9   | 12,9   | 5,2 | 1,2 | 1,1 | tr  | 2,1 |
| Ismiango        | 7,4    | 77,1   | 6,9    | 5,7    | --  | 0,3 | 0,1 | --  | 2,1 |
| Cora Vivi       | 27,9   | 55,8   | 10,5   | 3,7    | 0,7 | 0,2 | 0,5 | tr  | 1,0 |
| La Esperanza    | 26,2   | 50,0   | 17,9   | 3,5    | tr  | 0,4 | --  | tr  | 2,0 |
| De Abajo        | 7,6    | 35,3   | 33,7   | 16,8   | 6,6 | --  | --  | tr  | tr  |
| El Principio    | 8,6    | 17,2   | 60,2   | 7,7    | 4,3 | 0,7 | 0,3 | tr  | 0,4 |

**Tabla 3.** Contenido mineralógico y composición modal calculada de la zona de borde (valores promedio) según Sardi *et al.* (2010) y de la zona intermedia de las pegmatitas del Distrito Velasco. / **Table 3.** Mineralogical content and modal composition calculated for the border zone (averages values) according to Sardi *et al.* (2010), and the intermedia zone of the Velasco district. pegmatites \*valores según Ricci (1971); Qz: cuarzo; Kf: microclino pertítico; Pl: plagioclasa; Ms: muscovita; Bt: biotita; Ap: apatita; Tl: triplita; Tur: turmalina; Brl: berilo; tr: cantidad escasa (<0.1%).

### Zona intermedia

La equivalencia de esta zona corresponde a sendas zonas de plagioclasa-cuarzo-microclino y microclino-cuarzo de Herrera (1971), y las zonas del mismo nombre de Ricci (1971). Coincide en su plenitud con la zona del mismo nombre de Sardi (2005).

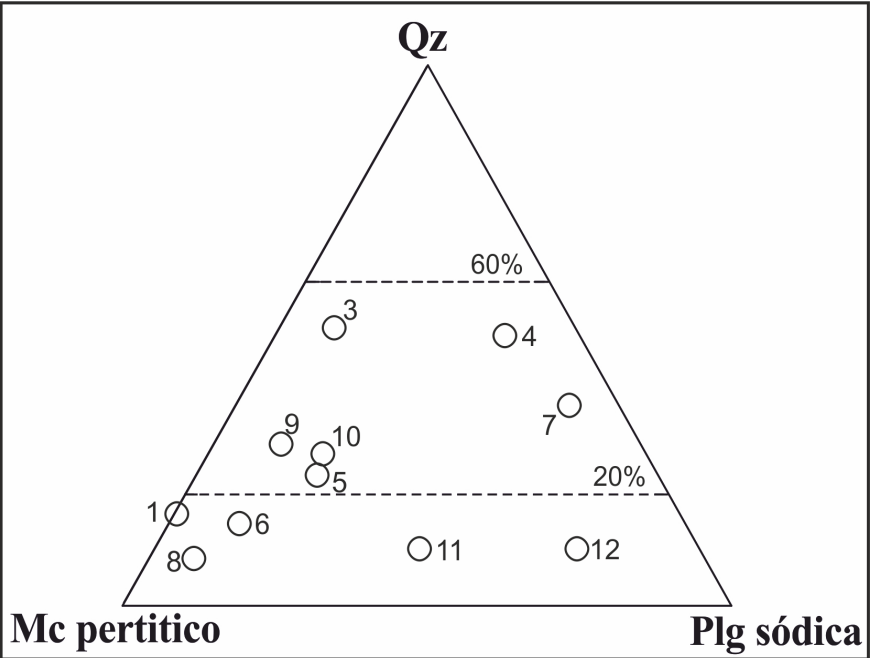
La zona intermedia está situada entre la zona de borde y el núcleo de cuarzo. A veces es la única zona representada en el cuerpo de pegmatita. La zona intermedia tiene un espesor variable entre pocos metros a algunas decenas de metros. La zona intermedia representa modalmente un 75% o más del total de la superficie aflorante de las pegmatitas estudiadas, con la



**Figura 7.** Imágenes de minerales a partir del microscopio electrónico (SEM) en la zona de borde de las pegmatitas Ismiango (A) y La Esperanza (B y C). Referencias: fl, fluorita; ap, apatito; xtm, xenotíma; zr, circón; ms, muscovita. / **Figure 7.** Scanning electron microscopy (SEM) images of minerals the border zone of the pegmatites - Ismiango (A) and La Esperanza (B and C). References: fl, fluorite; ap, apatite; xtm, xenotime; zr, zircon; ms, muscovite.

excepción de la pegmatita Mogote Blanco en la cual el núcleo de cuarzo es el volumétricamente más importante (tabla 2, figura 8).

La distribución de las sub-zonas es variable en las pegmatitas. No obstante, las sub-zonas de microclino y cuarzo-microclino tienen cierta predominancia sobre las sub-zonas de plagioclasa y cuarzo-plagioclasa.



