



**XX CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO**  
**GEOLOGÍA, PRESENTE Y FUTURO**  
**Agosto de 2017 | San Miguel de Tucumán**



SESIÓN TÉCNICA 8

# VOLCANOLOGÍA

Coordinadores

PABLO GROSSE  
IVÁN PETRINOVIC

## ESTUDIO TEXTURAL Y MORFOSCÓPICO DE MUESTRAS DE CENIZAS DEL VOLCÁN CALBUCO CAÍDAS EN SAN MARTÍN DE LOS ANDES (ARGENTINA) DURANTE LA ERUPCIÓN DE 2015

Damià BENET<sup>1</sup>, Ariana CARRAZANA<sup>1</sup>, Domingo GIMENO<sup>1</sup>, Rubén KALMBACH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mineralogía, Petrología y Geología Aplicada. Universidad de Barcelona, España.  
Carrer Martí i Franquès s/n, 08028, Barcelona, España. E-mail: damiabm@hotmail.com

<sup>2</sup> Grupo de estudios Ambientales (GEA). Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (IPATEC).  
Centro Regional Universitario Bariloche. Universidad Nacional del Comahue, Argentina.  
Quintral 1250, 8400, Bariloche, Río Negro, Argentina.

### RESUMEN

El pulso eruptivo del volcán Calbuco, 23 de abril de 2015, emitió una nube de ceniza que se dispersó en dirección NE y se depositó parcialmente en varias localidades. Dos muestras prístinas de ceniza volcánica procedentes de San Martín de los Andes (~140 km respecto del cráter) son estudiadas en base a su textura y morfoscopia. Los análisis de granulometría muestran buena selección granulométrica (pico principal en ~110µm de diámetro). La cantidad de fracción fina (<4µm) es significativa con un 5,76% y 7,67% para cada muestra, y supone un riesgo de salud principalmente en el sistema respiratorio. Los análisis SEM son claves para caracterizar las cenizas: el mayor componente de las muestras es el vidrio y en menor proporción se observan fragmentos minerales (plagioclasa y óxidos de hierro); las partículas vítreas están vesiculadas y fragmentadas, a menudo con epitaxias y/o agregados adheridos en su superficie; la morfología *blocky*, caras planares que intersectan de forma perpendicular, es la más abundante de las partículas y es indicativa de deformación frágil durante su formación, la de tipo gota y plaqueta son más escasas y se generan por interacción agua-magma. Los espectros EDS se utilizaron para la identificación cualitativa de fases minerales en la ceniza (fenocristales y solubles principalmente).

**Palabras clave:** Granulometría, mecanismos eruptivos, tipo *blocky*, hidromagmatismo.

### ABSTRACT

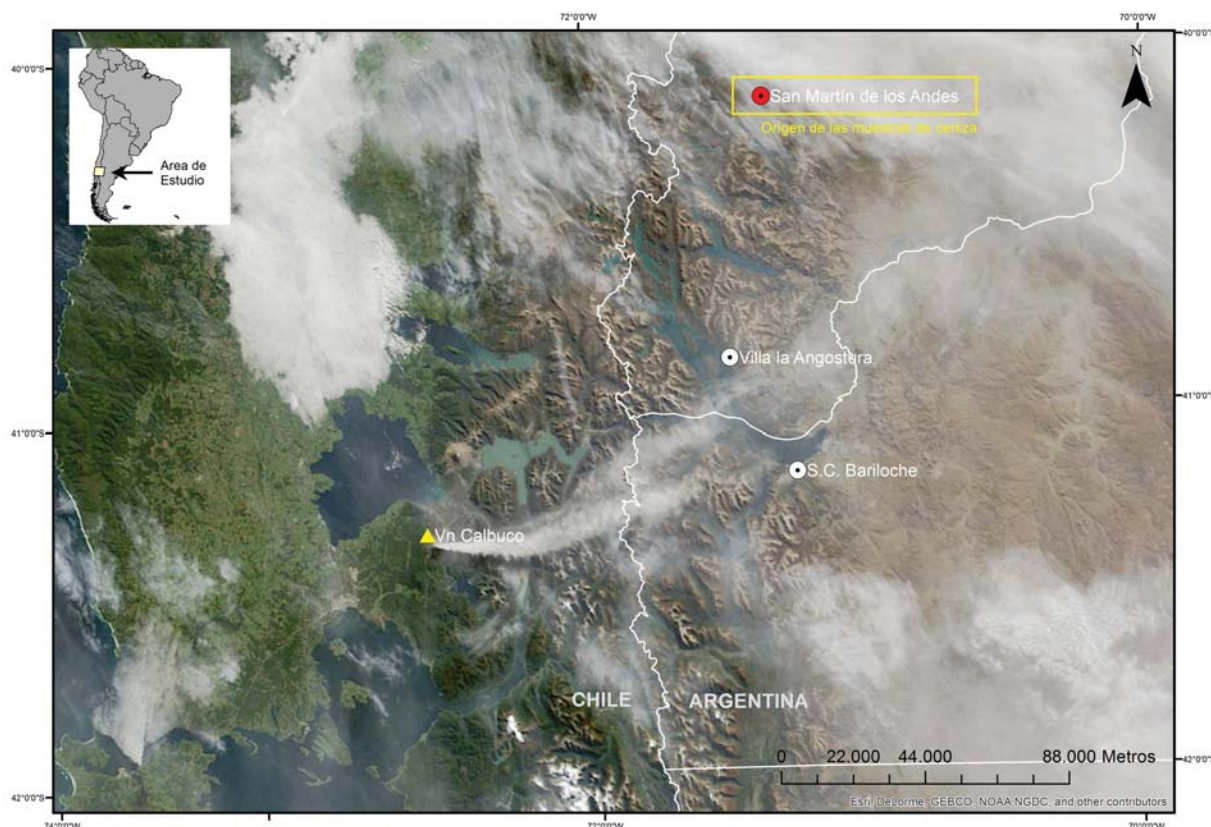
*Textural and morphoscopic study of volcanic ash from the Calbuco volcano fallen in San Martín de los Andes (Argentina) during the eruption of 2015.* On April 23<sup>rd</sup> 2015, the Calbuco volcano emitted an ash cloud that spread towards the NE and deposited on several localities. Two pristine ash samples from San Martín de los Andes (~140 km far away from the crater) are studied based on texture and morphoscopy. The grain-size analysis show well sorting (main peak at ~110µm diameter). The amount of fine fraction (<4µm) is significant being up to 5,76% and 7,67% for each sample, and it represents a respiratory health hazard. SEM analysis are crucial to characterize ash: glass is the main component and in a minor extent mineral fragments (plagioclase and Fe-oxides); the glassy particles are vesicular and fragmented usually covered by epitaxis and/or aggregates; the *blocky* type is defined by planar edges intersecting perpendicularly, it is abundant among the particles and it is formed due to brittle deformation, whereas drop-like and plate-like result of magma-water interaction. The EDS spectra allowed qualitative mineral identification within the ash (mainly phenocrysts and soluble phases).

