

# Estudio histórico de eventos de re-suspensión de cenizas volcánicas reportados por el VAAC Buenos Aires

Nota Técnica SMN 2026-213

**Eliana Vazquez<sup>1</sup>, Soledad Osores<sup>1</sup>, Leonardo Mingari<sup>2</sup>, Juan Augusto Díaz<sup>3</sup>, Pablo Forte<sup>4</sup> y Walter Báez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Dirección de Productos de Modelación Ambiental y Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

<sup>2</sup> Geociencias Barcelona (GEO3BCN), España.

<sup>3</sup> Coordinación de Pronósticos Inmediatos, Dirección de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

<sup>4</sup> Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), CONICET, Buenos Aires, Argentina.

<sup>5</sup> Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO), Universidad Nacional de Salta (UNSa), CONICET, Argentina.

Junio 2026



### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

Los depósitos de ceniza generados tras erupciones volcánicas pueden persistir en la superficie durante años y, bajo condiciones de vientos intensos, ser removilizados mediante erosión eólica y reinyectados a la atmósfera. Este fenómeno denominado resuspensión, genera impactos en la salud humana, las actividades socioeconómicas y la seguridad del transporte terrestre y la navegación aérea.

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar y analizar los eventos de resuspensión ocurridos en el área de responsabilidad del VAAC Buenos Aires a lo largo de un período histórico. Para entender la dinámica espacial y temporal de estos eventos, se analizaron mensajes VAAs (Volcanic Ash Advisory) emitidos entre enero de 2006 y octubre de 2025. Utilizando palabras clave específicas de los VAA, se identificaron 234 eventos de resuspensión ocurridos entre octubre de 2011 y septiembre de 2025. Los resultados muestran que la frecuencia y distribución temporal de la resuspensión varían según la latitud y están condicionadas por los patrones meteorológicos. Desde los 30° S hacia mayores latitudes, los eventos ocurren predominantemente durante el verano y el otoño, destacándose la intensa actividad de los volcanes Puyehue-Cordón Caulle y Calbuco. Por el contrario, en latitudes menores a 30° S (asociados a fuentes como Sabancaya, Ubinas y Cerro Blanco), los eventos se concentran principalmente en invierno y primavera. En conclusión, caracterizar las fuentes y su estacionalidad brinda un soporte fundamental a las actividades operativas del VAAC Buenos Aires y contribuye para optimizar el pronóstico operativo.

## Abstract

Ash deposits generated by volcanic eruptions can remain on the surface for years and, under conditions of strong winds, be remobilized through wind erosion and re-released into the atmosphere. This phenomenon, known as resuspension, has impacts on human health, socioeconomic activities, and the safety of ground transportation and air navigation.

The objective of this study is to characterize and analyze resuspension events that have occurred within the area of responsibility of the Buenos Aires VAAC over a historical period. To understand the spatial and temporal dynamics of these events, Volcanic Ash Advisories (VAAs) issued between January 2006 and October 2025 were analyzed. Using specific keywords from the VAAs, 234 resuspension events occurring between October 2011 and September 2025 were identified.

The results show that the frequency and temporal distribution of resuspension vary with latitude and are influenced by meteorological patterns. From 30° S toward higher latitudes, events occur predominantly during summer and fall, with intense activity from the Puyehue-Cordón Caulle and Calbuco volcanoes standing out. In contrast, at latitudes below 30° S (associated with sources such as Sabancaya, Ubinas, and Cerro Blanco), events are concentrated mainly in winter and spring. In conclusion, characterizing the sources and their seasonality provides essential support for the operational activities of the Buenos Aires VAAC and contributes to optimizing operational forecasting.

**Palabras clave:** Ceniza, VAAC, VAA, Fall3D.

## Citar como:

Vazquez, E., Osoreo, S., Mingari, L., Díaz, J., A., Forte, P., y Báez, W., 2026. Estudio histórico de eventos de resuspensión de cenizas volcánicas por el VAAC Buenos Aires. Nota Técnica SMN 2026-213.

## 1. INTRODUCCION

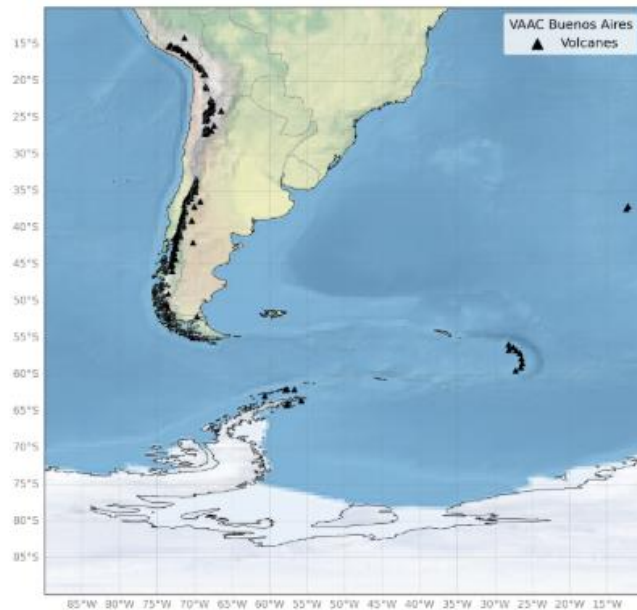
Tras grandes erupciones, o eventos menores pero persistentes, se generan depósitos de ceniza volcánica que pueden persistir por años. La resuspensión es el mecanismo físico mediante el cual este material es movilizado desde el suelo y reinyectado a la atmósfera por la erosión eólica en condiciones de vientos intensos. De este modo, la ceniza vuelve a circular ocasionando impactos en la calidad del aire, la salud humana y la seguridad del transporte terrestre y aéreo en las zonas afectadas, incluso mucho tiempo después de finalizada la emisión volcánica (Wilson y otros, 2012; Elissondo y otros, 2016; Flueck, 2016). Los efectos en la salud humana producto de la exposición a ceniza volcánica incluyen: irritación de los ojos, abrasión de la córnea y conjuntivitis; irritación y enrojecimiento de la piel; efectos en las vías respiratorias, entre otros (Horwell y otros, 2006, Baxter y otros, 2015, Stewart y otros, 2022). En las actividades agrícolas, los impactos incluyen tierras de cultivo cubiertas por ceniza, abrasión de la vegetación, contaminación de suministro de alimentos, y problemas significativos de salud del ganado como abrasión dental, problemas gastrointestinales, ceguera, agotamiento, que resulta en el abandono de algunas actividades agrícolas (Wilson y otros 2012). Los eventos de resuspensión de ceniza volcánica también generan consecuencias en la vida social y las actividades económicas de las personas. Pueden interrumpir el funcionamiento de escuelas, rutas y tareas cotidianas, generando estrés y desgaste emocional en la población (Forte y otros 2018). Por otro lado, la presencia de ceniza volcánica en la atmósfera es de interés para la aviación ya que el encuentro con plumas de ceniza puede generar un impacto y mal funcionamiento en los motores y turbinas (Clarkson y otros 2016).

