



## ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE LA FORMACIÓN CALAFATE (MAASTRICHTIANO) EN EL ÁREA DEL CERRO CALAFATE, CUENCA AUSTRAL, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA: PRIMEROS RESULTADOS

Andrea L. ODINO B.<sup>1</sup>, Lucía E. GÓMEZ PERAL<sup>1</sup>, Sebastián RICHIANO<sup>2</sup>, Daniel POIRÉ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), Diagonal 113 273, 1900, La Plata, Argentina.  
e-mail: aodino@cig.museo.unlp.edu.ar. <sup>2</sup>Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (CONICET-CENPAT),  
Boulevard Brown 2915, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

### RESUMEN

Los primeros resultados del análisis composicional de las areniscas marinas de la Formación Calafate (Maastrichtiano) de la Cuenca Austral, en el Cerro Calafate, indican que las mismas están constituidas enteramente por litarenitas feldespáticas de tamaño de grano medio, sin embargo pueden ser diferenciadas en dos petrofacies (A y B). Ambas petrofacies presentan diferencias composicionales reconocidas no solo petrográficamente sino también por análisis de difracción de rayos X. Estas petrofacies se corresponden con diferencias reconocidas en los afloramientos, ya que cada una está representada en una sección del perfil limitadas entre sí por una superficie erosiva que coincide con la aparición de depósitos conglomerádicos de hasta medio metro de espesor. Con los resultados obtenidos, se sugiere dividir a la unidad en dos secciones, una sección inferior representada por la petrofacies A con mayor contenido de cuarzo monocristalino y escasas plagioclasas. En esta petrofacies se reconocen procesos de illitización de los cementos argílicos compuestos principalmente por interestratificados de clorita/esmectita e illita/esmectita. La petrofacies B caracteriza a la sección superior, cuyo cambio composicional se reconoce por la disminución en cuarzo monocristalino y aumento de las plagioclasas (calco-sódicas) sin alteración, que se asocia a un cambio en la procedencia evidenciado por un aumento relativo de la basicidad de las rocas, en esta sección el cemento argílico se compone casi exclusivamente de esmectita glauconítica.

**Palabras clave:** Cretácico superior, Patagonia Austral, areniscas glauconíticas, petrofacies .

### ABSTRACT

Compositional analyses of the Calafate Formation (Maastrichtian) in the Cerro Calafate area, Austral Basin, Santa Cruz Province, Argentina: first results. The compositional analysis of marine sandstones of the Calafate Formation (Maastrichtian) of the Austral Basin, located in the Cerro Calafate indicates that they are composed by feldspathic litharenites differentiated in two petrofacies A and B. These petrofacies present compositional differences determined by petrography and X-ray diffraction studies. Moreover, the petrofacies correspond to sections in the outcrops, divided by an intraformational erosive surface which coincides with the beginning of conglomerates deposits (up to 50 cm thick).

Results here presented allow to divide the unit in a lower section characterized by petrofacies A with scarce to moderate monocrystalline quartz (Qm) and orthose (O), in which processes of illitization of the clay cements produce interstratified clays as chlorite-smectite (C/S) and illite-smectite (I/S). The petrofacies B is typical of the upper section, where the compositional variation is denoted by an important increment in well preserved plagioclasas (Ca-Na) and a detriment in Qm, related to a change in the provenance also reflected in the composition of the argillic cementation composed almost exclusively of glauconitic smectite.

**Keywords:** Upper Cretaceous, Austral Patagonia, glauconitic sandstones, petrofacies.

## INTRODUCCIÓN

La Formación Calafate forma parte del relleno sedimentario de la Cuenca Austral en la etapa de antepaís durante el Cretácico Superior. Fue definida por Feruglio en 1938 como "Estratos de Calafate" al sur del lago Argentino. La unidad ha sido asignada al Maastrichtiano – Paleoceno por Nullo *et al.*, (1981) y Macellari y Manassero (1989) dada la presencia de palinomorfos y restos de hongos en niveles superiores asignados a la Formación ManAike (Eoceno medio – superior) al norte del lago Argentino. Está integrada por areniscas verdosas glauconíticas, con fauna como *Lahillia luisa* y *Trigonias* y de abundantes trazas fósiles, que se disponen en bancos tabulares y masivos, con estratificación planar y sigmoidal, de un ambiente de plataforma marina (Poiré y Franzese, 2010).