**Keywords:** Grain-size, eruption mechanisms, *blocky*, hydromagmatism.

## INTRODUCCIÓN

El 22 de abril de 2015 a las 21:04 GMT dio inicio el primer pulso eruptivo sostenido del volcán Calbuco con una columna eruptiva que llegó a los 15 km de altura (Valderrama 2015). Después de una fase de relajación de 5h, entrado el 23 de abril, un segundo pulso más energético alcanzó los 17 km de columna eruptiva (Bertin et al. 2015). La caída de tefra y su deposición se hizo patente en el transcurso del día 22 y con mayor importancia el 23 de abril, cuando se emitió la mayor cantidad de material piroclástico. La pluma volcánica se dispersó en dirección noreste (Reckziegel 2016) afectando numerosas localidades entre ellas, San Martín de los Andes (Fig. 1), donde se concentra el presente trabajo. El Calbuco ( $41^{\circ}20'S-72^{\circ}37'W$ ) es un estratovolcán localizado en los Andes del Sur de Chile. Forma parte de la cordillera andina, situado en la Zona Volcánica Sur (SVZ) que comprende 60 edificios volcánicos de composición predominante basáltica y andesítico basáltica y reposa sobre una corteza continental de 30 km de espesor (Stern 2004).

Es conocido como uno de los volcanes más activos y que representa mayor peligrosidad en los Andes chilenos (Castruccio y Clavero 2015). Su comportamiento durante el Holoceno fue explosivo y el estilo eruptivo predominantemente subpliniano (Moreno et al. 2006). El objeto de estudio corresponde a cenizas de la erupción más reciente del Calbuco (2015). Se describen un conjunto de características texturales que dan pie a varias consideraciones magmáticas y de riesgo para la salud. Para su determinación, son claves los pioneros estudios texturales de Wohletz y Krinsley (1982) que permitieron determinar ciertos mecanismos de formación, transporte y deposición de las cenizas, así como el de Heiken y Wohletz (1985) que señalaron los rasgos asociados a hidromagmatismo. Las cenizas muestreadas pertenecen a un depósito distal (~140 km en línea recta entre el cráter y el área de recolección), lo que supone el reflejo de la fracción más fina, y consecuentemente es susceptible de tener una mayor proporción de partículas respirables. Además, cuanto más finas son las partículas, mayor es la adsorción de los halógenos y especies de azufre (Rose 1977; Oskarsson 1980).



**Figura 1.** Imagen satelital de la nube de cenizas que se desplazó en dirección NE afectando un conjunto de localidades, entre las cuales San Martín de los Andes. Fecha de imagen: 24/04/2017, alrededor del mediodía. Fuente: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=85779>



**Tabla 1.** Volumen de muestra (%) para distintas fracciones de grano que representan todo el rango granulométrico analizado. Se han añadido dos fracciones críticas en base a potenciales problemas de salud humana.