En este trabajo se describen los eventos de resuspensión ocurridos en el área de responsabilidad del VAAC Buenos Aires a lo largo de los últimos años. El objetivo principal es determinar las zonas donde estos fenómenos suceden, evaluar la recurrencia e identificar cuáles son los depósitos de ceniza que actúan como fuente de emisión. Para ello, se procesó y analizó la información de los mensajes VAAs emitidos entre enero de 2006 y octubre de 2025 que registraron eventos de resuspensión. Mediante la caracterización espacial y temporal de estos eventos, este estudio busca brindar un soporte a las actividades operativas del VAAC Buenos Aires y contribuir al desarrollo de sistemas de pronósticos operativos.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EVENTOS EN EL DOMINIO DE LA VAAC

En la región de responsabilidad del Centro de Avisos de Ceniza Volcánica (VAAC) Buenos Aires (Figura 1), cuya área de vigilancia se extiende desde los 10° hasta los 90° S y entre los 10° y 90° O, se encuentran los países Argentina, Chile, Perú, Bolivia, Paraguay, Brasil y Uruguay; y la Antártida. Han ocurrido grandes erupciones que generaron voluminosos depósitos de ceniza y parte de estos pueden perdurar en ocasiones por decenas a miles de años. Ejemplos de este tipo de situaciones son el depósito de la erupción del Complejo Volcánico Cerro Blanco hace ~4.200 años antes del presente (Báez y otros, 2020), el de la erupción en 2011 del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (Folch et al., 2014; Forte y otros 2018; Domínguez y otros 2020), el del Volcán Quizapú en 1932 (Vera y otros 2022), el del Cerro Hudson producto la erupción de 1991 (Scasso y otros 1994, Wilson y otros 2012), el depósito de la erupción del volcán Chaitén en el 2008 (Major y otros, 2012) y el de la erupción del volcán Calbuco en el 2015 (Reckziegel y otros, 2015; Romero y otros 2023, Sánchez y otros 2024). Algunos de estos depósitos se muestran en la Figura 2. Por otro lado, las erupciones de baja intensidad, y persistentes en el tiempo pueden se generar depósitos de ceniza que son susceptibles a removilizarse y, por tanto, representan un impacto volcánico a largo plazo. Ejemplo de esto son el depósito generado por la erupción del Planchón Peteroa en el 2018 (Forte y otros 2022, Romero y otros 2020) y el del volcán Sabancaya, en Perú, que inició en noviembre 2016 generando diferentes pulsos diarios por más de 8 años consecutivos (Fries y otros 2023). El material depositado puede ser erosionado por el viento en los días, meses y años posteriores a las erupciones generando plumas de ceniza por resuspensión. Ejemplo de esto fueron los eventos de resuspensión de ceniza generados tras la erupción del Complejo Volcánico Pu-

yehue Cordón Caulle en 2011 (Folch y otros, 2014; Panebianco y otros 2017). Y en ocasiones parte del depósito de ceniza queda disponible durante años o incluso siglos y milenios en cercanías del volcán o bajo ciertas condiciones es removilizado. Tal como son los casos del volcán Quizapú (Wilson y otros 2011) y el Cerro Blanco (Báez y otros 2020, Mingari, 2018) que en ciertos momentos del año pueden tener eventos de resuspensión.



**Fig. 1:** Región del VAAC Buenos Aires con sus 142 volcanes activos, considerando activo a todo volcán que ha tenido al menos una erupción en los últimos 10 mil años (Holoceno), o bien cuando, sin certeza de esto último, presenta signos cuantificables de actividad, como por ejemplo fumarolas, sismicidad o deformación de la superficie (SEGEMAR s. f.).



**Fig. 2:** Imágenes de depósitos de ceniza obtenidas por el sensor Modis, el 25 de enero del 2025 a las 14:00 UTC, donde se muestran los depósitos actuales de los volcanes Cordón Cauille y Quizapú; y el 29 de agosto del 2025 a las 14:15 UTC, donde se muestran los depósitos actuales del volcán Cerro Blanco. En el mapa central se muestran las ubicaciones de dichos depósitos.

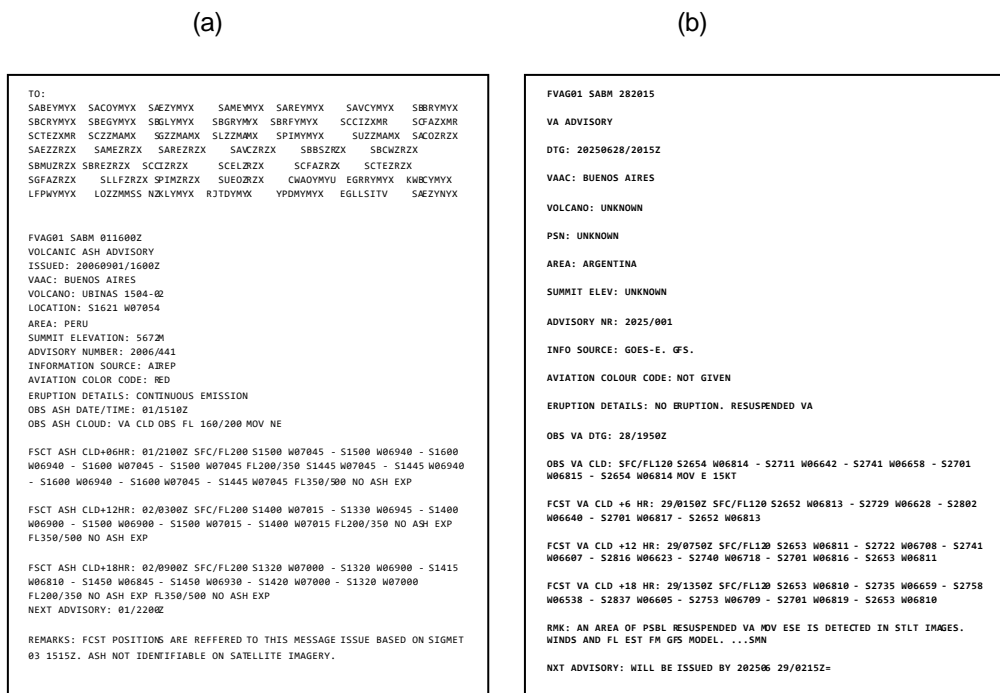
La ocurrencia de eventos de resuspensión depende de diversos factores (Folch, 2019; Jarvis, 2020): las condiciones meteorológicas; las características del depósito (volumen, espesor, densidad de partículas, distribución del tamaño de grano, porosidad) y las condiciones de la superficie (rugosidad y humedad). La rugosidad del suelo actúa como resistencia contra el viento y absorbe parte del momento del viento, por lo que es un parámetro importante. Por otro lado, la humedad refuerza la cohesión de las partículas al suelo e inhiben la resuspensión. El sur de Sudamérica tiene condiciones de suelo variables y sus características de humedad cambian a lo largo del año. En la Figura 1 se puede ver la topografía con distintos tonos marrones donde representa regiones con suelos más áridos, como la región del centro y este de la Patagonia y el Altiplano, y en tonos verdes suelos más húmedos en la región cercana a la Cordillera.