La composición de la Formación Calafate no ha sido estudiada en detalle, exceptuando menciones generalizadas en las que se señala una composición dominada por areniscas líticas (Macellari y Manassero, 1989). En este trabajo se presentan los primeros resultados del análisis de la composición de las areniscas, para indicar de manera preliminar las variaciones registradas en la unidad y el posible marco tectónico del o de las área/s de procedencia. Las observaciones petrográficas se complementan con análisis de difracción de rayos X (DRX), así como de microscopía electrónica con microanálisis (SEM-EDS).

## MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Austral se ubica en la provincia de Santa Cruz y se extiende hacia el sector chileno. Se encuentra limitada al norte por el Macizo del Deseado, al noreste por el alto del río Chico y al oeste por los Andes Patagónicos Fueguinos (Fig. 1). La evolución tectónica de la cuenca ha sido dividida en una etapa de *rifting* en el Jurásico medio a tardío, seguida de una etapa de hundimiento térmico cretácica, y culminando con una etapa de antepaís que continuó durante el Cenozoico. En esta últi-

ma etapa que se produce la depositación de la Formación Calafate (Arbe, 1989).

Los afloramientos de la Formación Calafate se ubican en los márgenes norte y sur del lago Argentino y es fácilmente reconocible por sus bancos de areniscas verdosas. La localidad tipo se encuentra en el cerro homónimo, al sur de la ciudad de El Calafate, allí se extiende en dirección suroeste – noreste en donde alcanza un espesor aproximado de 250 m, sobreyace en discordancia a los conglomerados continentales de la Formación La Irene, de edad maastrichtiana y es cubierta en contacto discordante erosivo por los depósitos marinos de la Formación ManAike (Eoceno medio - superior).

## METODOLOGÍA

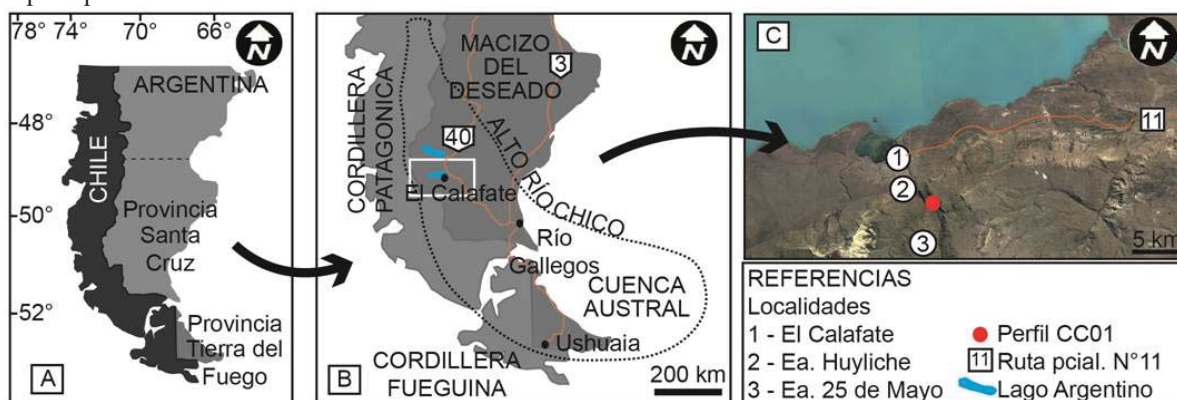
En el área de estudio, sector suroeste del Cerro Calafate (Fig. 1) se relevó un perfil sedimentológico a escala 1:100 y se realizó un muestreo preliminar para la caracterización composicional de las areniscas de la Formación Calafate. Para el análisis petrográfico se confeccionaron 11 secciones delgadas sobre las que se realizó una descripción detallada textural y composicional (método de Gazzi-Dickinson).

Se analizaron 13 muestras por difracción de rayos X tanto en roca total como en fracción arcilla (< 2 µm). La mineralogía de arcillas se determinó a partir de la identificación de los picos principales y para las estimaciones semicuantitativas se utilizó el método pico-área aplicando factores empíricos (Moore y Reynolds, 1989). La microscopía electrónica de barrido y microanálisis (SEM-EDS) se utilizó para caracterizarlas micromorfologías principales de los argilominerales, y su composición elemental.

## RESULTADOS

### Descripción del perfil CC01

En el área de estudio (Fig. 2A), la base de la Formación se encuentra cubierta y la sección inicia con areniscas medianas de color verde oscuro en estratos masivos



**Figura 1.** A) Ubicación geográfica de la Cuenca Austral. B) Extensión de la Cuenca Austral y límites con otras provincias geológicas. C) Ubicación del área de estudio.



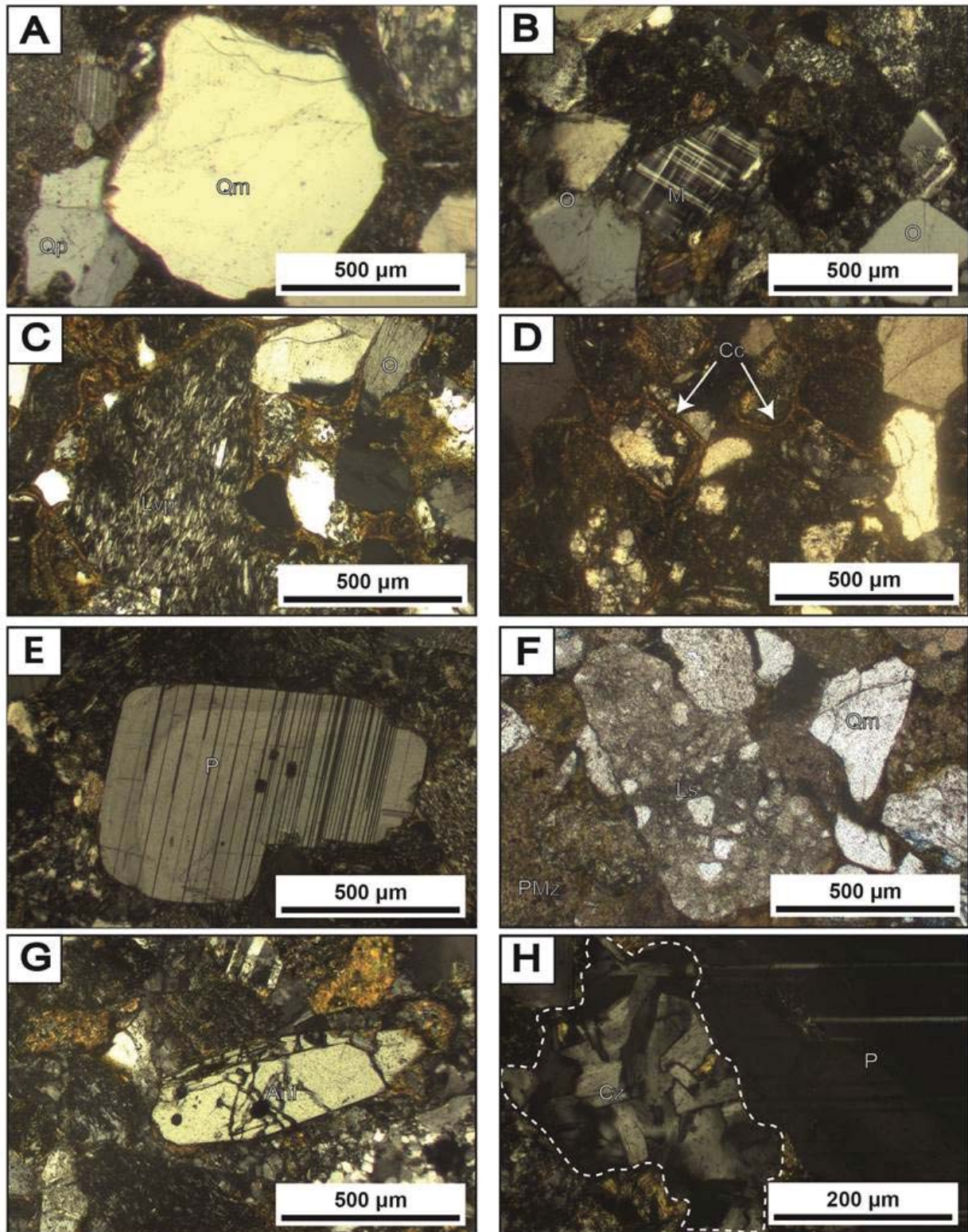
**Figura 2.** A) Cerro Calafate, localidad tipo de la Formación Calafate. B) Areniscas medias verdes con bioturbación de *Ophiomorpha* sp. C) Detalle de la alta bioturbación de *Ophiomorpha* sp. D) Estratificación entrecruzada planar de la sección inferior. E) Detalle de la disposición de los tubos de *Ophiomorpha* sp. F) Conglomerados de la sección superior en contacto por discordancia erosiva con sabulitas de la sección inferior. G) Estratificación entrecruzada tangencial de la sección superior.

(de hasta 1,5m), seguida por niveles con estratificación entrecruzada (Fig. 2D) que por contacto transicional pasan niveles con estratificación planar. A continuación se observan varios metros de areniscas medianas, con la misma coloración verdosa, masivas y bioturbadas con *Ophiomorpha* sp. (Fig. 2B, C, E). Son cubiertas por un nivel de sabulitas castañas sobre las que sobreyace, por contacto erosivo niveles de ortoconglomerados líticos gruesos masivos y de color gris oscuro (Fig. 2F). A partir de aquí se desarrollan verticalmente una serie de estratos que alcanzan 10 m de espesor máximo de areniscas medianas a finas castañas con presencia de estratificación entrecruzada y en sectores estratificación planar que, junto con los niveles de conglomerados, conforman el sector superior de la Formación Calafate (Fig. 2G).

### Composición de areniscas

Entre los clastos monominerales se reconocen: cuarzo monocristalino (Qm), cuarzo policristalino (Qp), plagioclasas (P), ortosa (O), microclino (M), de estos últimos algunos se presentan zonados. Los clastos accesorios son micas (biotitas, muscovitas, cloritas), piroxenos, anfíboles y minerales opacos. Los clastos líticos presentes son volcánicos (Lv), sedimentarios (Ls) y metamórficos (Lm) (Fig. 3). Los líticos volcánicos son los más abundantes y se diferenciaron por su texturas: pilotáxica (Lvp), *lathwork* (Lvl), seriada (Lvs), traquíctica (Lvt), felsítica (Lvf), granular (Lvg) y vítrea (Lvv).

En todas las muestras, a excepción de CC01-103 (16% de porosidad), la porosidad ha sido completamente



**Figura 3.** Microfotografías de la composición modal de las areniscas de la Formación Calafate. A) Cuarzo monocristalino (Qm) y cuarzo policristalino (Qp). B) Feldespatos sódico-potásicos: ortosa (O) y microclino (M). C) Líticos volcánicos con textura pilolítica (Lvp) y ortosa (O). D) Cemento arcilloso de tipo coating (Cc). E) Cristaloclasto de plagioclasa (P). F) Lítico sedimentario (Ls), pseudomatriz (PMz) y cuarzo monocristalino (Qm). G) Cristaloclasto de anfíbol (Anf). H) Cemento de zeolitas (Cz) - clinoptilolita y plagioclasa (P).

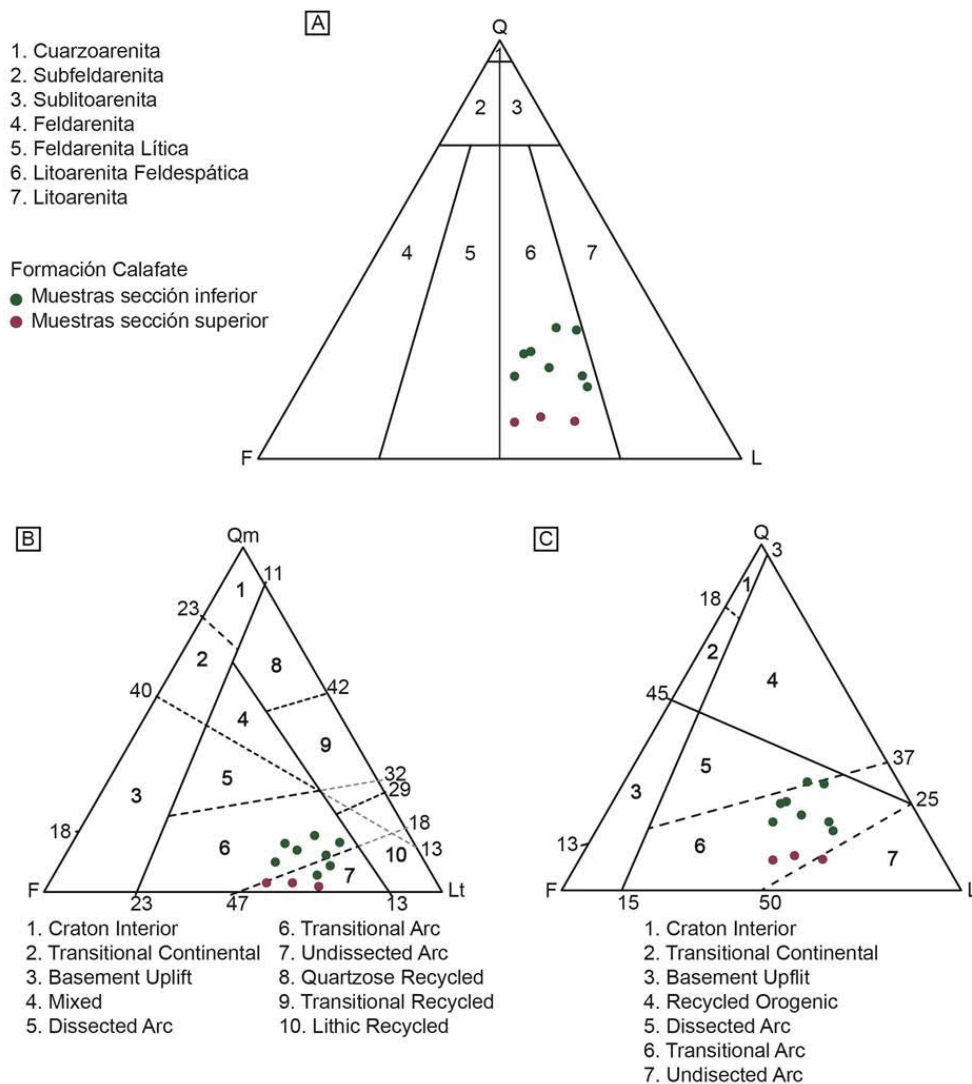
ocluída, principalmente por cementos argílicostipo *coating* y en menor medida por cementos de zeolitas, crecimiento secundario de cuarzo y ocasionalmente óxidos de hierro (Fig. 3).

De acuerdo a la clasificación de Folk *et al.*, (1970) las areniscas de la Formación Calafate corresponden a litoarenitas feldespáticas (Fig. 4). Abundan los líticos volcánicos por sobre los de origen sedimentario y metamórfico, y entre las texturas volcánicas reconocidas predominan las *lathwork* y *pilotáxica* que corresponden a rocas volcánicas de composición básica-intermedia.

### Procedencia de areniscas

Los triángulos QmFLty en QtFL (Fig. 4 B, C) permiten distinguir dos poblaciones o petrofacies, A y B. La petrofacies A, que caracteriza a la sección inferior, tiene un contenido escaso a moderado de cuarzo monocristali-

noque varía entre el 5 y 15%, de una composición promedio  $Qm_{12}F_{27}Lt_{61}$ , con lo cual la mayoría de las muestras se ubican en el campo de arco transicional. Por otra parte, la petrofacies B tiene un contenido de cuarzo monocristalino muy bajo (<5%), su composición promedio es  $Qm_3F_{36}Lt_{61}$ , las muestras corresponden a la sección superior y se sitúan en el campo de arco no disectado. De acuerdo al triángulo complementario QmPF, que compara al cuarzo monocristalino vs. los feldespatos calcio-sódicos (P) y sódico-potásicos (F), se reconoce un aumento general en el contenido de feldespatos (30-75%) en sentido vertical. Se destaca que en la sección inferior el feldespato más frecuente es la ortosa y contiene 12% de cuarzo monocristalino en promedio, mientras que en la sección superior hay un predominio de las plagioclasas (> 35%).

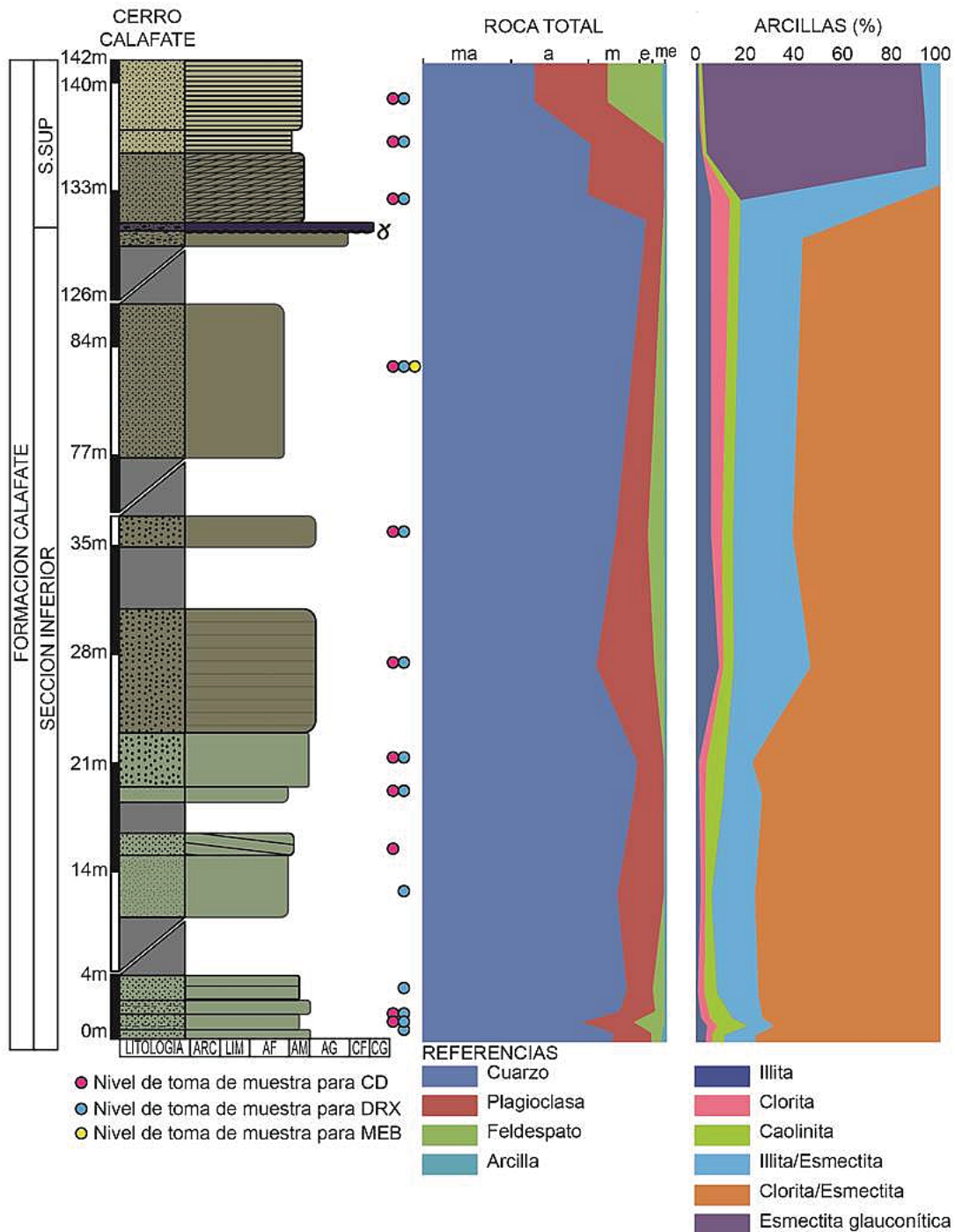


**Figura 4.** A) Diagrama tradicional de composición (Folk *et al.*, 1970). B, C) Diagrama tradicional de procedencia (Dickinson *et al.*, 1983).

### Difracción de rayos X

Las muestras de la sección inferior (de 107,5 m de espesor) presentan muy abundante proporción de cuarzo, moderada de plagioclasas, escaso feldespato potásico y muy escasas arcillas, como minerales traza se reconocen yeso, clinoptilolita y tridimita. La sección superior (34,5 m) contiene muy abundante cantidad cuarzo, escaso fel-

despato potásico siendo la proporción de plagioclasas de moderada a abundante y muy escasas arcillas. También se reconocen trazas de tridimita y siderita (Fig. 5). En la fracción arcilla también se observa una variación composicional muy marcada entre ambas secciones diferenciándose dos asociaciones de argilominerales.



**Figura 5.** Perfil sedimentológico de la sección inferior de la Formación Calafate en el Cerro Calafate y variaciones composicionales reconocidas con DRX.

### Asociaciones de argilominerales

**Asociación C/S.** Esta asociación de argilominerales es característica de la sección inferior. Se reconoce por un predominio del interestratificado de clorita-esmectita (C/S) que varía entre 55–75% acompañado por illita-esmectita (I/S 10-30%), y por escasas illita, clorita y caolinita (Fig. 5).

**Asociación S.** La asociación argilomineral S, domina en las muestras de la sección superior. La misma se caracteriza por poseer muy abundante esmectita > 90% y muy escasas illita-esmectita, illita, clorita y caolinita (Fig. 5).

### Análisis con SEM-EDS

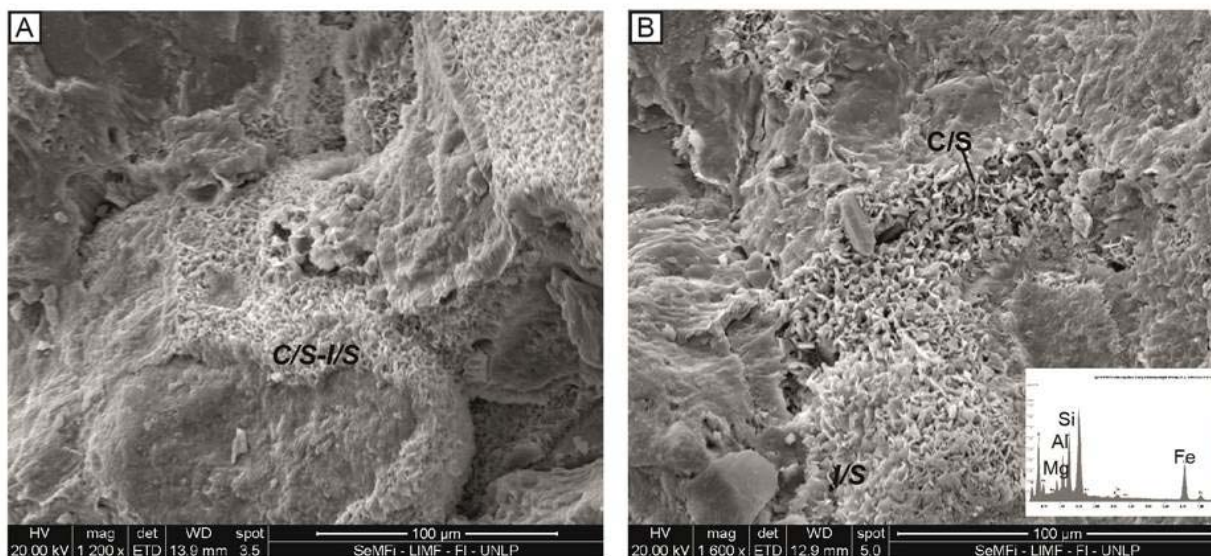
Los componentes detríticos en las muestras de la sección inferior se encuentran parcial o totalmente recubiertos por cementación de arcillas tipo *coating*, que oblitera casi totalmente la porosidad primaria y persiste una microporosidad secundaria. Los cementos argílicos de la sección inferior se presentan como intercrecimientos de C/S e I/S (Fig. 6), los C/S están compuestos por cristales hexagonales intercrecidos (2 a 3 µm) en enjambres sin dirección preferencial y cuyo análisis con EDS indica elevados contenidos de Si, Al, Fe y Mg (Fig. 6B), mientras que los I/S muestran típicas láminas apiladas de bordes crenulados.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Si bien las sedimentitas analizadas a lo largo de la sucesión son arenitas de color verde oscuro, de grano medio y de composición aparentemente homogénea, dominadas por abundantes clastos líticos volcánicos (~60-

70%), se presentan una serie de evidencias de campo y laboratorio que indican que la Formación Calafate puede ser dividida en dos secciones con diferencias composicionales entre sí. Desde el punto de vista petrológico son clasificadas como litoarenitas feldespáticas, en las que se reconoce una petrofacies A para la sección inferior con escaso contenido de cuarzo monocristalino (~ 12%) y con feldespatos alcalinos (ortosa y microclino) con signos de meteorización y disolución, y una petrofacies B para la sección superior con muy escaso contenido de cuarzo monocristalino (menor al ~ 3%) y con alta proporción de plagioclasas calco-sódicas sin alteración. El incremento del contenido de feldespatos observado en el triángulo QmPF implicaría una variación en el aporte de los detritos volcánicos derivados de un arco magmático, la petrofacies A se ubica en el campo de arco transicional y la B en arco no disectado. La diferencia composicional entre ambas petrofacies también es observable en los difractogramas de roca total dado por un aumento de los feldespatos en detrimento del cuarzo, la que disminuye notablemente en la sección superior. En la fracción arcilla el cambio composicional es también marcado, la asociación argílica de la sección inferior (C/S) está dominada por interestratificados de clorita/esmectita e illita/esmectita mientras que una asociación rica en esmectita glauconítica (S) es típica de la sección superior. Las observaciones con SEM permiten reconocer la morfología y distribución de la asociación C/S de la sección inferior como cementos que recubren gran parte de los clastos. De lo anterior, se sugiere que dominan los procesos de illitización en la sección inferior, mientras que en la superior se observa un cemento de esmectita glauconítica.

Para el intervalo de tiempo en el que se depositaba la Formación Calafate, las posibles áreas de aporte habrían sido el basamento elevado (Complejo El Quemado: volcanitas intermedias ácidas), el Macizo del Deseado



**Figura 6.** Microfotografías de SEM. A) Cementos argílicos tipo *coating*. B) Láminas de C/S e I/S intercrecidas, con análisis químico de C/S (der. Inf.).