Volumen Absoluto %									
Granulometría (µm)	0.04-5	5-10	10-15	15-65	65-150	150-200	>200	Fracción (Horwell 2007)	
SAM-1	6.63	6.60	4.42	17.39	55.33	9.39	0.25	Fracción (Horwell 2007)	Respirable <4 µm
SAM-2	9.00	10.30	6.54	16.01	51.36	6.70	0.09		Ultra-fina <2.5 µm

## METODOLOGÍAS

### Recolección de muestras de cenizas

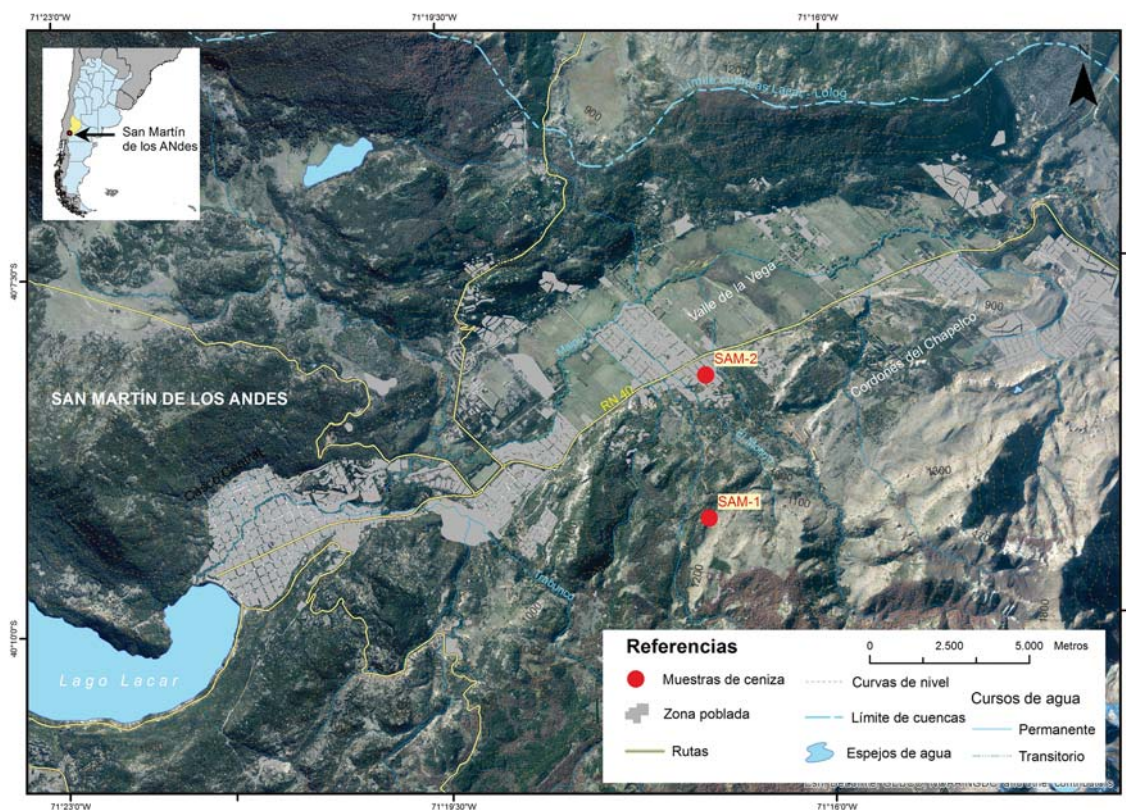
Las muestras SAM-1 y SAM-2 fueron muestreadas el mismo día 23 de abril cuando se produjo el segundo pulso eruptivo, sobre una superficie lisa y limpia, y son por lo tanto prístinas. SAM-1 se muestreó a las 18:00 GMT en una extensión de campo limitada con coordenadas 40°08'17.43"S y 71°17'7.00"O. SAM-2 se recolectó a las 16:00 GMT a techo de un establecimiento turístico con coordenadas 40°08'15.92"S y 71°17'04.94"O (Fig. 2). Durante la recolección, aún había partículas de ceniza en estado de suspensión.

### Caracterización física de las cenizas

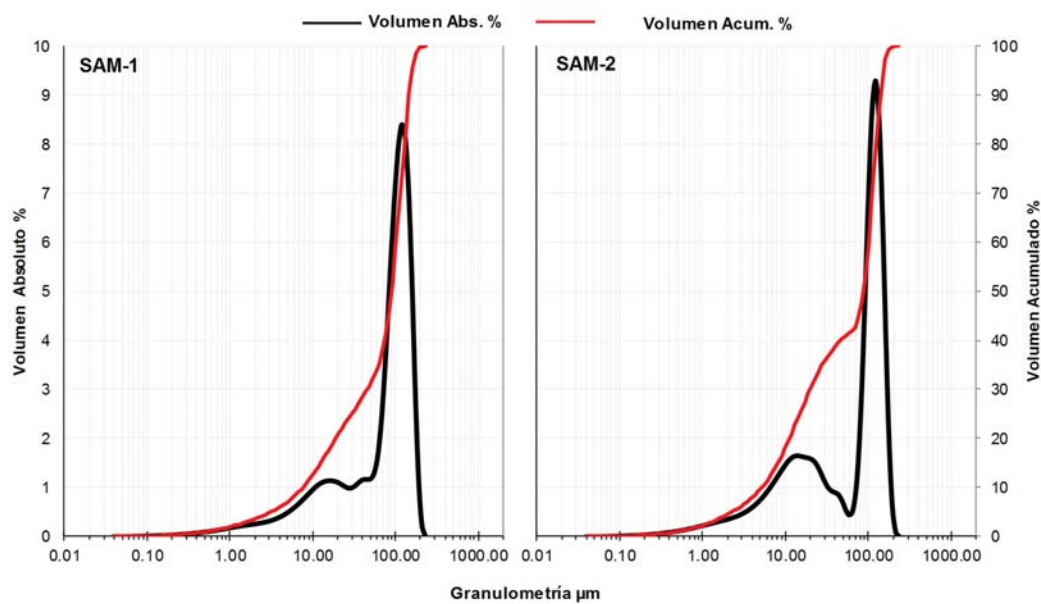
El tamaño de grano es una de las características físicas más evidentes de la ceniza. Para su determinación, se utilizó un difractor láser LS230 Beckman Coulter. Consiste en el método más competente en análisis granulométricos (GSA) (Horwell 2007). La técnica cubre un rango de 0.04 µm a 2 mm de diámetro de partículas.