El sur de Sudamérica presenta regímenes de precipitación y una circulación atmosférica con una variabilidad estacional (Llano y otros., 2023, Ferreira y Reboita, 2022). En la región del Altiplano, el clima se divide en dos fases: un verano húmedo, dado por el calentamiento en el continente que atrae vientos del Océano Atlántico y la cuenca amazónica, al interactuar con la Cordillera genera abundantes lluvias; y un invierno seco, regulado por los anticiclones del Pacífico y Atlántico Sur, los cuales estabilizan la atmósfera y bloquean el ingreso de humedad (Aceituno y Garreaud, 2025, Garreaud y otros 2009). Esta configuración estacional se extiende al norte de Chile y noroeste argentino, donde la temporada seca invernal precede a un verano lluvioso. Además, en la región del noroeste argentino y en las provincias San Juan y Mendoza, específicamente a sotavento de los Andes destaca la ocurrencia del viento Zonda, cuya máxima actividad se registra entre el invierno y la primavera, puntualmente entre agosto y septiembre (Norte, 2015). Por el contrario, la Patagonia tiene un régimen opuesto, donde el invierno es la estación húmeda con mayores precipitaciones, especialmente en el sector chileno y cordillerano. El clima patagónico está condicionado de forma permanente por los vientos del oeste (Garreaud y otros 2023), que transportan sistemas frontales húmedos desde el Pacífico; al interactuar con la orografía andina, esta humedad se descarga en forma de lluvias y nevadas en invierno, dando paso a un verano más seco.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Datos

Se utilizaron los Avisos de Cenizas Volcánicas (VAA, Volcanic Ash Advisory, por sus siglas en inglés) del VAAC Buenos Aires, emitidos desde enero del 2006 hasta octubre del 2025. Los mensajes VAA dan información sobre la localización de la pluma de ceniza volcánica en la atmósfera observada, la cual puede darse por una erupción volcánica o un evento de resuspensión, y el pronóstico de su desplazamiento a 6,12 y 18 horas. Los VAA siguen la normativa internacional OACI, por lo que son emitidos en inglés. La estructura de los mensajes fue cambiando a lo largo de los años y también el formato del mensaje almacenado en VAAC Buenos Aires, de Word a txt. Además, los mensajes VAA, van acompañados de un mensaje gráfico, VAG (Volcanic Ash Graphic, por sus siglas en inglés), que muestra la locación de la nube de ceniza observada y pronosticada mediante polígonos. En la Figura 3 se presentan ejemplos de VAA en diversos formatos, con su respectiva estructura y contenido.



**Fig. 3:** Mensajes VAA emitidos por el VAAC Buenos Aires, (a) el 1 de septiembre del 2006 a las 16:00 UTC en formato Word, y (b) el 28 de junio del 2025 a las 20:15 UTC en formato txt.

El mensaje VAA almacenado del 2006 (Figura 3a) iniciaba con la lista de destinatarios aeronáuticos a enviar el mensaje. En julio del 2008, el formato del mensaje cambió de Word a txt, y el bloque de destinatarios fue extraído del mensaje almacenado. En general, la estructura del 2006, sacando la lista de destinatarios, presentaba una estructura similar a la estructura vigente, con variaciones en algunas líneas.

A continuación, se explica cada línea de los mensajes y se detallan los cambios entre la versión más antigua y la actual entre paréntesis. Omitiendo en los mensajes antiguos las líneas de los destinatarios, la línea 1 FVAG01 SABM DDHHMM, FVAG indica el canal en el cual se envía seguido del número del canal donde se transmite el mensaje. SABM es el indicador clave de OACI que refiere al VAAC Buenos Aires, seguido de la fecha y la hora en UTC (DDHHMM). En caso de ser un mensaje con alguna corrección, se vuelve a emitir, y al nombre del mensaje se agrega las siglas CCA. En la línea 2, VOLCANO ASH ADVISORY (VA ADVISORY) indica que es un aviso de ceniza volcánica; en la línea 3, ISSUED (DTG) indica la fecha y hora que se emite el mensaje; en la línea 4 VAAC se indica que VAAC emite el mensaje, en este caso el VAAC Buenos Aires; en la línea 5 VOLCANO indica el nombre del volcán por el que se emite el aviso. En el caso de que no haya una erupción, y sea un evento de resuspensión, si se conoce el volcán que originó el depósito se le asigna el nombre de dicho volcán, de lo contrario, cuando no se puede determinar el origen del depósito, se indica como UNKNOWN que significa desconocido en inglés (OACI, 2018).

