

## DIQUES PIROCLÁSTICOS EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO MARIFIL

Santiago N. GONZÁLEZ\* y Gerson A. GRECO

Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (CONICET-UNRN)

\*Autor correspondiente: sgonzalez@unrn.edu.ar

### Abstract

*Pyroclastic dykes in the Marifil Volcanic Complex.* The acidic rocks from the Marifil Volcanic Complex (MVC) represent the Jurassic magmatism from the northeast Patagonia. The emplacement and eruption of this magmatism was controlled by northwest extensional fractures. The stratigraphic succession of the MVC starts with epiclastic deposits followed by thick pyroclastic sheets. Domes, lava flows, dykes and stocks represent the final stages of the Jurassic magmatic event. In Rincon de Paileman, pyroclastic dykes have been recognized and has been related to the pyroclastic eruptions of the MVC. Based in this relation between the pyroclastic dykes and the violent eruptions, a proposal about the evolution of the MVC is made. It started with sedimentation in depocenters where their development was control by northwest extensional fractures. When the extensional fractures reach cortical magmatic reservoirs, it produces a massive degasification leading to violent eruptions and the deposition of thick pyroclastic levels. The pyroclastic dykes might have been the feeders of those eruptions. After degasification the magmatic activity turns less violent producing coherent magma bodies as domes, dykes and stocks. The successive magmatic pulses might have used the northwest structures as channels producing pyroclastic and magmatic dykes with the same orientation. These channels might have also worked as feeders for the eruptive products. Considering this new data and the proposed model, the idea of a fissural Jurassic volcanism in the northeast Patagonia is reinforced.

Palabras claves: Patagonia, Jurásico, Magmatismo, Fisural

Key words: Patagonia, Jurassic, Magmatism, Fissural

### Introducción

Los diques piroclásticos han sido descritos en diferentes provincias magmáticas del mundo (Almond, 1971; Aguirre-Díaz y Labarthe-Hernandez, 2003; Winter et al., 2008; Motoki et al., 2012 entre otros). Su origen y significado ha sido vinculado al relleno de estructuras extensionales asociadas directamente al influjo y erupción del material magmático en erupciones de carácter explosivo; o bien al relleno de geoformas elongadas con paredes de pendiente abrupta por un flujo piroclástico (Almond, 1971). El primero de estos escenarios ha sido principalmente invocado para secuencias eruptivas que inician con abundantes productos piroclásticos y que evolucionan a productos lávicos coherentes, todos ellos controlados por sistemas fisurales de características extensionales.

La Provincia Magmática jurásica de Chon Aike (Pankhurst et al. 1998, 2000) abarca grandes áreas de las provincias de Santa Cruz, Chubut y Río Negro, recibiendo diferentes denominaciones según su ubicación geográfica. El Complejo Volcánico Marifil -CVM- (Malviccini y Llambías, 1974; Cortés, 1981) forma parte de la provincia Chon Aike incluyendo los afloramientos de rocas piroclásticas, volcánicas e intrusivas, principalmente riolíticas, del este de Río Negro y noreste de Chubut.

En este trabajo se presentan las primeras evidencias sobre la existencia de diques piroclásticos asociados al CVM los cuales podrían haber funcionado como alimentadores de flujos piroclásticos. Además, se propone un modelo de evolución empírico basado en observaciones del volcanismo jurásico del este de Río Negro, y su comparación con otras provincias magmáticas de características similares.