**Figura 8.** Representación esquemática de la composición modal esencial de la zona intermedia de cada una de las pegmatitas estudiadas. Referencias: Qz, cuarzo; Mc, microclino; Plg, plagioclasa; 1. Diadema Riojana; 3. El Bolsoncito; 4. Vaca Blanca; 5. Chivo Negro; 6. Mogote Blanco; 7. Huaco I; 8. Ismiango; 9. Cora Vivi; 10. La Esperanza; 11. De Abajo; 12. El Principio. / **Figure 8.** Modal composition of the intermediate zone of the studied pegmatites. References: Qz, quartz; Mc, microcline; Plg, plagioclase; 1. Diadema Riojana; 3. El Bolsoncito; 4. Vaca Blanca; 5. Chivo Negro; 6. Mogote Blanco; 7. Huaco I; 8. Ismiango; 9. Cora Vivi; 10. La Esperanza; 11. De Abajo; 12- El Principio.

El microclino presenta comúnmente texturas pertíticas con exsolución de plagioclasa en una proporción de alrededor del 20 % y también texturas gráficas, en la que el intercrecimiento con cuarzo es de grano cada vez más grueso hacia el interior de la pegmatita. La composición de la plagioclasa en esta zona es más ácida que en la zona anterior (también determinada por medios ópticos).

Los minerales esenciales son cuarzo y feldespatos, constituyentes que modalmente superan el 75 % de la zona intermedia. En general, el primero es macizo predominantemente blanco y grisáceo. Las inclusiones en cuarzo son principalmente de berilo, turmalina y muscovita. Tiene hábito subhedral a anhedral, aunque en ciertos casos se aprecian megacristales bien desarrollados (ver más adelante, figura 9A) que pueden medir hasta unos 6 cm. Las drusas son de hasta unos 3 cm en las que se desarrollan diminutos cristales idiomorfos de cuarzo de 1-2 mm. Estos pequeños cristales se apoyan sobre geodas constituidas por capas minerales blancas y blancas grisáceas, a veces en disposición paralela, de contornos esféricos de 2 mm de espesor en total constituido presumiblemente de calcedonia y que tiene la particularidad de dar fluorescencia verde clara ante luz UV.

Los feldespatos se encuentran en proporciones variables en cada una de las pegmatitas. A simple vista, estos minerales se caracterizan por un color blanco, a veces pardo y rosado, brillos vítreos, en general subidiomorfos, y clivaje en dos direcciones, no siempre manifestados. La plagioclasa es reconocida por el maclado polisintético según ley Albita (propiedad observada tanto a escala macroscópica como microscópica). Al microscopio, se observa que la desmezcla de albita en la pertita del microclino es de forma continua y raramente entrecruzada formando la textura pertítica en cordones (Castro Dorado, 1989). El intercrecimiento con cuarzo en estos minerales, determinan las texturas gráficas en microclino (figura 9B), muy común en las pegmatitas, y mirmequíticas en plagioclasa, menos frecuente (ej. Vaca Blanca, La Esperanza y El Principio). La granometría del microclino aumenta hacia el interior de la pegmatita.

Los feldespatos contienen inclusiones de muscovita y berilo. Cuando se acumula cuarzo en ciertos sectores de feldespato, se observa mayor cantidad y mayor tamaño de las láminas de muscovita. En la pegmatita Vaca Blanca el microclino y la plagioclasa son de grano fino en donde incluyen berilos amarillos, muscovita y berilo verde muy pequeños de menos de 1/2 mm.

Modalmente, el microclino está presente entre 6 y 77 % en la zona intermedia y la plagioclasa en muy bajas proporciones de 0,5 (Diadema Riojana) a 60 % (tabla 3).

Comúnmente, en la zona intermedia se pueden observar fenómenos metasomáticos de sodio consistente en el reemplazo de microclino por plagioclasa ácida. Por otro lado, las unidades de relleno observadas en Cora Vivi y en Ismiango están formadas por capas alternantes de plagioclasa y cuarzo no mayores de 8 mm de espesor cada una, que de acuerdo a Herrera (1971) se habrían formado por depositación rítmica a partir de un líquido residual incluido en espacios o cámaras dentro de las pegmatitas. No es rara en los diferentes cuerpos la presencia de drusas en masas de cuarzo con el desarrollo de pequeños cristales de ese mineral, formadas presumiblemente en una etapa post-pegmatítica e interpretado por Herrera (1971) como elementos de relleno. La presencia de espacios abiertos y la forma euhedral bipiramidal del cuarzo son indicadores de la somera profundidad de formación de las pegmatitas.

## Núcleo

Representa la porción central de los cuerpos. Se compone esencialmente de cuarzo macizo, de color blanco lechoso, a veces ahumado, y en algunos cuerpos también rosados (pegmatita La Esperanza). Los constituyentes accesorios son escasos (turmalina o muscovita, raramente berilo) a nulo.

## Minerales accesorios de la zona intermedia

Los minerales accesorios encontrados en la zona intermedia son:

**Muscovita:** es el filosilicato dominante entre las micas. Sin embargo, no forma concentraciones de valor comercial, y gran parte de la extracción de este mineral en épocas pasadas ha sido como sub-producto de otras explotaciones (de berilo esencialmente). La muscovita ocurre en paquetes laminares que pueden alcanzar hasta unos 30 o 40 cm y un espesor de 1,5 y 2,5 cm. Forma individuos idiomorfos con desarrollo de caras (110) con ángulos de  $\pm 60^\circ$ . Las hojas individuales son transparentes e incoloras a pardas, y en masas tienen un color gris claro con un fuerte brillo vítreo a sedoso. Esta característica textural, sumada a la coloración, sería correspondiente a muscovitas primarias (o ‘tempranas’) según Möller y Morteani (1987), a diferencia de aquellos individuos de tonalidad verde que corresponderían a muscovitas tardías, como minoritariamente se presenta en la pegmatita De Abajo. En algunos casos es posible observar el desarrollo de textura “cola de pescado” y también aparece en paquetes dispuestos radialmente (figura 9C). La muscovita aparece estrechamente asociada a feldespatos y en zonas de importante mineralización berilífera. Puede tener intercrecimiento de cuarzo fino, mientras que la biotita aparece algo alterada a óxido de hierro especialmente en sus bordes.