Luego, en la línea 6, **LOCATION (PSN)**, se indica la posición geográfica del volcán que origina la emisión en formato de grados y minutos o en el caso de UNKNOWN, se indica UNKNOWN; en la línea 7 **AREA** indica el país donde se encuentra ubicado el volcán o la fuente de emisión de ceniza. Dentro del VAAC Buenos Aires, se encuentran los países Argentina, Chile, Perú, Bolivia, Paraguay, Brasil y Uruguay; y la Antártida. En la línea 8 **SUMMIT ELEVATION (SUMMIT ELEV)** indica la elevación del volcán en pies (FT) o metros (M). En la línea 8 **ADVISORY NUMBER (NR)**: YYYY/NNN siendo YYYY el año y NNN el número de aviso consecutivo para cada volcán. En la línea 9 **INFORMATION (INFO SOURCE)** indica la fuente de información utilizada, tal como AIREP, GOES-12, GOES -E, GOES-16 y 19, GFS MODEL, VOLCAT, etc. La línea 10 **AVIATION COLOR CODE** indica el código de color de aviación (RED, ORANGE, YELLOW, GREEN) o puede indicar NIL cuando no se tiene información del color. La línea 11 **ERUPTION DETAILS** indica el detalle de la erupción, pudiendo ser emisión continua o si no es una erupción, indicando RESUSPENDED VA, resuspensión de ceniza volcánica. La línea 12, **OBS ASH DATE/TIME** en la versión 2006 y **OBS VA DTG** en 2025, indica la fecha y hora en UTC de la observación de ceniza volcánica. La línea 13 **OBS ASH CLOUD (OBS VA CLD)** indica la información de observación de la nube de ceniza, incluyendo las coordenadas que representan el polígono de la nube de ceniza observada, así como la base y tope en niveles de vuelo en los que la pluma de ceniza se encuentra, la dirección e intensidad con la que se mueve. Por ejemplo: VA CLD OBS: FL 160/200 MOV NE, indicando que la nube de ceniza volcánica observada entre los niveles de vuelo 160 y 200 se está moviendo al noreste. Los bloques que comienzan con **FCST ASH CLD +6, +12, +18 HR (FCST VA CLD +6, +12 y +18 HR)** se refieren a los pronósticos de la nube de ceniza con validez a 6, 12 y 18 horas. Los campos DD/HHMM indican el día (DD), la hora y minutos (HHMM) en UTC, y las coordenadas que conforman el polígono que representa la nube de ceniza. Si no se espera la presencia de ceniza en las horas indicadas, se indica NO VA EXP, que significa que no se espera ceniza volcánica. En las últimas líneas, **REMARKS (RMK)** proporciona más detalles de la erupción o evento de resuspensión. Puede dar información de qué manera se observa la ceniza en la atmósfera, si mediante imágenes satelitales y en que canales, o si es reportada por un piloto de aviación, en que niveles de la atmósfera y de vuelo se observa. Además, puede indicar si es un evento de resuspensión. Y por último **NEXT O (NXT ADVISORY)** indica el día y la fecha en UTC del siguiente aviso. La especificación **NXT ADVISORY: NO FURTHER ADVISORIES** indica que no habrá más mensajes porque no se detectó ceniza en la atmósfera.

## 3.2 Análisis de datos

Se utilizó la información de 19498 mensajes VAA emitidos entre enero de 2006 y octubre de 2025. El objetivo fue determinar las zonas del VAAC Buenos Aires con mayor frecuencia de eventos de resuspensión, identificar los depósitos de ceniza que los originan y analizar en qué época del año suceden. Para lograr esto, se llevó a cabo un primer análisis tomando algunos casos conocidos de la base de datos de mensajes VAA, para identificar las palabras claves que se relacionaban con los eventos, de las que resultaron

ser, **Resuspended, Lifted o Lift**, escritas en inglés, que hacen referencia a la resuspensión o levantamiento de ceniza volcánica desde el depósito en superficie hacia niveles bajos de la atmósfera. Para procesar todos los mensajes se detectó aquellos asociados a eventos de resuspension, luego se generó una base de datos de eventos y se implementó un procedimiento automatizado utilizando las palabras claves específicas, mencionadas anteriormente, para filtrar los mensajes de resuspensión del resto. Una vez identificados los mensajes de interés, se tomó la fecha (año, mes, día) de la línea ISSUED o DTG, la hora de la línea OBS DTG VA, las coordenadas del polígono de observación de la nube de ceniza del bloque OBS CLD VA, la información que contiene las líneas de REMARKS y la línea del NETX ADVISORY.

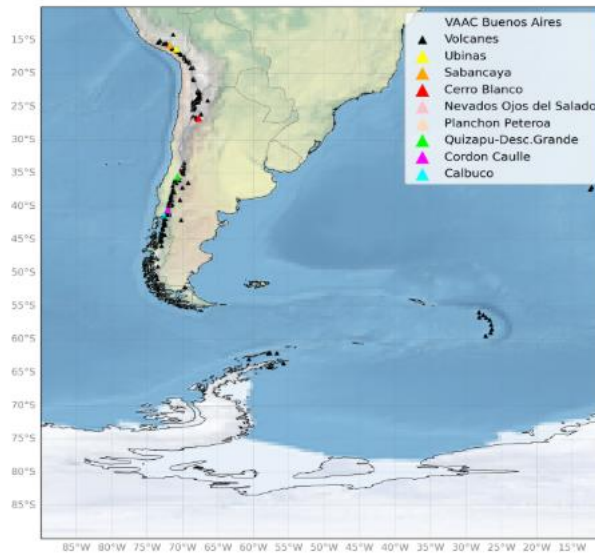
El siguiente paso fue identificar las fuentes de emisión, y los depósitos de ceniza de origen (si era conocido). Para ello se tomó la base de datos generada y se filtraron los mensajes que reportaban el inicio del evento de resuspensión, ya que dichos mensajes proveen información de la localización de la nube de ceniza que está más próxima de la fuente de emisión. Para identificar la fuente de emisión se tomó la información de OBS CLD VA, es decir, la información del polígono que localiza la nube de ceniza volcánica observada, y se extrajeron las primeras coordenadas geográficas, ya que estas representan el punto más cercano a dicha fuente.

Para facilitar el análisis, se tomaron las latitudes y se las agrupó en intervalos de 5 grados (-10°, -15°, -20°, ..., -90°) como valores de referencia. Cada latitud observada fue asignada a la latitud de referencia que se encontraba a menor distancia. En el caso que la latitud observada se encuentre en la mitad del intervalo (por ejemplo, -12,5°, que está a la misma distancia de -10° y -15°), el sistema lo asigna automáticamente al punto que está más al sur (en este ejemplo, a -15°).

## 4. RESULTADOS

En el período que va desde 2006 hasta octubre 2025, de 19498 mensajes VAA, se registraron 234 eventos de resuspensión en el período comprendido entre octubre de 2011 y septiembre de 2025. Durante el intervalo que va desde 2006 a septiembre de 2011 no se registraron eventos de resuspensión en los mensajes VAA. No obstante, esto no quiere decir que antes no ocurrieron eventos, de hecho existe evidencia de la ocurrencia de este fenómeno asociado al depósito del volcán Chaitén en 2008 (Major y otros, 2012), y del volcán Caulle (Forte y otros 2018) que no fueron registrados en los mensajes VAA explícitamente.

La Figura 4 muestra la ubicación de los volcanes de la región del VAAC Buenos Aires que generaron los depósitos fuente de los eventos de resuspensión reportados. En el caso de que la fuente no se haya logrado determinar se lo asignó como 'Desconocido' (Unknown) (en esta Figura no se muestran).