### Marco geológico

El CVM forma parte de la Provincia Ignea Chon Aike como parte del evento eruptivo V1 ocurrido entre 188 a 178 Ma (Pankhurst et al. 1998, 2000). Esta unidad se compone principalmente de depósitos piroclásticos (de caída y de flujo) mayormente ácidos con intercalaciones sedimentarias. Esta espesa secuencia piroclástica sirve como caja de cuerpos intrusivos laminares y globosos. Son numerosos los trabajos que han abordado la estratigrafía volcánica del Complejo Volcánico Marfil, principalmente en el área de Sierra Grande, Sierra Paileman, Arroyo Verde y Dique Ameghino (Malviccini y Llambías, 1974; Cortes, 1981; Nuñez et al., 1975; Marquez et al., 2011; Navarrete y Marquez, 2014; Díaz-Martínez et al., 2017; González et al., 2017; Strazzere et al., 2017, 2018). En líneas generales se acepta que la base del CVM se apoya directamente sobre rocas del Paleozoico y se compone de una secuencia principalmente epiclástica de características granodecreciente distribuida irregularmente en depocentros aislados, no superando los 550 metros de espesor. Sin embargo, González et al. (2017) han presentado evidencias de la existencia de un conjunto de rocas triásicas que se apoyan sobre el basamento paleozoico y son cubiertas por las rocas basales del CVM. Por encima de la base epiclástica, la secuencia del CVM continúa con espesos mantos de rocas piroclásticas siendo las más abundantes las ignimbríticas riolíticas y riolíticas. Intercalados con los espesos mantos ignimbríticos se reconocen niveles de caída y niveles epiclásticos que presentan restos fósiles vegetales y huellas de vertebrados. Emplazados en y derramados sobre la espesa secuencia ignimbrítica se encuentran los productos magmáticos finales del CVM representados por cuerpos intrusivos subvolcánicos (diques, filones capa y stocks), domos y coladas dómicas. Las rocas del CVM presentan composiciones riolíticas con un alto contenido de SiO<sub>2</sub> y características geoquímicas de una serie de alto potasio (Rapela y Pankhurst, 1993).

La relación de las erupciones que generaron tanto los depósitos piroclásticos como los derrames lávicos e intrusiones tardías dentro del CVM han sido vinculadas a procesos fisurales. Las estructuras que habrían controlado, primero la extensión para la formación de pequeñas cuencas y posteriormente el ascenso y emplazamiento de productos magmáticos, serían de orientación NO-SE y estarían asociadas a un proceso extensional regional de orientación NE-SO (Cicciarelli, 1980). Por otra parte, Aragón et al. (1996) propusieron un sistema NNE-SSO donde calderas de hasta 100km de diámetro se intersecan, constituyendo los centros eruptivos a partir de los cuales se habrían generado los productos magmáticos del CVM. La propuesta de estos autores se basó en el gran volumen de productos piroclásticos que conforman el CVM, la ausencia de estratovolcanes y el predominio de diques como conductos de alimentación del magmatismo. Las estructuras que limitan las calderas propuestas por Aragón et al. (1996) corresponden a lineamientos NO-SE y E-O.

La signatura geoquímica de las rocas del CVM, como parte de la SLIP Chon Aike, ha permitido proponer su origen a partir de la anatexis de una corteza inferior máfica de edad Grenvilliana, y posterior MASH (*mixing, assimilation, storage and hybridization*), como consecuencia de un subplacado máfico (Riley et al., 2001). El vulcanismo jurásico de la Patagonia se ha vinculado a ambientes geotectónicos de tipo extensionales en intraplaca relacionados al desmembramiento de Pangea (Pankhurst y Rapela, 1995; Pankhurst et al., 1998). Sin embargo, estos últimos autores indican que los cambios en la dinámica del margen de subducción activo en el borde pacífico de Gondwana debieron de haber influenciado la acción de una pluma mantélica para dar origen a la Provincia Magmática Chon Aike.

### **Los diques piroclásticos y las rocas asociadas**

Se utilizará la denominación de diques piroclásticos en el concepto de Winter et al (2008) donde una estructura de características lineales con paredes abruptas presenta un relleno con texturas y componentes piroclásticos.