### Caracterización textural y morfoscóptica

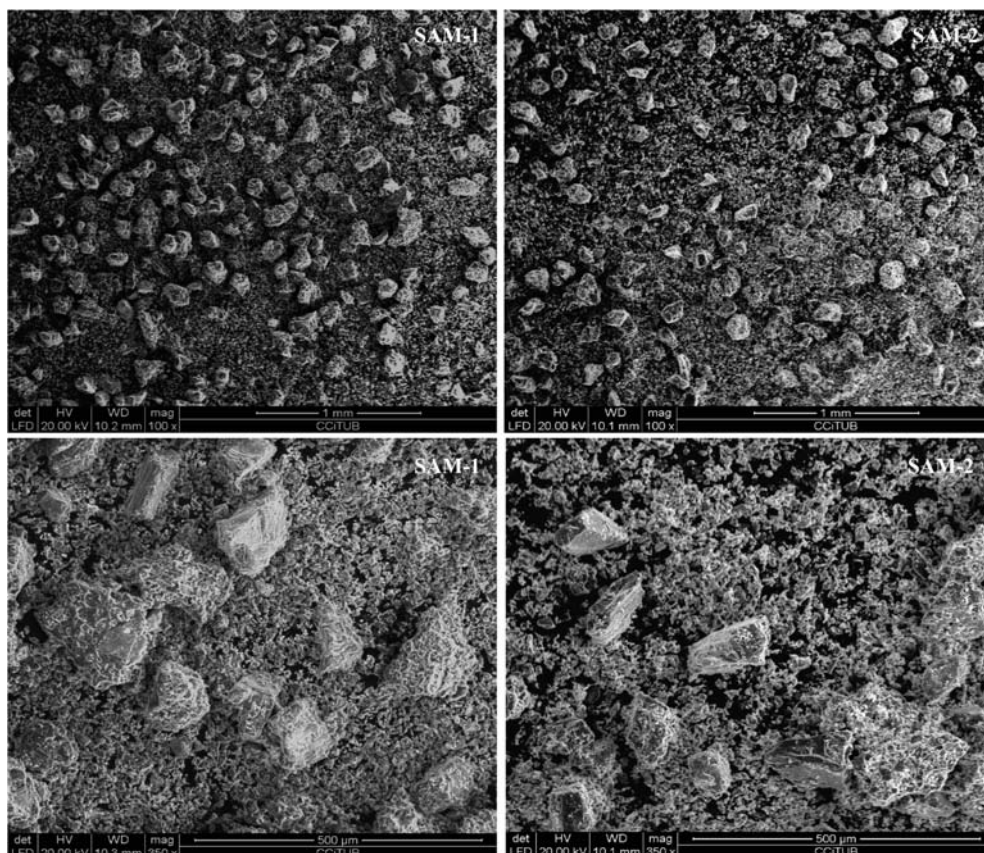
Las cenizas se estudiaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido y Espectrometría por Energía Dispersiva (SEM-EDS) en un microscopio ambiental tipo FEI Quanta 2000 ESEM FEG. Las muestras no fue-