**Fig. 4:** Volcanes en la zona de interés del VAAC Buenos Aires, destacando con colores aquellos cuyos depósitos fueron fuente de eventos de resuspensión de ceniza volcánica.

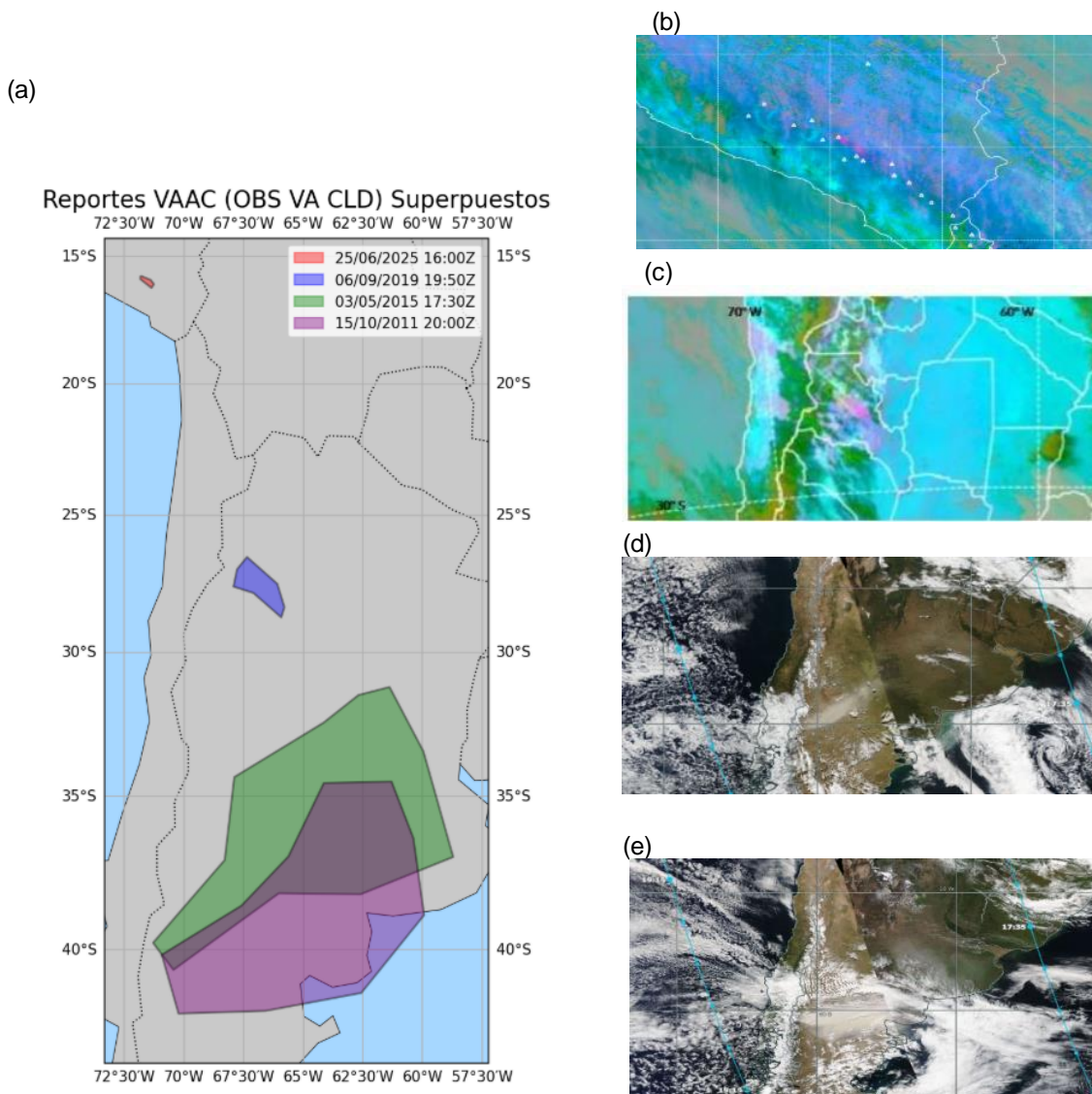
De estos mensajes con registro de resuspensión, se identificó cuántos eventos ocurrieron por año y a qué volcanes y depósitos estaban asociados o si fueron identificados como Unknown. En la Figura 5 se muestra la serie temporal de la frecuencia mensual de eventos de resuspensión para el período evaluado. Se observa que la mayor cantidad de eventos registrados tuvieron lugar entre septiembre de 2011 y enero de 2012, con 114 eventos, asociados a la resuspensión del depósito generado por la erupción del volcán Pu-yehue-Cordón Caulle (40,35°S; 72,7°W) ocurrida en 2011. En mayo de 2015 se registraron 7 eventos de resuspensión asociados al depósito del volcán Calbuco (41,19°S; 72,37°W), posterior a la erupción de abril del mismo año; y un evento del volcán Ubinas en julio de dicho año. A partir de 2018 comenzó a observarse un aumento del número de eventos de resuspensión. Esto se debió, en gran parte, a la llegada del satélite GOES-16 que aumento la resolución espectral, espacial y temporal ayudando así a la detección de estos eventos y por otro lado al conocimiento de la presencia de depósitos volcánicos en el Bolsón de Fiambalá (Baéz y otros, 2020).



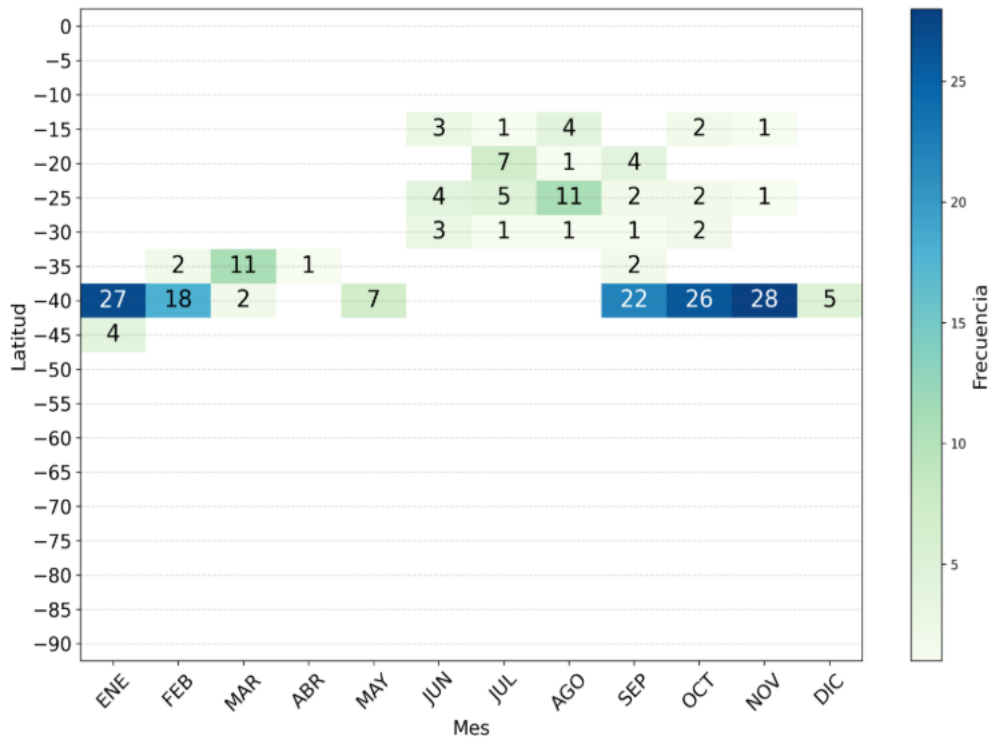
este de La Pampa, oeste de Buenos Aires, sur de Córdoba y sur de Santa Fe, coherente con el polígono VAA observado.