Los diques piroclásticos reconocidos hasta el momento se ubican al sureste de Rincón de Paileman siguiendo lineamientos noroeste y al sur de la mina Gonzalito (Fig. 1). En los alrededores del Cerro El Morro, el cual es un domo riolítico con foliación magmática y

disyunción de tipo laminar, se han reconocido dos diques piroclásticos emplazados en fracturas noroeste que cortan las rocas del basamento paleozoico. Estos diques son riolíticos, presentan una coloración rosada clara y, a primera vista, un aspecto porfírico. La foliación magmática noroeste es poco clara, presenta cristales tabulares de feldespato alineados verticalmente. Los diques no muestran relaciones de corte entre sí ni con el domo riolítico. Por otra parte, no hay en los alrededores depósitos piroclásticos que puedan ser asociados de forma directa al dique piroclástico, aunque a lo largo del lineamiento noroeste que los aloja son recurrentes los diques, domos y mantos piroclásticos. En este sentido, al sureste de Rincón de Paileman aflora un dique riolítico coherente con foliación magmática vertical que alimenta una colada cuya foliación magmática es horizontal y forma repliegues (Fig. 1), estableciendo la relación existente entre los cuerpos subvolcánicos y las efusiones lávicas superficiales.

Al noroeste del Cerro El Morro, otro dique piroclástico fue reconocido asociado a un sistema de múltiples cuerpos ígneos, intrusivos y extrusivos, de composición riolítica y traquiandesítica. Este sistema de cuerpos es coronado por el desarrollo de un domo y una colada domica de composición riolítica (Fig. 1). El dique piroclástico presenta una coloración rojiza intensa con aspecto porfírico, aunque se aprecia en muestra de mano fragmentación de los cristales más grandes. Los límites del cuerpo están bien definidos y se aprecia el desarrollo de una capa límite con un tamaño de grano muy fino y de escasos centímetros de espesor.

El dique ubicado al sur de la mina Gonzalito presenta una coloración rosada muy clara con un aspecto porfírico. Es cortado por vetillas de cuarzo con trazas de sulfuros de rumbo nornoreste. El dique es masivo, no se advierte una foliación magmática definida. Sus contactos son netos con desarrollo de una capa límite de pocos centímetros intensamente foliada contra la roca de caja. Además, se observan variaciones de rumbo en el dique que definen una traza sinuosa. Los rasgos piroclásticos de este cuerpo no pudieron ser observados en el afloramiento.

Las características piroclásticas de los diques solo fueron observables petrográficamente (Fig. 2). Si bien en muestra de mano no se advierte la presencia de vidrio, en sección delgada se observan texturas de recristalización en la matriz formando esferulitas o generando un agregado tipo mosaico de cuarzo y feldespato. Presentan abundantes fragmentos de cuarzo elongados y/o cuspados que se interpretan como trizas vítreas recristalizadas. Se reconocen, rodeados por la matriz, cristales fragmentados de cuarzo y feldespato, y fragmentos pumiceos. Un rasgo distintivo de los diques piroclásticos es la distribución seriada de los tamaños de sus componentes, en contraposición con los diques coherentes donde los fenocristales contrastan con la pasta afanítica determinando una distribución bimodal.

Desde el punto de vista químico, los diques piroclásticos clasifican como riolitas en el diagrama TAS y pertenecen a la serie de alto potasio. Presentan además una fuerte componente de la corteza superior con enriquecimiento en LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) y anomalías negativas de Ba, P y Ti respecto a la media de los basaltos centro-oceánicos. Los patrones de Tierras Raras normalizadas al Condrito C1 (Thompson, 1982) presentan una anomalía negativa de Eu con una tendencia de empobrecimiento hacia los elementos pesados; la relación La/LuN varía entre 10 y 20 mientras que la relación Eu/Eu\* presenta valores entre 0,08 y 0,03. Todas estas características químicas asemejan a los diques piroclásticos con las rocas extrusivas del CVM analizadas por Pankhurst y Rapela (1995).