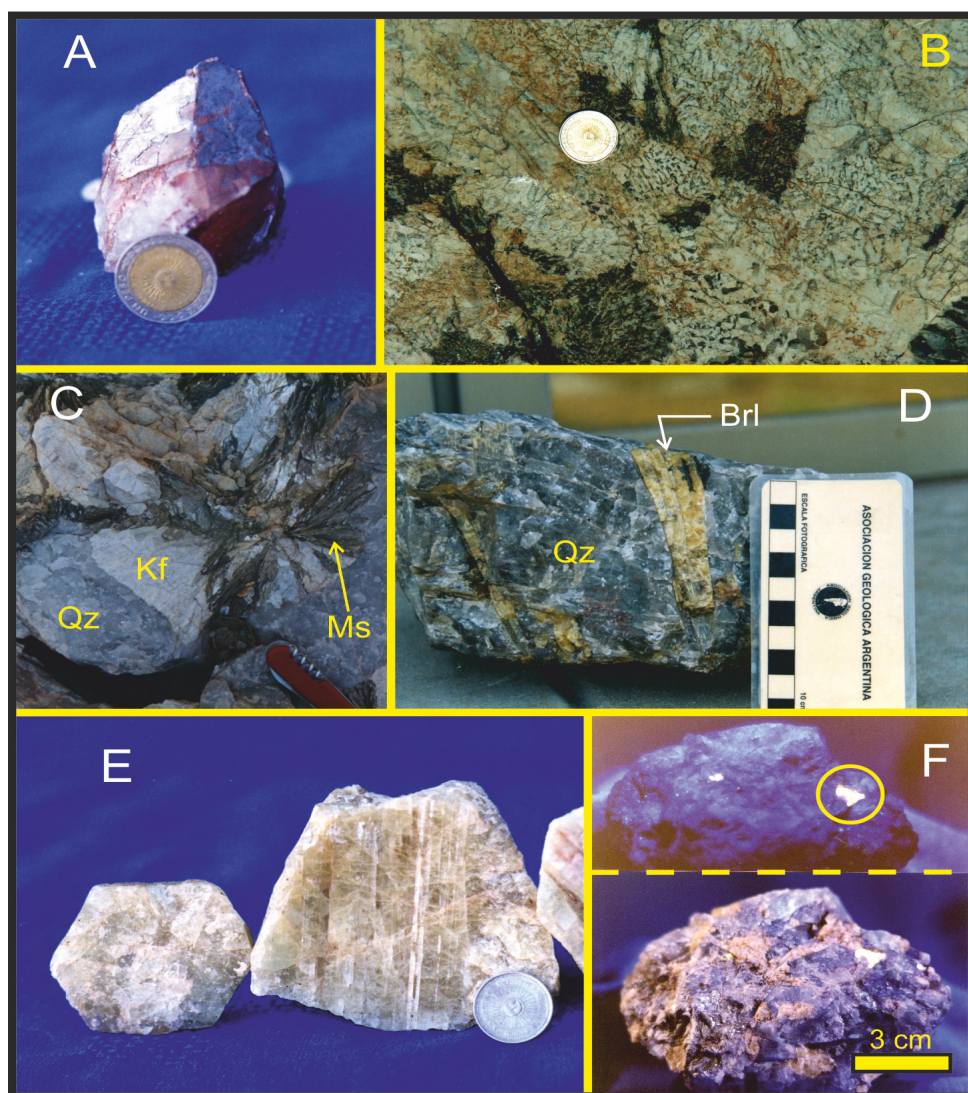
**Biotita:** es escasa, ausente en algunas pegmatitas, y de menor tamaño que la mica blanca excepto en las pegmatitas al este de Sanagasta (De Abajo) que es dominante y de granometría mayor.

La relación muscovita/biotita es siempre mayor a 1 tanto en la zona de borde (Sardi *et al.*, 2010) como en la zona intermedia de cada pegmatita; modalmente, la muscovita varía entre casi 3 hasta 17 % en la zona intermedia mientras que la biotita está contenida en cantidades menores a 0,1 % hasta casi 7 % como en el caso de la pegmatita De Abajo con roca de caja del granito Sanagasta.

**Berilo:** constituye el principal mineral de mena de los yacimientos del distrito Velasco. Puede aparecer como individuos aislados, o en masas o en nidos. Su distribución en la pegmatita es errática, pero es abundante en las zonas más externas y más internas (cerca al contacto con los núcleos de cuarzo) de la zona intermedia (Ricci, 1971). La cantidad modal de berilo en la zona intermedia puede alcanzar hasta un 7 % (pegmatita El Bolsoncito). El berilo siempre está asociado con cuarzo generalmente anhedral y gris (figura 9D), y con paquetes de muscovita. También están incluidos en feldespatos.

Las características mineralógicas y texturales del berilo como así también sus propiedades gemológicas han sido desarrolladas por Sardi (2005, 2008). Un detallado estudio geoquímico indica que los berilos verdes (figura 9E) habrían sido formado en etapas temprana de la cristalización de la pegmatita, mientras que los de color amarillo y aguamarina en etapas más tardías (Sardi y Heimann, 2014).