**Figura 2.** Ubicación de los dos puntos de muestreo en San Martín de los Andes.

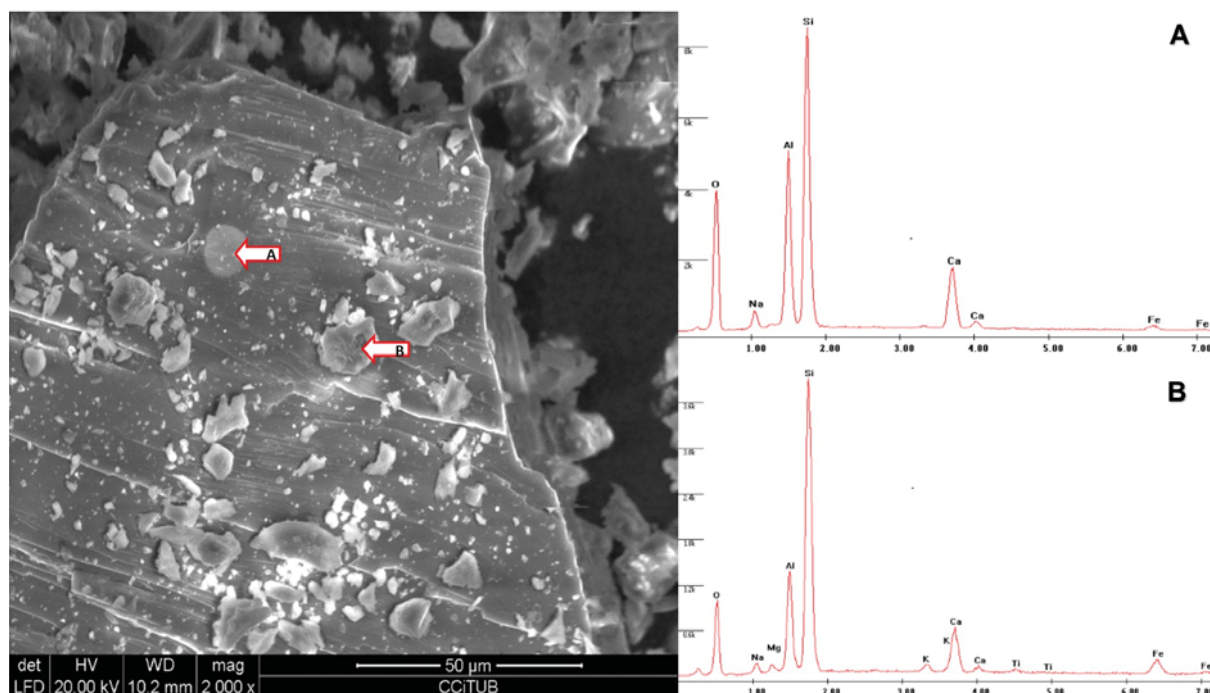


**Figura 3.** A la izquierda, histogramas de curvas de frecuencia y frecuencia acumulada para SAM-1. A la derecha, para SAM-2



**Figura 4.** Imágenes SEM LFD a distinta escala de ambas muestras. Se puede apreciar la población mayoritaria ( $\sim 120\mu\text{m}$ ) y la población fina de menos abundancia. La selección granulométrica es buena.





**Figura 5.** Imagen SEM LFD de plagioclase con macla polisintética. A) Su espectro EDS muestra dos picos principales de Al y Si, y uno relativamente más bajo de Ca que son coherentes con la estequiometría del mineral 1:2:2 de Ca, Al and Si, respectivamente. B) Espectro EDS de una partícula vítrea adherida en la superficie de la plagioclase. El espectro también recoge información del cristal del sustrato debido al efecto falda o campana. Figura 6. Imagen SEM BSD de una partícula de titanomagnetita en contacto limpio con una partícula vítrea mucho más oscura. El espectro muestra picos de Fe, O, Ti y en menor proporción Mg. Los picos no etiquetados (Al, Si) son atribuidos al efecto falda.

ron metalizadas para evitar cualquier tipo de transformación. El SEM-EDS dispone de dos detectores: el de campo ancho (LFD) se usó para el estudio morfooscópico; y el de electrones retrodispersados (BSD).

## RESULTADOS

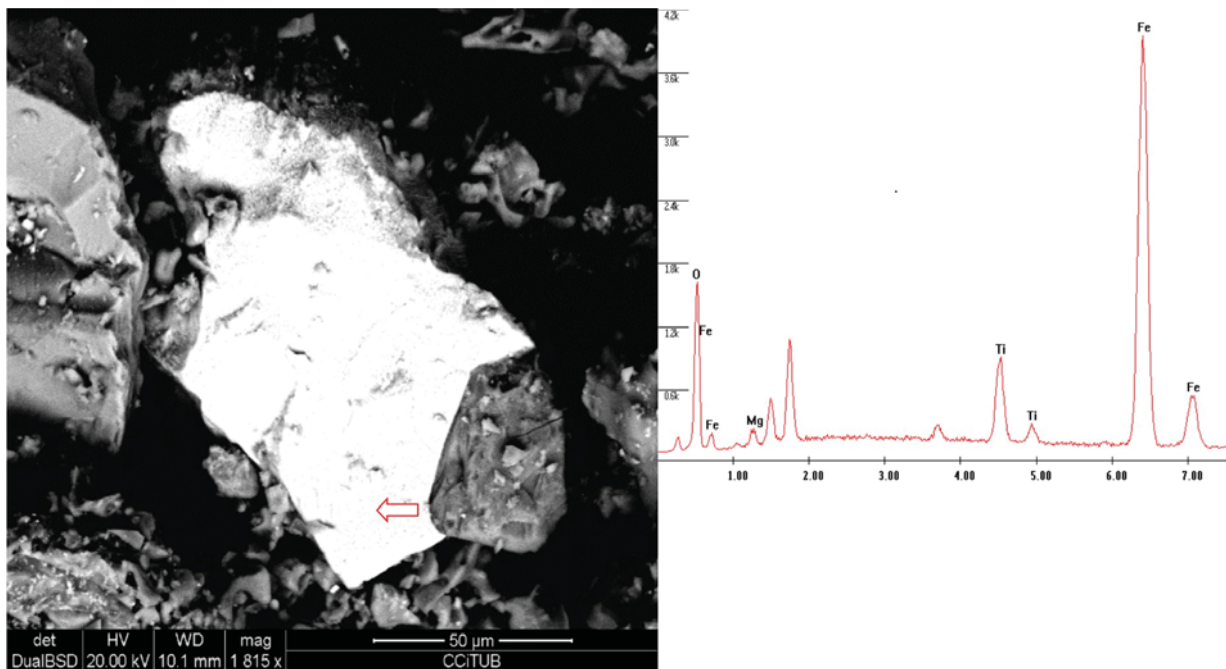
### Análisis granulométricos (GSA)