El evento del 6 de septiembre del 2019 se registró como Unknown en el mensaje VAA. En la Figura 6 (a) se muestra el polígono observado del VAA en color azul y en la Figura 6 (c) el producto RGB de cenizas generado utilizando datos del satélite GOES-16 (Rodriguez y otros, 2023), en tonos magenta se observa la ceniza en el centro y centro-este de Catamarca, asociado al depósito de Cerro Blanco.

El evento del 25 de junio del 2025 corresponde a un evento de resuspensión ocurrido en el depósito del volcán Sabacaya. En la Figura 6 (a) se muestra en color naranja el polígono observado, y en (b) se observan dos nubes en color magenta indicando la presencia de ceniza, una en cercanías del depósito del volcán Sabacaya, y otra nube separada de la fuente de emisión.



**Fig. 6:** (a) Polígonos de observación de ceniza registrados en los mensajes VAA. En el panel izquierdo se presentan productos satelitales de (b) RGB ceniza del GOES19 del 25 de junio 2025 a las 16:10 UTC, (c) RGB ceniza del GOES16 del 6 de septiembre del 2019 18:00 UTC, (d) color verdadero de AQUA del 3 de mayo del 2015 a las 19:14 UTC, y (e) color verdadero de AQUA del 15 de octubre del 2011 19:12 Z.



**Fig. 7:** Frecuencia de mensajes VAA que inician un evento de resuspensión, por rangos de latitudes y meses del año.

Para identificar la recurrencia de eventos por región se contabilizaron la cantidad de mensajes que señalaron el inicio de un evento de resuspensión según la banda de latitudes y el mes del año en que ocurrieron (Figura 7). La mayor cantidad de eventos se registraron en el rango de latitudes que comprenden los 35° y 40° S. Los máximos observados en los meses de primavera, y los 4 eventos de enero en la latitud de referencia 45°S, sucedieron luego de la erupción del Cordón Caulle en el 2011. Luego de la erupción del 2011, se comenzaron a registrar de manera recurrente eventos en los meses de enero, febrero y marzo, asociados a la época seca y sin cobertura de nieve en la Cordillera, aunque el número de mensajes fue decayendo con el tiempo (Fig. 5). A pesar de los reportes de removilización masiva en la línea Sur hasta abril 2014 (ver Forte et al., 2018), desde la VAAC no se volvieron a registrar en los años sucesivos. Los eventos que se observan en el mes de mayo en los 40° S sucedieron luego de la erupción del Calbuco en abril del 2015.

Los eventos que se observan en la banda 35°S se relacionan con los depósitos del Descabezado Grande, Quizapu y Planchón Peteroa. Se observan entre febrero y marzo el registro de eventos de resuspension asociados a estos dos volcanes (Fig. 5); el mayor número de eventos se observan en marzo, los cuales sucedieron luego de la erupción del Planchón-Peteroa en el 2018. Por otro lado, en septiembre se observa 1 evento, que en los mensajes VAA se asocian al volcán Infiernillo (Fig. 5), pero dado que no hay un depósito identificado para este volcán y se consultó con el SEGEMAR, se presume que este evento probablemente estuvo asociado al Descabezado Grande o al Planchón que se encuentran próximos.

Los eventos que se observan en la banda de los 30° S y 25°S ocurren en invierno y primavera, se relacionan a mensajes Unknown y los identificados con el volcán Nevados Ojos del Salado y Cerro Blanco (Fig. 5), asociados a los depósitos del Cerro Blanco. Los eventos que se observan en la banda de los 20°S se relacionan a mensajes Unknown (Fig. 5), que en parte están asociados a eventos del Cerro Blanco ya que se desconocía en ese momento sobre el origen del depósito, y otros están asociados a eventos que ocurrieron en el sur de Bolivia y el norte de NOA Argentino, donde se desconoce la fuente de emisión y el depósito al cual están asociados.

Por último, los eventos que se observan en la banda de los 15°S se relacionan a los depósitos generados por los volcanes Sabancaya y Ubinas (Fig. 5), con mayor cantidad de eventos asociados al Sabancaya, que tuvo un proceso eruptivo largo, depositando grandes cantidades de ceniza en cercanías al volcán.

Se destaca que desde los 30° S hacia el norte se observan eventos que ocurren principalmente en el invierno y primavera, y hacia latitudes mayores a 30° S, se observa que los mismos se dan en el verano y otoño, aunque inmediatamente después de erupciones grandes es posible tener eventos de resuspensión fuera de estas estaciones.

## 5. CONCLUSIONES

Se utilizó la información de los mensajes VAA para describir y conocer cuáles son las zonas del VAAC Buenos Aires dónde se detectan eventos de resuspensión más frecuentemente, en qué épocas del año y a qué fuente de emisión o depósitos están asociados.

El período analizado fue desde enero del 2006 a octubre del 2025 donde se analizaron 19498 mensajes VAA. En el periodo 2006 y octubre del 2011, no se registraron eventos de resuspensión, sin embargo, la ocurrencia de estos procesos se encuentra respaldada por diversos estudios que analizan los casos de los volcanes Chaitén (Major y otros, 2012) y Cordón Caulle (Forte y otros, 2018). La ausencia de registros VAA en esta primera etapa, responde al desconocimiento de la dinámica del fenómeno en el ámbito operativo y por otro lado a las limitaciones de las herramientas satelitales disponibles para la detección. Esta limitación comenzó a revertirse años más tarde con la incorporación del satélite GOES-16 y su mayor capacidad de detección, facilitando la identificación de estos fenómenos.