**Fosfatos:** se han reconocido en las pegmatitas fosfatos de colores oscuros y claros (=



**Figura 9.** Macrofotografías de minerales esenciales de la zona intermedia. Ms: muscovita; Qz: cuarzo; Kf: microclino; Brl: berilo; Ap: apatito. **A.** Cristal idiomorfo de cuarzo con caras rombohedrales, pegmatita Mogote Blanco; **B.** Textura gráfica en microclino de la pegmatita De Abajo. **C.** Muscovita dispuesta radialmente en una zona de cuarzo-feldespato, pegmatita de Ismiango. **D.** Megacrystal de berilo amarillo idiomórfico en matrix de cuarzo grisáceo, pegmatita Diadema Riojana (tomado de Sardi, 2005). **E.** Cristales idiomorfos de berilo verde con estrías longitudinales, pegmatita El Bolsoncito. **F.** Fosfato “félsico” –apatita- de la pegmatita Diadema Riojana (indicada con un círculo en la imagen superior). Arriba: luz UV; Abajo: luz natural. / **Figure 9.** Macrophotographs of main minerals of the intermediate zone. Ms: muscovite; Qz: quartz; Kf: microcline; Brl: beryl; Ap: apatite. **A.** Euhedral quartz with rhombohedral faces, Mogote Blanco pegmatite; **B.** Graphic texture in microcline, De Abajo pegmatite. **C.** Radiating muscovite in a quartz-feldspar zone, Ismiango pegmatite. **D.** Megacrystals of beryl in gray quartz, Diadema Riojana pegmatite (taken from Sardi, 2005). **E.** Euhedral crystals of green beryl with longitudinal striations, El Bolsoncito pegmatite. **F.** ‘Felsic’ phosphate –apatite- of the Diadema Riojana pegmatite (marked with a circle in the upper image figure), above: UV light; below: natural light.

félsicos). Son constituyentes menores, siendo la cantidad modal en la zona intermedia de las pegmatitas no mayor al 2 % (tabla 3). Generalmente se ubican en zonas intermedias, aunque el

fosfato 'félsico' también puede encontrarse en zona de borde de la pegmatita.

Los fosfatos oscuros corresponden esencialmente a triplita, de color negro con tinte rojizo, a veces negro, brillo no metálico, huella blanca. Presenta hábito masivo de hasta 12 cm. Está asociado, en algunos casos, a biotita, muscovita, cuarzo, feldespato, granate y óxidos de hierro en muy pequeñas dimensiones. La variabilidad de los valores del peso específico (3,55-3,97) y de los parámetros de la celda unidad en triplitas procedentes de pegmatitas del Distrito Velasco se deben a la composición química no homogénea en términos de cantidades de iones divalentes, principalmente de Fe y Mn (y en menor medida de Ca y Mg) como así también de los constituyentes aniónicos tales como OH y F (Sardi *et al.*, 2008).

Los fosfatos 'félsicos' se corresponden con minerales del grupo del apatita y se caracterizan por su fluorescencia amarilla ante luz ultravioleta (figura 9F). El mineral es de color blanco, a veces con un fuerte tinte verdoso, y raramente con tintes rojizos en sus fracturas. Se presenta de diversas formas: con hábito macizo granular de aproximadamente 7,5 cm x 4,5 cm (Mogote Blanco), asociado a cuarzo, con el desarrollo de algunas caras cristalinas; y también en cristales idiomorfos y subidiomorfos con secciones basales de hasta 9 mm. En Chivo Negro, aparece con formas prismáticas bien desarrollados íntimamente asociados e intercrecidos con muscovita, y en menor proporción a cuarzo. También puede asociarse a granate y wolframita hidrotermal como en Las Diaguitas.

El peso específico de apatita procedente de diferentes pegmatitas del distrito Velasco es menor que el de la triplita, y varía entre 3,13 y 3,47. Los estudios de difracción de rayos X indican que el F sería el constituyente aniónico principal del mineral, y que habría sustitución de Ca por Mn (Sardi *et al.*, 2006).

En Mogote Blanco el fosfato tiene inclusiones de pequeñas láminas de muscovita y sobre pequeñas fracturas se encuentra turmalina muy pequeña por lo que se considera a éste último formado en estadios póstumos.

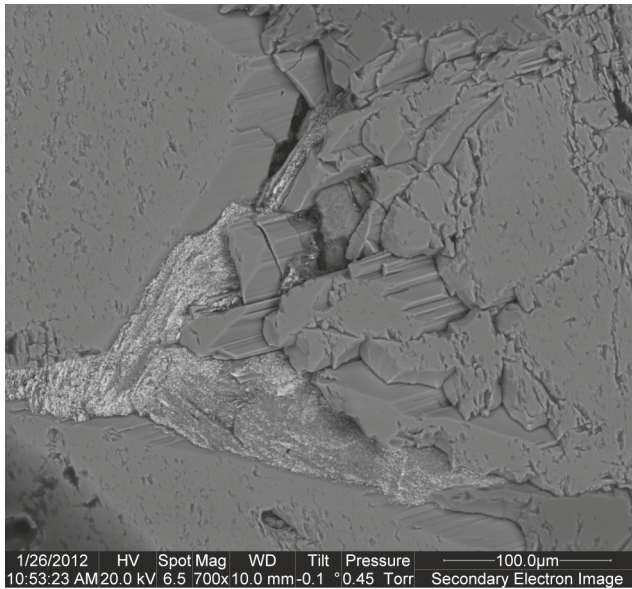
En general para todas las pegmatitas del distrito, el fosfato félsico tiene mayor tamaño y es subhedral a anhedral cuando está asociado a cuarzo, mientras que cuando se asocia y/o incluye en paquetes de muscovita y feldespatos es más pequeño, pero mayormente idiomorfo.