### **Discusión y modelo de evolución para el CVM**

Como se ha mencionado previamente, el magmatismo -intrusivo y extrusivo- del CVM ha sido vinculado a procesos canalizados en fallas extensionales de orientación noroeste algunas de las cuales coinciden con antiguas fallas de basamento. Durante el Triásico se produjo un primer evento extensional producto del colapso del orógeno Gondwanico, a este evento fue vinculada la formación del enjambre longitudinal de diques traquiandesíticos

(González et al., 2016). En el Jurásico temprano el impacto de la pluma del Karoo habría producido una extensión generalizada con desarrollo de magmatismo basáltico, incluso ha sido relacionada a la apertura del Mar de Weddell (Elliot y Fleming, 2000; entre otros). Sin embargo, algunos autores no consideran necesaria la participación de una pluma mantélica ni la formación de un punto triple para explicar la actividad magmática jurásica de la Provincia Ígnea Karoo/Ferrar (Jourdan et al. 2004; Hastie et al. 2014; entre otros). Por otra parte, Rapela et al. (1995) destacaron la influencia del arco magmático activo en el borde pacífico de Sudamérica sobre los procesos magmáticos de la SLIP Chon Aike.

Las estructuras noroeste en el Macizo Nordpatagonico oriental habrían funcionado como fallas normales o de rumbo con una componente transtensional durante el Triásico y el Jurásico (Cicciarelli, 1981). Al encontrarlas albergando diques ígneos, presumiblemente mesozoicos, nos dan una idea de que al menos durante la intrusión de esos cuerpos ígneos habrían actuado como estructuras dilatacionales. Por lo tanto, estas estructuras noroeste podrían haber funcionado como canales de ascenso, emplazamiento y alimentación del vulcanismo mesozoico. Particularmente los diques piroclásticos podrían haber nutrido las erupciones que generaron los grandes depósitos piroclásticos del CVM. Estos depósitos serían consecuencia directa de una violenta desgasificación de las cámaras magmáticas corticales asistida por la actividad de las fracturas noroeste las cuales además generarían los depocentros para la acumulación de los depósitos. La actividad magmática posterior a esta masiva desgasificación presentaría un volumen de material más reducido y un estilo eruptivo menos violento dominado por cuerpos lávicos con escasa presencia de depósitos piroclásticos. Además, se habrían desarrollado cuerpos ígneos intrusivos de sección circular como domos y stocks que junto a los diques coherentes se asociarían verticalmente a los productos efusivos constituyendo por ejemplo los centros volcánicos descritos en la Sierra Grande y la Sierra de Paileman (Márquez et al., 2011; Strazzere et al., 2017). Todo este magmatismo presenta un fuerte control estructural a partir de las mismas fracturas noroeste por lo que es común encontrar diques con rellenos piroclásticos y coherente (lava) con la misma orientación. Por otra parte, por debajo del nivel de fragmentación el magma que rellenó los diques se habría mantenido como un cuerpo de lava coherente por lo que no sería raro encontrar eventualmente un mismo dique con variaciones texturales verticales entre texturas coherentes y piroclásticas. Los diques piroclásticos que habrían alimentado los mantos piroclásticos podrían estar en parte cubiertos por estos y aflorar solo en bloques elevados tectónicamente.

Los patrones geoquímicos de las rocas ácidas del CVM y la de los diques piroclásticos son similares sugiriendo una conexión genética entre ellos. Además, en ambos casos la geoquímica establece un marcado carácter cortical que, sumado al control estructural en un estado reológico frágil de la corteza y las particularidades del magmatismo descritas en este trabajo, vincularía al magmatismo del CVM a sistemas someros dentro de la corteza continental sudamericana.

### **Agradecimientos**

La realización de este trabajo fue posible gracias a los habitantes del área de Rincón de Paileman, Arroyo Los Berros y Arroyo Ventana quienes nos han permitido trabajar en sus propiedades. Este trabajo fue financiado con los proyectos PI UNRN 40 A 535 y PICT 1090-2017.