Los datos obtenidos de granulometría están expresados en curvas de frecuencia y en curvas de frecuencia acumulada (Fig. 3). La tipología de las muestras es bimodal; se caracteriza por un pico principal y uno relativamente inferior. Aun así, los histogramas muestran una convexidad adicional entre el pico principal y el secundario, más pronunciado en SAM-1. La granulometría dominante de ambas muestras se encuentra alrededor de 120 µm, en concordancia con un informe técnico presentado a Protección Civil de Villa La Angostura (Outes et al. 2015). Esta fracción mayoritaria es coherente con una buena selección granulométrica, fruto de la distancia recorrida por la nube de cenizas entre el foco eruptivo y el punto de muestreo. Un tratamiento típico de los datos granulométricos es representarlos en fracciones (Tabla 1). La fracción fina de la muestra SAM-2 tiene más vo-

lumen absoluto (%) que SAM-1. Esta variación se atribuye al efecto del relieve que obstaculiza las partículas más gruesas en el alto topográfico (SAM-1) y por consiguiente se concentran partículas más finas en el fondo del valle (SAM-2). La fracción fina, <5 µm, es de especial interés puesto que refleja aspectos como el estilo de la erupción (Walker 1971), y conlleva un riesgo ambiental y de salud humana. En términos generales, las partículas <15 µm pueden entrar en el sistema respiratorio a través de la vía nasal. Aquellas partículas <10 µm, rango denominado fracción torácica, pueden entrar en los bronquios y provocar problemas pulmonares como irritación, inflamación, asma o bronquitis. La fracción respirable comprende partículas <4 µm, su tamaño les permite penetrar a la zona alveolar desencadenando enfermedades crónicas como silicosis. El intervalo ultra-fino, <2.5 µm, y nanopartículas, <0.5 µm, aumentan aún más el potencial de desarrollar enfermedades cardiorespiratorias (Howell 2007).

### Microscopía Electrónica de Barrido y Espectrometría por Energía Dispersiva (SEM-EDS)

El análisis de Microscopía electrónica de barrido (SEM) con microanalizador de dispersión de energías

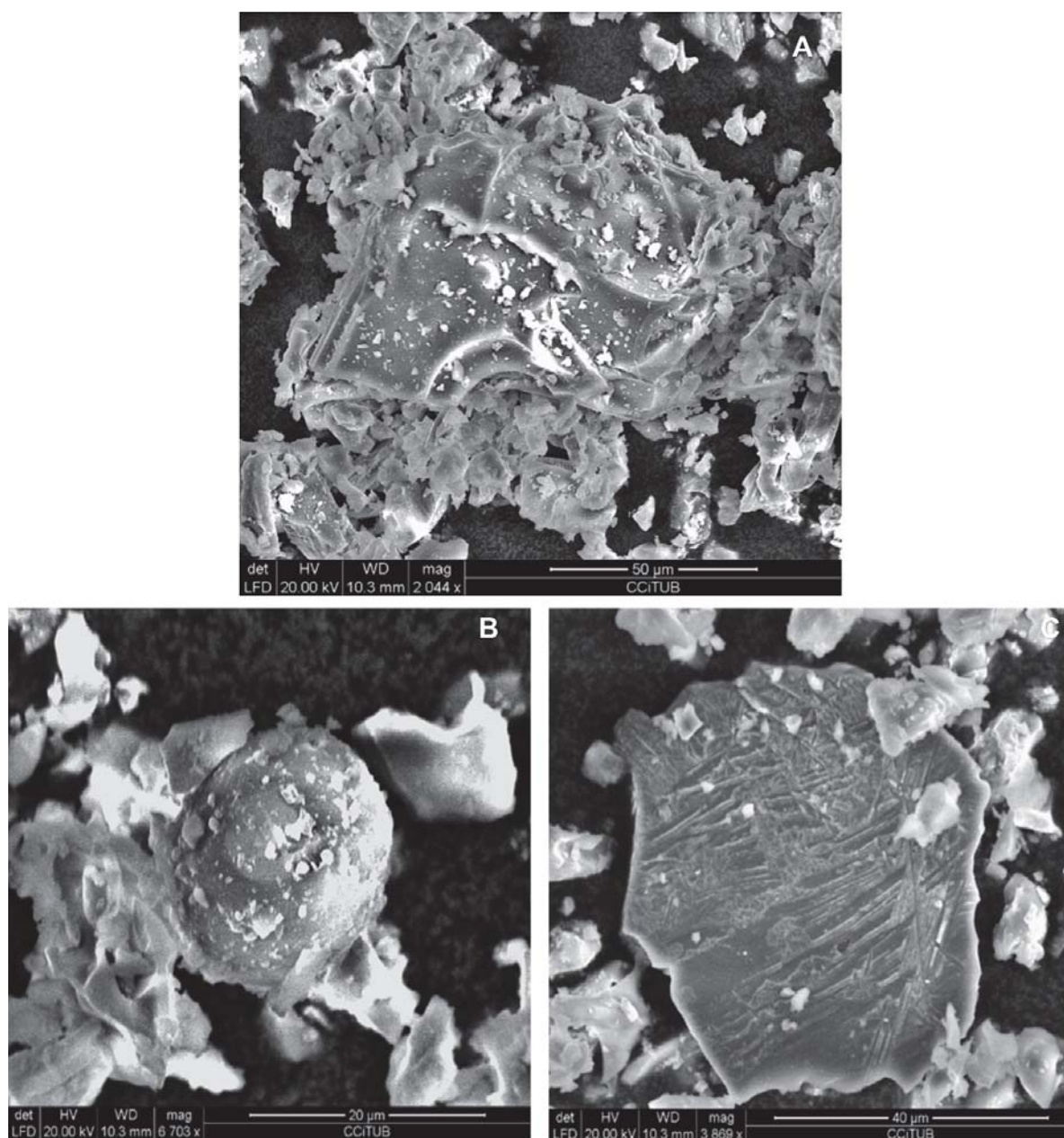


**Figura 6.** Imagen SEM BSD de una partícula de titanomagnetita en contacto limpio con una partícula vítrea mucho más oscura. El espectro muestra picos de Fe, O, Ti y en menor proporción Mg. Los picos no etiquetados (Al, Si) son atribuidos al efecto falda.