Granate: esta especie mineral es poco común en las pegmatitas, casi accidental. Ha sido identificado en escombreras de Las Diaguitas *in situ* en Huaco I. En el primero, se presenta en cristales muy bien desarrollados, con caras dodecaédricas y trapezoédricas. Estos cristales bien desarrollados son pequeños, hasta unos 2,6 cm como máximo y predomina la coloración roja oscura, habiendo también rojo claro transparente y casi negro. Hay algunos ejemplos de zonación. Los cristales se incluyen en cuarzo, pero también aparecen en los bordes de zonas fracturadas de origen posterior al cuarzo. Otra manera en la que se presenta el granate es en forma maciza, con coloración rojo transparente, y a veces en tonalidades verdosas. En Huaco I, el granate es macizo, con alto peso específico, de color negro y rojizo, con un brillo vítreo y a veces mate, y fractura concoidea similar a cuarzo.

Turmalina: se encuentra en la zona intermedia y raramente en el núcleo central de cuarzo. Por su color negro se lo clasifica como chorlo (rica en Fe). Es euhedral, y presenta estrías en sus caras cristalinas (figura 10). No aparece asociado a berilo ni a micas. Siempre está alojado en el cuarzo de color blanco, y no en el grisáceo. El cristal de mayor longitud encontrado en los depósitos de El Bolsoncito, mide  $\pm$  12 cm.

El espodumeno es mencionado en la zona intermedia por Ricci, (1971), Morteani *et al.* (1995) y Cravero, (2005) (no fue observado por los autores de la presente). La wolframita ha sido encontrada en escombreras y no *in situ*, por lo que el origen netamente pegmatítico es incierto. En general, el mineral es típicamente hidrotermal, y en este trabajo se infiere formado en





**Figura 10.** Imagen de turmalina de la pegmatita Ismiango obtenida en microscopio electrónico (SEM) mostrando la textura columnar del mineral con estrías longitudinales. / **Figure 10.** Scanning electron microscope (SEM) image of tourmaline of the Ismiango pegmatite showing columnar texture with longitudinal striations.

etapas post-pegmatíticas, hasta que futuros estudios puedan determinar con certeza su origen. Sólo aparece en Las Diaguítas y en menor importancia, casi accidentalmente, en Ismiango (al este de Las Peñas). Según Ricci (1971) yace en forma de nidos o bolsones, siendo más importante su concentración en soluciones cuarzosas. La presencia de columbita-tantalita en la zona intermedia de las pegmatitas fue mencionada solamente en la pegmatita Vaca Blanca, en una distribución errática (Ricci, 1971).

## Discusión

### Tipología del distrito Velasco

La forma ‘globosa’ de los diferentes cuerpos de pegmatitas sugiere que no hubo un control estructural durante la formación de los mismos. Brisbin (1986) explica que la forma elipsoidal y circular de las pegmatitas intragraníticas son ejemplos de un emplazamiento en un dominio dúctil, bajo un régimen de baja tensión e interpreta que derivan del ascenso de fluidos pegmatíticos de baja densidad, similarmente a burbujas, a través de un fundido silicático de mayor densidad.

Cabe mencionar, que el contexto general del distrito Velasco en cuanto a forma y dimensiones de los cuerpos pegmatíticos, granito parental tipo-A, y en gran parte la mineralogía, guardan una estrecha similitud con el distrito Potrerillos de la Provincia Pegmatítica Pampeana (Lira *et al.*, 2012).

Los rasgos mineralógicos principales y naturaleza geoquímica de las pegmatitas, permiten clasificar al distrito Velasco pertenecientes a la clase de elementos raros –REL–, subclase

REL-Li, tipo berilo, sub-tipo berilo-columbita-fosfato de la nomenclatura de Černý y Ercit (2005). Sardi y Lozano Fernández (2010) a base de la composición de elementos trazas en feldespatos potásicos de la zona intermedia de las pegmatitas Mogote Blanco, Cora Vivi y La Esperanza, sustentan esta clasificación, la cual, por otra parte, guarda concordancia con clasificaciones previamente realizadas sobre este distrito (Galliski, 1994; Sardi y Grosse, 2005). La clasificación en clase y tipo de pegmatitas precedente se considera la más apropiada para el distrito Velasco.

Sin embargo, una clasificación del distrito en familia presenta ciertas discusiones. Por un lado, la naturaleza de los minerales accesorios, la geoquímica de roca total, química-mineral, y estudios isotópicos de los granitos parentales, marcan claramente que estos (Huaco y Sanagasta), tienen afinidad con granito tipo-A (Grosse *et al.*, 2009; Dahlquist *et al.*, 2010). En consecuencia, teniendo en cuenta esta asignatura de la roca parental, el distrito Velasco se corresponde con la familia NYF. Además, la presencia de minerales accesorios comunes portadores de REE y F tanto en los granitos como en la zona de borde de las pegmatitas, y además de un pobre contenido de minerales de Li y Cs en las pegmatitas, sostienen esta clasificación. Pero por otra parte, la zona intermedia de las pegmatitas contiene principalmente berilo y fosfatos, minerales en pegmatitas LCT (Černý y Ercit, 2005; London, 2008).

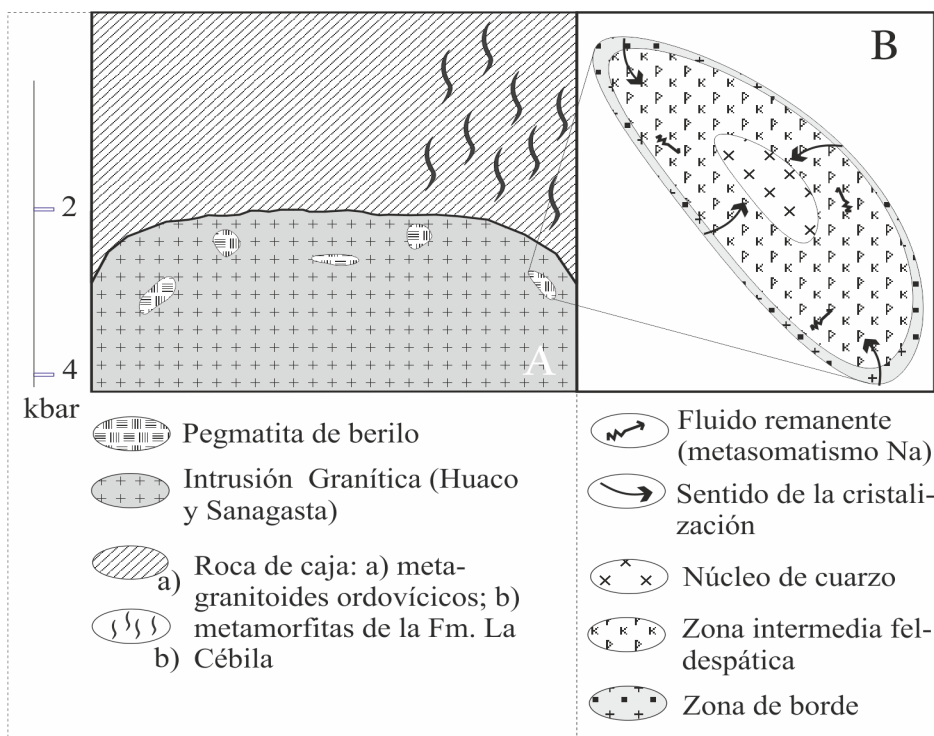
Las características geológicas, mineralógicas y geoquímicas expuestas precedentemente indican que las rocas del distrito Velasco contienen rasgos típicamente de la familia NYF, y en menor medida (casi subordinadamente), a la familia LCT. Por lo tanto, se considera conveniente, a priori, avalar la clasificación previa de Galliski (1994) y de Sardi y Grosse (2005) como familia híbrida NYF-LCT para el distrito Velasco.

## Reseña “pegmatogenética”

La separación de fluidos pegmatógenos generados a partir de los granitos Huaco y Sanagasta ha permitido la formación de numerosas pegmatitas berilíferas intragraníticas en el distrito Velasco, noroeste de Argentina. Los diferentes estudios mineralógicos y geoquímicos que aporta la literatura disponible, y la roca de caja metamórfica que no sobrepasa la facies de esquistos verdes, señalan que el magmatismo que dio origen a los granitos Huaco y Sanagasta tuvo un emplazamiento somero (~ 2-3 kbar) durante el Carbonífero inferior (Grosse y Sardi, 2005; Grosse *et al.*, 2009) (figura 11A).

La zonación de las pegmatitas del distrito Velasco es común y simple. Responde a una secuencia progresiva de cristalización primaria dentro de la cavidad pegmatítica intragranítica (e.g., Cameron *et al.*, 1949; Černý 1991; Stilling *et al.*, 1996), desde los márgenes hacia el interior, mostrando cambios texturales de la roca granítica equigranular o aplítica de la zona de borde a bloques minerales de grandes dimensiones generalmente consistentes en feldespatos con intercrecimiento de cuarzo (textura gráfica), y terminando en una zona monomineral en el núcleo de cuarzo. Los fluidos remanentes finales produjeron fenómenos de metasomatismo sódico afectando principalmente a microclino de la zona intermedia el cual ha sido reemplazado por plagioclasa incipiente en algunas pegmatitas e intensa en otras (figura 11B).

Particularmente, de acuerdo a Evensen *et al.* (1999), la precipitación del berilo en los fundidos pegmatíticos habría estado regulado principalmente por la temperatura, la actividad de alúmina y sílice, y la presencia de volátiles. Según los datos experimentales de estos autores, la solubilidad del berilo decae con el decrecimiento de la temperatura. A su vez, el berilo es común en rocas peraluminosas y saturadas en cuarzo (como las pegmatitas del distrito Velasco)



**Figura 11.** Esquema generalizado, sin escala, de la pegmatogénesis del distrito Velasco, regional (A) y local (B)./ **Figure 11.** Regional (A) and local (B) generalized scheme, without scale, of the pegmatogenesis the Velasco district.

ya que el fundido requiere contenidos mínimos de BeO para saturarse en tal mineral.