### **Referencias**

- Aguirre-Diaz, G.J. y Labarthe-Hernández, G. 2003. Fissure ignimbrites: Fissure-source origin for voluminous ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and its relationship with Basin and Range faulting. *Geology* 31 (9): 773-776.
- Almond, D.C. 1971. Ignimbrite vents in the Sabaloka cauldron, Sudan. *Geological Magazine*, 108 (2): 159-176.

- Aragón, E., Rodríguez, A.M.I. and Benialgo, A. 1996. A calderas field at the Marifil Formation, new volcanogenic interpretation, Norpatagonian Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 9: 321-328.
- Cortés, J. M. 1981. El sustrato pre-cretácico del extremo nordeste de la provincia del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 36 (3):217-235.
- Díaz Martínez, I., González, S.N. y de Valais, S. 2017. Dinosaur footprints in the Early Jurassic of Patagonia (Marifil Volcanic Complex, Argentina): biochronological and palaeobiogeographical inferences. *Geological Magazine*, 154 (4): 914-922.
- Elliot, D.H. y Fleming, T.H. 2000. Weddell triple junction: The principal focus of Ferrar and Karoo magmatism during initial breakup of Gondwana. *Geology* 28 (6): 539-542.
- Gonzalez, S.N., Greco, G.A., Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S., González, P.D. y Diaz, P.E. 2017. Middle Triassic trachytic lava flows associated with coeval dyke swarm in the North Patagonian Massif: a postorogenic magmatism related to extensional collapse of the Gondwanide orogen. *Journal of South American Earth Sciences*, 75: 134-143.
- Jourdan, F., Féraud, G., Bertrand, H., Kampunzu, A.B., Tshoso, G., Le Gall, B., Tiercelin, J.J. y Capiez, P. 2004. The Karoo triple junction questioned: evidence from Jurassic and Proterozoic Ar40/Ar39 ages and geochemistry of the giant Okavango dyke swarm (Botswana). *Earth and Planetary Science Letters* 222: 989– 1006.
- Malvicini, L. y Llambías, E. 1974. Geología y génesis del depósito de manganeso Arroyo Verde, provincia del Chubut, República Argentina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 185-202, Villa Carlos Paz.
- Márquez, M.J., Massaferró, G.I., Fernández, M.I., Menegatti, N. y Navarrete, C.R. 2011. El centro volcánico Sierra Grande: caracterización petrográfica y geoquímica del magmatismo extensional liásico, noreste de la Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (4): 555-570.
- Motoki, A.G., Mauro, C.G., Woldemar, I., Vargas, T., Motoki, K.F., Balmant, A. y Ramos, M.N. 2012. The pyroclastic dyke and welded crystal tuff of the Morro dos Gatos alkaline intrusive complex, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Escola de Minas*, 65 (1): 35-45
- Navarrete, C. y Márquez, M.J. 2014. Litofacies del volcanismo jurásico Riolítico en el complejo de domos “Tetas de Pineda”, Macizo de Somún Curá, Chubut, Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba. Actas: 1815-1816.
- Núñez, E., Bachmann, E.W., de R., I., Britos, A., Franchi, M., Lizuaín, A. y Sepúlveda, E. 1975. Rasgos geológicos del sector oriental del Macizo Somuncura, provincia de Río Negro, República Argentina. In: 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Buenos Aires, Actas: 247–266.
- Pankhurst, R.J., Leat, P.T., Sruoga, P., Rapela, C.W., Márquez, M., Storey, B.C., Riley, T.R. 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica; a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81, 113–136.
- Pankhurst, R., Riley, T., Fanning, C. y Kelley, S. 2000. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Riley, T.R., Leat, P.T., Pankhurst, R.J. y Harris, C. 2001. Origins of Large Volume Rhyolitic Volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by Crustal Melting. *Journal of Petrology* 42 (6): 1043–1065.
- Strazzere, L., Gregori, D.A., Benedini, L., Marcos, P. y Barros, M. 2017. Edad y petrología del Complejo Volcánico Marifil en la Sierra de Pailemán, Comarca Nordpatagónica, Río Negro, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. Sesión Técnica 8, Actas: 145-150.
- Strazzere, L., Gregori, D.A., Benedini, L., Marcos, P., Barros, M., Galdames, M. y Pavon Pivetta, C. 2018. The Puesto Piris Formation: Evidence of basin-development in the North Patagonian Massif during crustal extension associated with Gondwana breakup. *Geoscience Frontiers* 10 (1): 299-314.