**Figura 7.** A) Imagen SEM LFD de una partícula vítrea con una vesícula relictta conservada íntegramente. En cambio, en B) cada concavidad representa la ruptura de una vesícula.



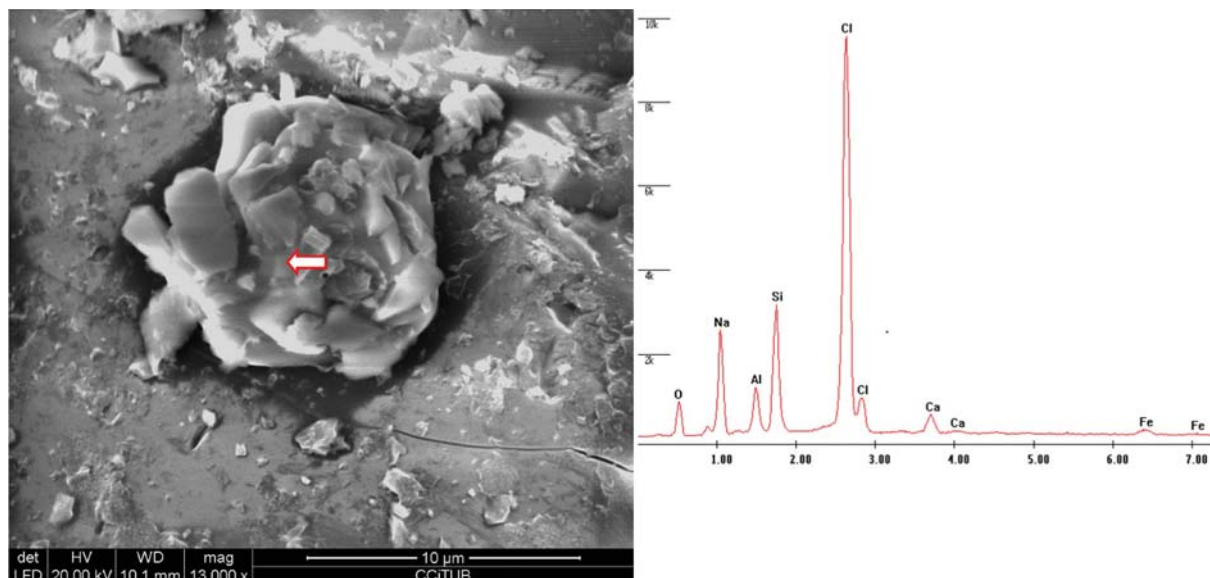


**Figura 8.** A) Imagen SEM LFD de una partícula con morfología tipo blocky. B) Imagen LFD de una partícula de tipo gota. C) Imagen LFD de una partícula de tipo plaqueta.

(EDS) es muy útil para la caracterización de ceniza volcánica puesto que da información acerca de (1) la granulometría y selección granulométrica; (2) los componentes que forman parte de la ceniza; (3) la morfoscopía de las partículas; y (4) la identificación cualitativa de fases minerales. (1) Mediante el análisis SEM se observan partículas del tamaño dominante ( $\sim 120 \mu\text{m}$ ) y se hace evidente la existencia de una población minoritaria de fondo más fina ( $\sim 15 \mu\text{m}$ ) (Fig. 4). (2) El principal com-

ponente de la ceniza es el vidrio. En mucha menor abundancia, aparece plagioclasa, reconocible por su composición química, hábito, caras euédrales y macla según ley de albita (Fig. 5), y óxidos de hierro como la titanomagnetita e ilmenita, destacan por su luminosidad en imágenes BSD y sus espectros EDS (Fig. 6). Las partículas vítreas presentan superficies lisas y forma de espícula tricúspide (Fig. 7A; Fig. 7B) a consecuencia de la nucleación de burbujas y posterior fracturación en su forma-





**Figura 9.** Imagen SEM LFD de una epitaxia de halita adherido en la superficie de una partícula atravesada por una pequeña fractura. La halita se ha desarrollado en múltiples facetas cúbicas intercrecidas. El espectro EDS muestra dos picos pronunciados de Cl y Na, especialmente el primero, más los valores correspondientes al fondo geoquímico de la partícula sustentadora.

ción. La alta vesicularidad es un indicio de erupciones con elevados contenidos en gases magmáticos exsueles y por lo tanto explosivas. Los análisis EDS del vidrio dan una idea aproximada de la composición del magma (Fig. 4B) (3) La clasificación de partículas acorde con su morfoscopía (Wohletz y Heiken 1992) proporciona información sobre el estilo y dinámica eruptiva: *blocky* (Fig. 8A), es el tipo más recurrente en ambas muestras y se define por superficies planares o curvoplanares que intersectan de forma perpendicular; el tipo en forma de gota (Fig. 8B), se caracteriza por pequeñas masas globulares; y la forma de plaqueta (Fig. 8C), presenta morfología laminar. Estos dos últimos tipos fueron observados raramente solo en la muestra SAM-2. Cada tipo refleja procesos y condiciones de formación distintos: el tipo *blocky*, se produce por deformación frágil durante la fragmentación hidrovulcánica; el tipo gota, resulta de la interacción del magma con agua y/o vapor de agua; y el tipo plaqueta, deriva de la interacción de magmas vesiculados con agua externa (Wohletz 1983). (4) Ocasionalmente se constatan minerales adheridos en la superficie de las partículas, generalmente solubles como sulfatos y cloruros tales como la halita (Fig. 9).

## CONCLUSIONES

1. El mayor volumen de fracción fina de la muestra de ceniza SAM-2 respecto SAM-1 se atribuye al efecto de la topografía durante su deposición: SAM-1 pertenece a un alto topográfico donde las partículas gruesas tienden a ser bloqueadas, por consiguiente, en el fondo de valle, donde SAM-2 fue muestreada, la concentración de partículas finas aumenta.
2. Existe una fracción significativa de partículas respirables y/o ultrafinas.
3. La elevada vesicularidad de las partículas vítreas, reflejo de un alto contenido en volátiles en el magma, indica que el nivel de exsolución, a conducto abierto era somero.
4. La presencia de partículas tipo *blocky*, de carácter altamente vesiculado, indican que la presencia de agua supergénica contribuyó a la fragmentación, en el curso de la erupción. La interacción agua-magma queda también indicada por las partículas tipo gota y plaqueta.

## AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Sedimentología de la Universidad de Barcelona por la colaboración con los ensayos granu-

lométricos. A los Centros Científicos y Tecnológicos (CCiT) de la Universidad de Barcelona por el soporte para la realización de análisis mediante SEM-EDS. A la Dra. Elizabeth Rovere a través de la red GEVAS-Argentina, quien gestionó los contactos con el Sr. Eduardo De-tang quien amablemente tomó la muestra SAM-1. Al Geólogo Guillermo Fernández, Jefe de División Diagnóstico Ambiental de la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba, Argentina; quien gestionó los permisos para el transporte de la ceniza SAM-2 hacia Barcelona.

#### LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bertin, D., Amigo, A., Mella, M., Astudillo, V., Bertin, L. y Bucci, F. 2015. Erupción del volcán Calbuco 2015: estratigrafía eruptiva y volumen involucrado. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Resúmenes.
- Castruccio, A. y Clavero, J. 2015. Lahar simulation at active volcanoes of the Southern Andes: implications for hazard assessment. *Natural Hazards* 77(2): 693-716.
- Heiken, G. y Wohletz, K. 1985. Volcanic ash. University Press of California, Chicago, Harvard & MIT. 258 p, Londres.
- Horwell, C. 2007. Grain-size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard. *Journal of Environmental Monitoring* 9: 1107-1110.
- Moreno, H., Naranjo, J. y Clavero, J. 2006. Generación de lahares calientes en el volcán Calbuco, Andes del sur de Chile (41,3°S). XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile (CD).
- Óskarsson, N. 1980. The interaction between volcanic gases and tephra: fluorine adhering to tephra of the 1970 Hekla eruption. *Journal of Volcanology* 8: 251-266.
- Outes, V., Villarosa, G., Beigt, D. y Delménico, A. 2015. Erupción del Volcán Calbuco 2015. Informe técnico. Laboratorio de Tefrocronología y Limnogeología. Grupo de Estudios Ambientales. INIBIOMA. Conicet-UNCo. Abril 2015 (inédito), 17 p. Universidad Nacional de Comahue.
- Reckziegel, F., Bustos, E., Mingari, L., Báez, W., Villarosa, A., Folch, E., Collini, J., Viramonte, J., Romero, J. y Osorio, S. 2016. Forecasting volcanic ash dispersal and coeval resuspension during the April-May 2015 Calbuco eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 321: 44-57.
- Rose, W. 1977. Scavenging of volcanic aerosol by ash: Atmospheric and volcanologic implications. *Geology* 5: 621-624.
- Stern, C.R. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geologica de Chile* 19 (1): 78-81.
- Valderrama, O., Franco, L. y Gil-Cruz, F. 2015. Erupción intempestiva del volcán Calbuco, abril 2015. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena. Resúmenes.
- Walker, G. 1971. Grain-Size Characteristics of Pyroclastic Deposits. *The Journal of Geology* 79 (6): 696-714.
- Witham, C., Oppenheimer, C. y Horwell, C. 2005 Volcanic ash-leachates: a review and recommendations for sampling methods 141 (3-4): 299-326.
- Wohletz, K.H. 1983. Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: Grain-size, scanning electron microscopy, and experimental studies, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 17, 31-63.
- Wohletz, K. y Heiken, G. 1992. Volcanology and Geothermal Energy. Berkeley: University of California Press, 432 p.
- Wohletz, K. y Krinsley, D. 1982. Scanning Electron Microscopy of Basaltic Hydromagmatic Ash. Los Alamos Scientific Laboratory.