La presencia de aplitas en la zona de borde de las pegmatitas ha sido atribuida a un enfriamiento del fundido sobre las paredes de la cavidad pegmatítica bajo condiciones de no saturación de agua según los experimentos de Jahns y Burnham (1969). Sin embargo, investigaciones más modernas discuten la validez de la postura anhidra de esta formación (e.g., London, 2005 y 2008), y la temática ha generado con el tiempo un debate en el ámbito de la pegmatogénesis.

## Conclusiones

Los cuerpos de las pegmatitas tienen formas “globosas” incluidos en los granitos porfirícos carboníferos Huaco y Sanagasta, lo que sugiere una falta de control estructural en el momento del emplazamiento. La forma elipsoidal es la más común, mostrándose además, formas alargadas, discontinuas-irregular, y hasta semi-circular. La relación del eje mayor/eje menor es variable entre aproximadamente 1 y 4.7. Las dimensiones son muy reducidas.

La estructura interna de las pegmatitas es simple, desde el borde al centro: zona de borde, zona intermedia y núcleo de cuarzo. Se considera la zonación como producto de la diferenciación magmática dentro de la cavidad pegmatítica.

La mineralogía accesoria de los granitos parentales incluye: biotita, muscovita, apatita, fluorita, circón, monacita, ilmenita, magnetita, *uraninita* y *xenotima*, en el borde de las pegmatitas, muscovita, apatita, circón, *monacita*, *fluorita*, columbita-tantalita, *ilmenita*, *rutilo*, *pirita*, *calcopirita*,

*thorita*; y en la zona intermedia, muscovita, biotita, berilo, apatita, triplita, turmalina, granate, minerales que constituyen un aporte al conocimiento mineralógico del distrito Velasco.

El Distrito Velasco se clasifica perteneciente a la clase de elementos raros –REL–, sub-clase REL-Li, tipo berilo, sub-tipo berilo-columbita-fosfato de la nomenclatura de Černý y Ercit (2005). A priori, el distrito Velasco pertenecería a la familia híbrida NYF-LCT, aunque con mayores rasgos hacia la familia NYF tales como roca de caja granítica con afinidad tipo-A y minerales portadores de tierras raras y F tanto en los granitos como en la zona de borde de las pegmatitas.

## Agradecimientos

Este trabajo es un aporte a los proyectos G501 y PIP 0171 del CIUNT y CONICET, respectivamente. Agradecemos al Dr. Tom Fink del Departamento de Biología de la East Carolina University, USA, por la ayuda con los análisis SEM-EDS. Asimismo, agradecemos las constructivas observaciones de los revisores del presente trabajo.

## Referencias

- Báez, M., Basei, M., Toselli, A. y Rossi, J. 2004. Geocronología de granitos de la sierra de Velasco (Argentina): reinterpretación de la secuencia magmática. *Símpoio 40 anos de Geocronologia no Brasil, Boletín de Resumos*: 85.
- Báez, M., Bellos, L., Grosse, P. y Sardi, F. 2005. Caracterización petrológica de la sierra de Velasco. En: Dahlquist, J., Baldo, E. y Alasino, P. (Eds). Geología de la provincia La Rioja (precámbrico-paleozoico inferior). *Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación especial* N° 8: 123-130.
- Bellos, L.I. 2008. [Petrología de los granitoides del sur de la Sierra de Velasco y su significación regional. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 334 p. Córdoba.]
- Brisbin, W. 1986. Mechanics of pegmatite intrusion. *American Mineralogist*, 71: 644-651.
- Cameron, E.N., Jahns, R.H., McNair, A.H. y Page, L.R. 1949. Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology, Monogr.*, 2: 115.
- Castro Dorado, A. 1989. Petrografía básica. Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. *Paraninfo*. 139 pp. Madrid.
- Černý, P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits & Part II: regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, 18(2): 49-81.
- Černý, P. y Ercit, T. 2005. Classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, 43: 2005-2026.
- Cravero, O. 2005. Las pegmatitas zonadas de la sierra de Velasco, La Rioja. *Serie de Correlación Geológica*, 19: 133-144.
- Dahlquist, J., Alasino, P., Eby, N., Galindo, C. y Casquet, C. 2010. Fault controlled Carboniferous A-type magmatism in the proto-Andean foreland (Sierras Pampeanas, Argentina): Geochemical constraints and petrogenesis. *Lithos*, 115: 65-81.
- Dahlquist, J., Pankhurst, R., Rapela, C., Casquet, C., Fanning, C., Alasino, P. y Báez, M. 2006. The San Blas Pluton: An example of Carboniferous plutonism in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 341–350.
- Evensen, J., London, D. y Wendlandt, R. 1999. Solubility and stability of beryl in granitic melts. *American Mineralogist*, 84: 733-745.
- Galliski, M. 1994. La Provincia Pegmatítica Pampeana. I: Tipología y distribución de sus distritos económicos y II: Metalogénesis de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49(1-2): 99-122.
- Galliski, M. 2009. The Pampean Pegmatitic Province, Argentina: a review. *Estudios Geológicos* 19: 30-34.
- González Bonorino, F. 1951. Una nueva formación Precámbrica en el noroeste Argentino. *Comunicaciones Científicas. Museo de La Plata*. N° 5.
- Grosse, P. y Sardi, F. 2005. Geología de los granitos Huaco y Sanagasta, sector centro-oriental de la Sierra de Velasco, La Rioja. *Serie de Correlación Geológica*, 19: 221-238.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y De La Rosa, D. 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 98:1001-1025.
- Herrera, A. 1965. Evolución geoquímica de las pegmatitas zonales de los principales distritos argentinos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20(2): 199-228.