- Thompson, R.N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology* 18: 49-107.
- Winter, C., Breitzkreuz, C. y Lapp, M. 2008. Textural análisis of a Late Paleozoic coherent-pyroclastic rhyolitic dyke system near Burkerdorf (Erzgebirge, Saxony, Germany). En Thomson y Petford (eds), *Structure and Emplacement of High-Level Magmatic Systems*. Geological Society of London, Special Publications, 302, 199–221.

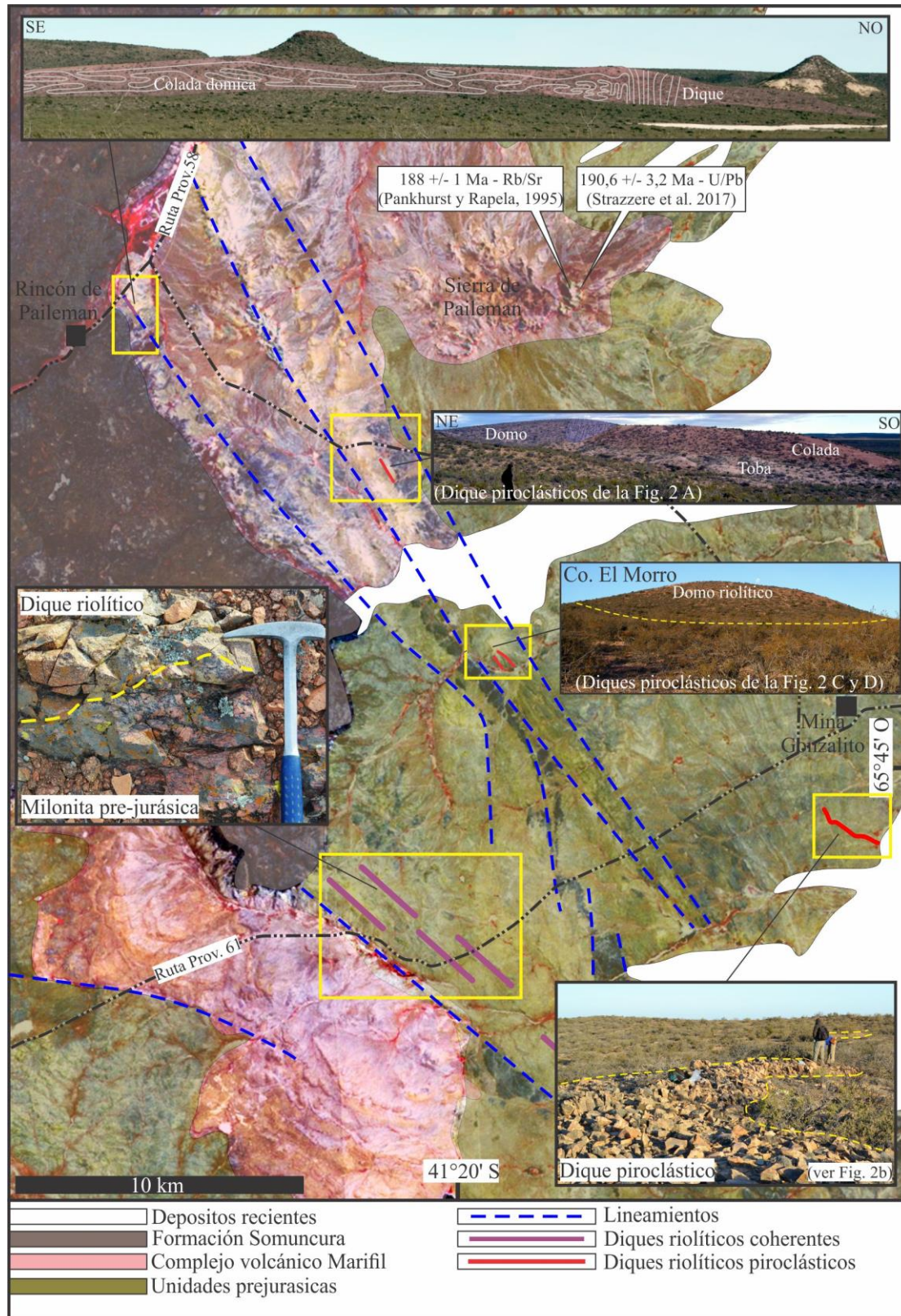


Figura 1: Mapa de ubicación de las localidades descritas en el texto donde afloran diques piroclásticos asignables al CVM. Se incluyen fotografías de campo en las cuales se presentan los cuerpos de rocas ígneas y piroclásticas que se reconocen. Se indican además los principales lineamientos del área y las edades absolutas obtenidas sobre rocas del CVM.

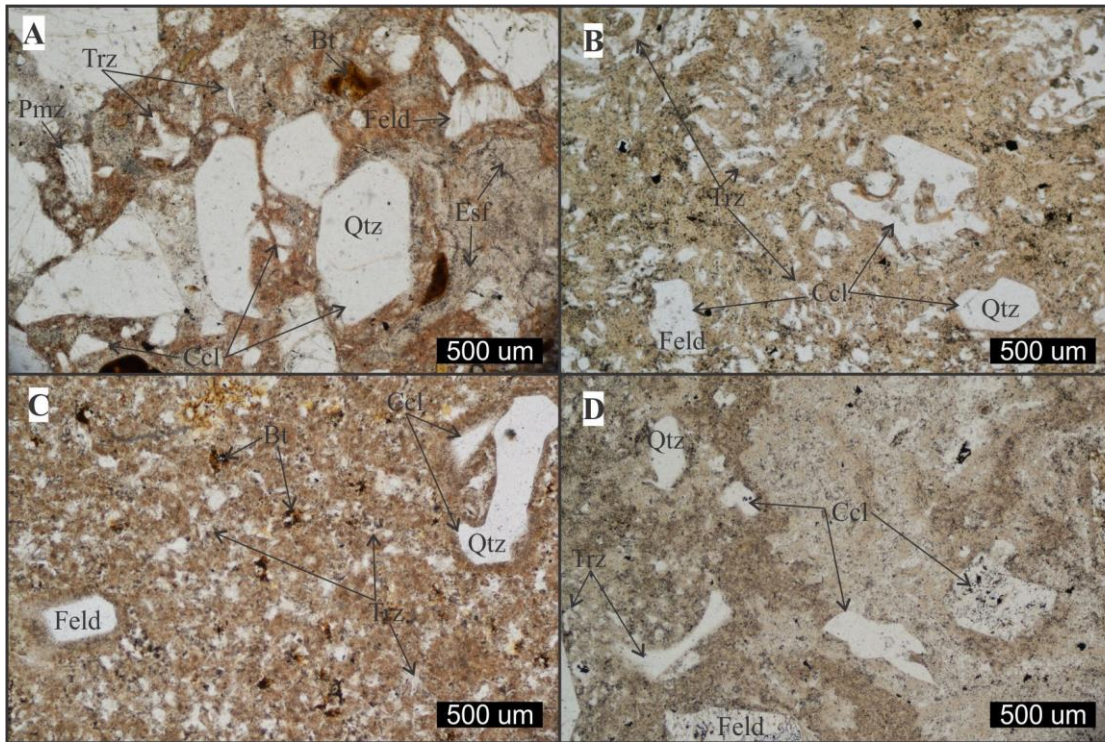


Figura 2: Fotomicrográficas de cuatro diques piroclásticos diferentes reconocidos como parte del CVM. En (A) puede verse como la fragmentación de los componentes primarios genera una amplia variación de la granulometría; también se advierte como la matriz vítrea a recrystalizado formando arreglos de tipo esferulíticos. En (B), (C) y (D) se observan las formas cuspidadas de las trizas vítreas remplazadas completamente por sílice (cuarzo). Abreviaturas: cuarzo (Qtz); feldespato (Feld); biotita (Bt); pómez (Pmz); esferulitas (Esf); trizas (Trz); cristaloclastos (Ccl).