Y entre octubre del 2011 y septiembre del 2025 se registraron 234 eventos de resuspensión. Los depósitos asociados a los volcanes Puyehue-Cordón Caulle, Calbuco, Planchón-Peteroa, Ubinas y Sabancaya, registraron eventos de resuspensión posteriores a sus últimas erupciones. La mayor cantidad de eventos registrados fueron del Cordón Caulle, entre el periodo de septiembre del 2011 y enero del 2012. En los años sucesivos se registraron menor cantidad de eventos de manera recurrente en los meses de enero, febrero y marzo hasta la actualidad. En cantidad de eventos de resuspensión registrados, lo siguieron los volcanes Calbuco, Planchón Peteroa, Sabancaya y Ubinas, con una menor cantidad de eventos.

Durante el periodo de 2016 y 2017 no se registraron eventos de resuspensión. Los eventos Unknown comenzaron a registrarse a partir del 2018 y es muy probable que estén vinculados a la incorporación del satélite GOES-16, que permitió tener una mayor resolución temporal para la observación de los eventos en tiempo real, y su producto RGB ceniza, que permitió resaltar y observar la presencia de ceniza, discriminándola frente a nubes meteorológicas. También este producto funciona bien para detectar eventos de una magnitud más pequeña como los observados en el depósito del volcán Sabancaya. Aunque el RGB ceniza, tiene una limitación importante en las zonas con suelo áridos, ya que puede confundir la emisión de polvo mineral con la resuspensión de ceniza.

Al analizar la recurrencia de eventos según la latitud y la época del año, se detectó que desde los 30° S hacia latitudes mayores se observan eventos de resuspensión que se ocurren entre el verano y el otoño, como los del Cordón Caulle y Calbuco. Siendo los meses de verano en los que se da la mayor frecuencia de eventos del Cordón Caulle. En latitudes menores a los 30° S, se observa que los eventos de resuspensión se dan en el invierno y la primavera y se relacionan con los eventos Unknown, que ocurren en la banda de latitudes 25° S y 30°S en donde se encuentran los depósitos identificados del Cerro Blanco (Baéz y otros 2020) y Nevados Ojos del Salado. Por otro lado, los Unknwon que se encuentran en la banda de los 20°S, en el sur de Bolivia, norte de NOA Argentino no se los puede identificar con una fuente de emisión o depósito, y son eventos que también se dieron en los meses de invierno y primavera. Así como también sucedieron en esta misma época del año, los eventos que se encuentran en la banda de 15°S, y están asociados a los volcanes Sabancaya y Ubinas.

Los eventos que se observan en la banda 35°S y que se relacionan con los depósitos de Descabezado Grande o Quizapú y Planchón Peteroa, no se observan en los meses de invierno y primavera, sino que se observan entre los meses de febrero y marzo, y luego un caso aislado que se registra como Infiernillo, pero probablemente fue un error y ese evento asociado a Quizapú y Planchón Peteroa.

Se describieron e indicaron que zonas del VAAC Buenos Aires son más frecuentes los eventos de resuspensión y en que época del año ocurren. Hay eventos que se pueden asociar a una fuente de emisión o depósito asociado a una erupción del pasado o a las erupciones más recientes. Pero hay otros eventos que aún no se pueden identificar las fuentes de emisión o depósitos siendo casos dudosos. Este análisis permitió dar soporte a las actividades operativas del VAAC Buenos Aires identificando las condiciones en las que ocurrieron eventos de resuspensión a lo largo del registro de los mensajes VAA. Además, se observó un aumento en la detección de eventos a partir de 2018 gracias a la incorporación del satélite GOES-16.

A futuro, sería importante identificar y actualizar el origen y las áreas de los depósitos de ceniza a lo largo del año. Además, el análisis de estos fenómenos se puede expandir incorporando información de SYNOP y METAR, que tienen muchos más mensajes disponibles. La integración de toda esta información, contribuirían al desarrollo de un sistema de pronóstico por resuspensión para mejorar la prevención frente a este tipo de fenómenos.

## 6. REFERENCIAS

Aceituno, P. y R. Garreaud, 2025: El clima del Altiplano sudamericano. Enciclopedia de investigación de ciencias del clima de Oxford.

Báez, W. A., E. Bustos, A. L. Chiodi, M. Amosio, G. Giordano, J. G. Viramonte y I. A. Petrinovic, 2020: The 4.2 ka Cerro Blanco eruption: the largest Holocene explosive event in the Central Volcanic Zone of the Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 401, 106946.

Baxter, P. J., Horwell, C. J., 2015: Impacts of eruptions on human health. In *The encyclopedia of volcanoes* (pp. 1035-1047). Academic Press.

Bonadonna, C., L. Dominguez, C. Frischknecht, P. Forte, D. Bran, R. Aguilar, F. Beckett, M. Ellisondo, J. Gillies, U. Kueppers, J. Merrison, N. Varley y K. L. Wallace, 2020: Workshop on Wind-remobilisation processes of volcanic ash.

Clarkson, R. J., Majewicz, E. J., y Mack, P., 2016: A re-evaluation of the 2010 quantitative understanding of the effects volcanic ash has on gas turbine engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 230 (12), 2274-2291

Dominguez, L., C. Bonadonna, P. Forte, P. A. Jarvis, R. Cioni, L. Mingari, D. Bran y J. E. Panebianco, 2020: Aeolian Remobilisation of the 2011-Cordón Caulle Tephra-Fallout Deposit: Example of an Important Process in the Life Cycle of Volcanic Ash. *Frontiers in Earth Science*, 7.

Elissondo, M., Baumann, V., Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Bertagnini, A., Gonzalez, R., 2016: Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3), 675-704.

Ferreira, G. W. S. y M. S. Reboita, 2022: A New Look into the South America Precipitation Regimes: Observation and Forecast. *Atmosphere*, 13, 873.

Flueck, W. T., 2016: Brief communication: Extended chronology of the Cordón Caulle volcanic eruption beyond 2011 reveals toxic impacts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(11), 2351–2355.