- Herrera, A. 1968. Geochemical evolution of Zoned Pegmatites of Argentina. *Economic Geology*, 63(1): 13-29.
- Herrera, A. 1971. Pegmatitas de la sierra de Velasco y de la sierra Brava, provincia de La Rioja: estructura, mineralogía y génesis. *I Simposio Nacional de Geología Económica*, Actas 1: 215-258, Buenos Aires.
- Höckenreimer, M., Söllner, F. y Miller, H. 2003. Dating the TIPA shear zone: Early Devonian terrane boundary between Famatinian and Pampean systems (NW Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 45-66.
- Jahns, R. y Burnham, C. 1969. Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Economic Geology*, 64: 843-864.
- Lira, R., Galliski, M., Bernard, F. y Roquet, M. 2012. The intragranitic Potrerillos NYF pegmatites and their A-type host granites of the Las Chacras-Potrerillos Batholith, Sierra de San Luis, Argentina. *The Canadian Mineralogist*, 50: 1729-1750.
- London, D. 2005. Granitic pegmatites: an assessment of current concepts and directions for the future. - *Lithos*, 80: 281-303.
- London, D. 2008. Pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, Special Publication 10, 347pp.
- Möller, P. y Morteani, G. 1987. Geochemical exploration guide for tantalum pegmatites. *Economic Geology*, 82: 1888-1897.
- López, J., Grosse, P. y Toselli, A. 2007. Faja de deformación La Horqueta, sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, NO de Argentina: petrografía, geoquímica, estructuras y significado tectónico. *Estudios Geológicos*, 63: 5-18.
- 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.
- Ricci, H. 1971. Geología y evaluación preliminar de las pegmatitas de las sierras de Velasco, dpto. Capital-Sanagasta y Castro Barros, La Rioja. *Dirección Provincial de Minería* (inédito), 50 p, La Rioja.
- Sardi, F.G. 2005. Petrografía y caracterización de la mena del distrito pegmatítico Velasco, La Rioja, Argentina. XVI *Congreso Geológico Argentino*, Actas V: 231-238, La Plata.
- Sardi, F.G. 2008. The geological context of gems in the Velasco Pegmatitic District, Argentina. *The Journal of Gemmology*, 31: 85-89.
- Sardi, F.G. y Grosse, P. 2005. Consideraciones sobre la clasificación del distrito Velasco de la Provincia Pegmatítica Pampeana, Argentina. XVI *Congreso Geológico Argentino*, Actas 5:239-242, La Plata.
- Sardi, F.G. y Lozano Fernández, R. 2010. Estudio geoquímico preliminar sobre la composición de feldespatos potásicos y muscovitas de pegmatitas de las sierras de Velasco y Mazán, provincia de La Rioja. 10° *Congreso de Mineralogía y Metalogénesis* (MINMET), Actas: 233-240, Rio Cuarto.
- Sardi, F.G. y Heimann, A. 2014. Pegmatitic beryl as indicator of melt evolution: example from the Velasco district, Pampeana Pegmatite Province, Argentina, and review of worldwide occurrences. *The Canadian Mineralogist*, 52: 809-836.
- Sardi, F.G., Báez, M. y Grosse, P. 2006. Difracción de Rayos X en minerales del grupo del apatito proveniente de pegmatitas de la Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. VIII *Congreso de Mineralogía y Metalogénesis*, Actas 1: 171-174, Buenos Aires.
- Sardi, F., Báez, M. y Grosse, P. 2008. Difracción de rayos X en triplitas pegmatíticas del Distrito Velasco, La Rioja, Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 21(1): 49-53.
- Sardi, F., Murata, M. y Grosse, P. 2010. Petrographical and geochemical features of the granite-pegmatite transition in the Velasco Pegmatitic District, NW Argentina. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, Mh. 258(1): 61-71.
- Söllner, F., Grosse, P., Gerdes, A., Toselli, A.J. y Rossi, J. N. 2009. U-Pb LA-ICP-MS age determinations of growth impulses in zircons from Carboniferous post-orogenic granites, Sierra de Velasco (NW-Argentina). XXI *Colloquium on Latin American Earth Sciences*, pp. 267-270. Göttingen, Germany.
- Stilling, A., Cerný, P. y Vanstone, P. 2006. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XVI. Zonal and bulk compositions and their petrogenetic significance. *The Canadian Mineralogist*, 44: 599-623.
- Toselli, A., Rossi, J., Sardi, F., López, J. y Báez, M. 2000. Caracterización petrográfica y geoquímica de granitoides de la sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. 17 *Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium* (17 LAK), CD-ROOM, paper N° 81: 6pp. Stuttgart.
- Toselli, A., Rossi, J., Báez, M., Grosse, P. y Sardi, F. 2006. El Batolito Carbonífero Aimogasta, Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. *Serie de Correlación Geológica*, 21: 137-154.
- Toselli, A., Miller, H., Aceñolaza, F., Rossi, J. y Söllner, F. 2007. The Sierra de Velasco (northwestern Argentina) – an example for polyphase magmatism at the margin of Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, Mh. 246: 325-345.
- Toselli, A., Rossi, J., Miller, H., Báez, M., Grosse, P., López, J. y Bellos, L. 2005. Las rocas graníticas y metamórficas de la Sierra de Velasco. *Serie Correlación Geológica*, 19: 211-220.

**Recibido:** 19 de Febrero del 2015

**Aceptado:** 29 de Abril del 2015