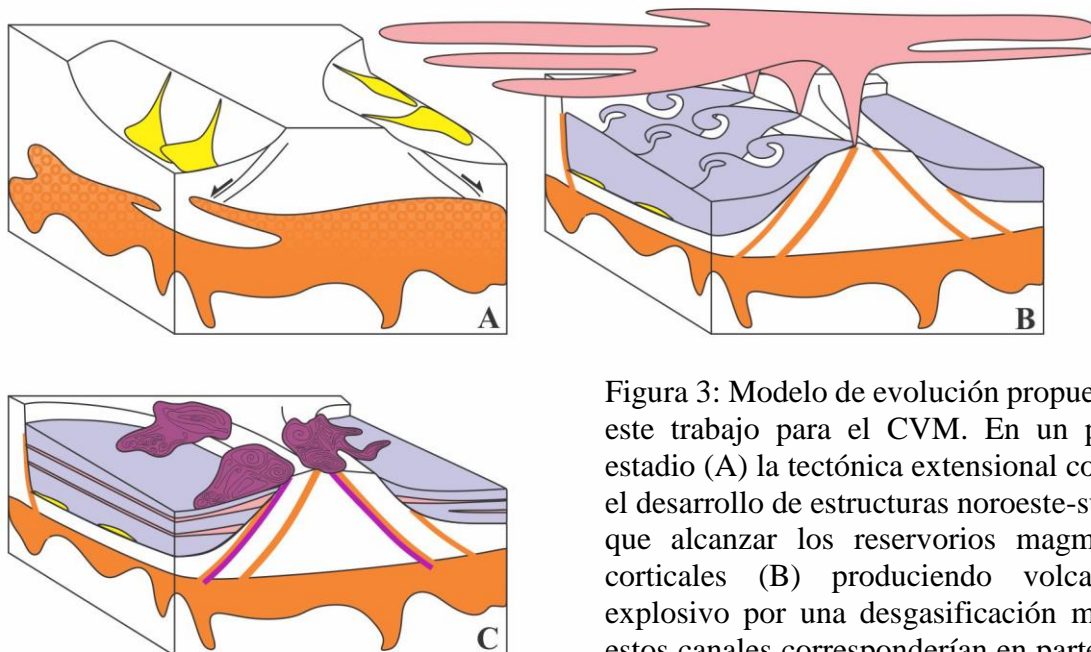


Figura 3: Modelo de evolución propuesto en este trabajo para el CVM. En un primer estadio (A) la tectónica extensional controla el desarrollo de estructuras noroeste-sudeste que alcanzan los reservorios magmáticos corticales (B) produciendo volcanismo explosivo por una desgasificación masiva; estos canales corresponderían en parte a los diques piroclásticos. Finalmente (C), el magmatismo menos explosivo se canaliza hacia la superficie utilizando canales de ascenso con la misma orientación que los de las etapas previas formando domos y coladas.