- Folch, A.; Mingari, L.; Osores, M. S.; and Collini, E., 2014: Modeling volcanic ash resuspension– application to the 14-18 October 2011 outbreak episode in central Patagonia, Argentina, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14(1):119–133, doi: 10.5194/nhess-14-119-2014.
- Folch, A., A. Costa y S. Basart, 2012: Validation of the FALL3D ash dispersion model using observations of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic ash clouds. *Atmospheric Environment*, 48, 165-183.
- Forte, P., 2022: The eruption will not be broadcasted: characteristics, impacts and assistance during the 2018-2019 Peteroa volcano eruptive cycle, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 79(1), 47-71.
- Forte, P., L. Domínguez, C. Bonadonna, C. E. Gregg, D. Bran, D. Bird y J. M. Castro, 2018: Ash resuspension related to the 2011–2012 Cordón Caulle eruption, Chile, in a rural community of Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 351, 68-80.
- Fries, A., L. Domínguez, P. A. Jarvis, M. Pistolesi, N. Manrique, R. Aguilar, D. Valdivia, E. Rossi, S. Pollastri, C. J. Horwell y C. Bonadonna, 2023: The post-2016 long-lasting Vulcanian activity of Sabancaya volcano (Peru) and associated aeolian remobilisation of volcanic ash. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 441, 107876.
- Garreaud, R. D., 2009: The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3–11.
- Garreaud, R. D., y co-autores, 2023: The Southern Westerlies: A review of their dynamics, variability, and impacts. *Earth-Science Reviews*, 243, 104478.
- Horwell, C. J., Baxter, P. J., 2006: The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bulletin of volcanology*, 69(1), 1-24.
- Jarvis, P. A., Bonadonna, C., Domínguez, L., Forte, P., Frischknecht, C., Bran, D., Wallace, K. L., 2020: Aeolian remobilisation of volcanic ash: outcomes of a workshop in the Argentinian Patagonia. *Frontiers in Earth Science*, 8.
- Llano, M. P., 2023: Spatiotemporal variability of monthly precipitation concentration in Argentina. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 73, 168–177.
- Major, J. J., T. C. Pierson, R. P. Hoblitt y H. Moreno, 2013: Pyroclastic density currents associated with the 2008-2009 eruption of Chaitén Volcano (Chile): Forest disturbances, deposits, and dynamics. *Andean Geology*, 40(2), 324-358.
- Mingari, L., 2018: Resuspensión eólica de depósitos volcánicos de caída: parametrización, modelización y pronóstico operacional. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Norte, F. A., 2015: Understanding and Forecasting Zonda Wind (Andean Foehn) in Argentina: A Review. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(3), 163-193.
- Organización de Aviación Civil Internacional, 2018: Anexo 3 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional: Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional (20.ª ed.). OACI. ISBN 978-92-9265-060-5.
- Panbianco, J., M. Mendez, D. Buschiazzi y otros, 2017: Dynamics of volcanic ash remobilisation by wind through the Patagonian steppe after the eruption of Cordón Caulle, 2011. *Scientific Reports*, 7, 45529.
- Prata, A. J., 1989: Infrared radiative transfer calculations for volcanic ash clouds. *Geophysical Research Letters*, 16(11), 1293–1296.
- Reckziegel, F.; Bustos, E.; Mingari, L.; Báez, W.; Villarosa, G.; Folch, A.; Collini, E.; Viramonte, J.; Romero, J.; and Osores, M. S., 2016: Forecasting volcanic ash dispersal and coeval resuspension during the April–May 2015 Calbuco eruption, *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 321:44–57.

- Rodríguez, D., J. A. Díaz, M. Maurizi, L. Vidal y S. Osoreo, 2023: Algoritmo de identificación de nubes de ceniza volcánica en imágenes satelitales - Parte 2: sensor ABI. Nota Técnica SMN 2023-155.
- Romero, J. E., Aguilera, F., Delgado, F., Guzmán, D., Van Eaton, A. R., Luengo, N., Zegarra, I., 2020: Combining ash analyses with remote sensing to identify juvenile magma involvement and fragmentation mechanisms during the 2018/19 small eruption of Peteroa volcano (Southern Andes). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 402, 106984.
- Romero, J. E., F. J. Swanson, J. A. Jones, D. Morgavi, G. Giordano, M. Trolese, F. Aguilera, T. Izquierdo y D. Perugini, 2023: The April 2015 Calbuco eruption pyroclastic density currents: deposition, impacts on woody vegetation, and cooling on the northern flank of the cone. *Andean Geology*, 50(3), 319-345.
- Sáez, F., J. R. Rondanelli, R. D. Garreaud y P. A. G. G. M., 2022: Orographic enhancement of precipitation over the southern Andes: a WRF-based analysis. *Climate Dynamics*, 58, 2649–2666.
- Sánchez, F. D., J. E. Romero, P. Pereira y M. E. Schilling, 2024: Geological heritage sites assessment in the northern flank of the Calbuco volcano (Southern Andes, Chile). *Andean Geology*, 51(2), 357.
- Scasso, R. A., H. Corbella y P. Tiberi, 1994: Sedimentological analysis of the tephra from the 12–15 August 1991 eruption of Hudson volcano. *Bulletin of Volcanology*, 56(2), 121-132.
- SEGEMAR, s.f.: Glosario. Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), Servicio Geológico Mineiro Argentino. Buenos Aires. <https://www.argentina.gob.ar/segemar/oavv/glosario>
- Stewart C, Damby DE, Horwell CJ, Elias T, Ilyinskaya E, Tomašek I, Longo BM, Schmidt A, Carlsen HK, Mason E, Baxter PJ., 2022: Volcanic air pollution and human health: recent advances and future directions. *Bull Volcanol.* 2022; 84(1):11.
- Vazquez E., M. S., Osoreo, M. E., Dillon, 2020: Pronósticos Numéricos de Dispersión en Alta Resolución - Aplicación a plumas volcánicas débiles. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Vera, F., C. Jorquera, A. Amigo y L. Bertin, 2022: Evaluación de peligros de los volcanes Descabezado Grande, Quizapu, Cerro Azul y Centros Eruptivos Aledaños (Chile): resultados preliminares. IX Foro Internacional de Peligros Volcánicos "Volcanes y Sociedad: Riesgo y Prevención". Arequipa, Perú.
- Wilson, T. M., S. J. Stewart, V. Sword-Daniels, G. S. Leonard, M. D. Johnston, J. W. Cole, J. M. Lindsay y D. M. Johnston, 2012: Volcanic hazard impacts to critical infrastructure: A review. *Physics and Chemistry of the Earth*, 45-46, 5-23.
- Yiries, J. A., M. C. I. Lamberti, V. Nogués, J. Llano, J. M. Albite, F. J. Carbajal, S. E. Garcia, P. B. Forte y M. R. Agosto, 2020: Geología del flanco oriental norte de la cima del volcán Peteroa. XXI Congreso Geológico Argentino, 1-2.

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gob.ar](mailto:rdelia@smn.gob.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gob.ar](mailto:lvidal@smn.gob.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gob.ar](mailto:mrugna@smn.gob.ar)) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional.