



# La erupción no será transmitida: características, impactos y asistencia durante el ciclo eruptivo 2018-2019 del volcán Peteroa, Argentina

**Pablo FORTE<sup>1</sup>, Amalia RAMIRES<sup>2</sup>, Lucia DE ABRANTES<sup>3</sup>, Joaquín LLANO<sup>1</sup>, Lucia DOMINGUEZ<sup>4</sup>, Fabricio CARBAJAL<sup>5</sup>, Sebastián GARCÍA<sup>5</sup>, Patricia SRUOGA<sup>6</sup> y Costanza BONADONNA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Andinos (IDEAN) (UBA – CONICET), Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Centro de Estudios en Relaciones Internacionales y Medio Ambiente (CERIMA), Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

<sup>3</sup> Escuela Interdisciplinaria de Altos Estudios Sociales (IDAES), Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Argentina.

<sup>4</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Ginebra, Suiza.

<sup>5</sup> OAVV, Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina.

<sup>6</sup> CONICET SEGEMAR, Buenos Aires, Argentina.

Email: forttep@gl.fcen.uba.ar

**Editor:** Pablo Caffè

Recibido: 5 de marzo de 2021

Aceptado: 21 de julio de 2021

## RESUMEN

El volcán Peteroa se emplaza en el sur de la provincia de Mendoza, en el límite argentino-chileno, y es uno de los sistemas volcánicos más activos de los Andes del Sur. A pesar de su recurrente actividad eruptiva, existe escasa documentación sobre las consecuencias de estos eventos en las personas y el medioambiente. Un nuevo ciclo eruptivo, que inició en octubre de 2018 y duró aproximadamente 6 meses, ofreció una renovada oportunidad para indagar sobre este tópico postergado. A partir de una estrategia metodológica mixta, que combina herramientas de las ciencias sociales (i.e. entrevistas y cuestionarios) y naturales (i.e. análisis de lixiviados y aguas, datos meteorológicos, observaciones de campo e imágenes satelitales), caracterizamos el ciclo eruptivo y evaluamos el impacto de la caída de ceniza en el ambiente, en las comunidades que habitan en las cercanías del volcán y en sus actividades. Complementariamente, analizamos la gestión de la crisis volcánica desde el propio testimonio de los afectados. Los resultados demuestran que, a pesar del poco espesor de ceniza depositada, los impactos asociados no fueron nulos. A su vez, existieron falencias durante la gestión de la crisis, especialmente vinculadas a la comunicación, el manejo de la información y la asistencia. A raíz de esto, realizamos un análisis cualitativo con el objetivo de proyectar y discutir potenciales escenarios y una serie de recomendaciones que, esperamos, contribuyan a guiar futuros estudios y planes de gestión del riesgo volcánico.

**Palabras clave:** ceniza volcánica, removilización eólica, gestión del riesgo, estrategias multidisciplinarias, erupciones freato-magmáticas.

## ABSTRACT

*The eruption will not be broadcasted: characteristics, impacts and assistance during the 2018-2019 Peteroa volcano eruptive cycle, Argentina.*

Peteroa volcano is located in the south of Mendoza province, on the Argentine-Chilean border, and is one of the most active volcanic systems in the Southern Andes. Despite its recurrent eruptive activity, there is little documentation on the consequences of these events on the people and the environment. A new eruptive cycle, which began in October 2018 and lasted approximately 6 months,

offered a renewed opportunity to investigate this postponed topic. By developing a mixed methodological strategy, which combines tools from social sciences (i.e. in-person interviews and questionnaires) and natural sciences (i.e. leachate and water analysis, meteorological data, field observations and satellite images), we characterize the eruptive cycle and evaluate the impact of ash fallout on the environment, the communities that live in the vicinity of the volcano as well as in their activities. In addition, we analyse the management of the volcanic crisis by recovering the testimony of those affected. Our findings show that, despite the low thickness of ash deposited, the associated impacts were not negligible and there were shortcomings during the crisis management, especially related to communication, information management and assistance. Consequently, we carry out a qualitative analysis to project and discuss potential scenarios and provide a series of recommendations that, hopefully, will help guide future studies and volcanic risk management strategies.

**Keywords:** volcanic ash, wind remobilisation, risk management, multidisciplinary strategies, phreatomagmatic eruptions

## INTRODUCCIÓN

Entender el efecto que los peligros geológicos generan en las comunidades es uno de los eslabones fundamentales en el diseño de estrategias efectivas para la reducción del riesgo de desastre. Así lo reconocen las Naciones Unidas, y todos sus Estados miembros, a través del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastre 2015-2030 (Naciones Unidas 2015). Para el caso de la actividad volcánica, durante las últimas décadas la comunidad científica ha invertido gran esfuerzo en el desarrollo de metodologías para la evaluación de los impactos asociados a los procesos que pueden tener lugar durante una erupción (e.g. caída de tefra, lahares, flujos piroclásticos). En una primera aproximación, es posible distinguir entre dos tipos de evaluaciones de impactos: pre y post-evento. Mientras que las primeras requieren un cierto grado de conocimiento del sistema volcánico, la definición de escenarios eruptivos, el modelado y la zonificación de los peligros, y consideraciones sobre las múltiples dimensiones de vulnerabilidad de los elementos expuestos (e.g. Zuccaro et al. 2008, Scaini et al. 2014, Biass et al. 2016, Deligne et al. 2017), las segundas se enfocan en recopilar información y clasificar las consecuencias una vez ocurrido el evento volcánico (e.g. Jenkins et al. 2013, Magill et al. 2013, Sword-Daniels et al. 2014, Wantim et al. 2018). Ambos abordajes deben ser considerados como complementarios, siendo fundamental su retroalimentación para pronosticar los impactos potenciales de una erupción, y por consiguiente, para una mejor comprensión, estimación y gestión del riesgo volcánico (e.g. Menoni et al. 2017, Reyes-Hardy et al. 2021).

Entre los peligros volcánicos, la caída de tefra –término genérico que hace referencia a cualquier fragmento volcánico emitido durante una erupción explosiva, sin distinción de su tamaño, forma y composición (Thorarinsson 1944)– es el más frecuente (Newhall y Hoblitt 2002). En particular, la fracción de la tefra con diámetro < 2 mm, denominada ceniza volcáni-

ca, tiene una gran capacidad de dispersión y permanencia en la atmósfera, pudiendo afectar áreas localizadas incluso a miles de kilómetros de distancia del centro de emisión (Witham 2005). Si bien los impactos causados por la caída de ceniza en la superficie terrestre dependen de la cantidad de material depositado, otros factores como la duración y tipo de erupción, las características físico-químicas de las partículas (i.e. composición química superficial, mineralogía, tamaño, forma) y las condiciones ambientales del entorno (i.e. climáticas, geográficas, biológicas) influyen en los efectos (e.g. Horwell y Baxter 2006, Jenkins et al. 2015, Stewart et al. 2020). Asimismo, el nivel de impacto también se relaciona con las características intrínsecas o vulnerabilidades de los elementos y sistemas expuestos (e.g. Wilson et al. 2010, Jenkins et al. 2014).

En Argentina, la caída de ceniza es el peligro volcánico más relevante. A pesar de que la actividad volcánica en el país se restringe principalmente al frente volcánico activo de los Andes –emplazado parcialmente en la margen occidental del territorio nacional pero mayormente en Chile–, el patrón predominante de circulación de vientos genera que el material volcánico, una vez inyectado en la atmósfera, sea frecuentemente dispersado hacia el este (García y Badi 2021). Las consecuencias de esta sinergia entre los Andes y la atmósfera en territorio argentino pueden ser rastreadas desde las primeras poblaciones que habitaron la zona a principios del Holoceno (e.g. Villarosa et al. 2006, Durán et al. 2016).

En el último siglo, los Andes del Sur (33.5° - 47°S) han sido escenario de erupciones explosivas de gran magnitud. Entre ellas se destacan las del volcán Quizapu en 1932 (Hildreth y Drake 1992), Hudson en 1991 (Scasso et al. 1994) y, más recientemente, las de Chaitén en 2008 (Castro y Dingwell 2009) y Cordón Caulle en 2011 (Silva Parejas et al. 2012). Estas tres últimas, en particular, han motivado una gran cantidad de estudios que documentaron el efecto de la caída de ceniza volcánica, tanto en el medioambiente (e.g. Inbar et al. 1995, Martin et al. 2009, Flueck y Flueck 2013, Stewart et al. 2016) como en las comunidades afectadas y sus actividades econó-

micas (e.g. Wilson et al. 2011b, Easdale et al. 2014, Craig et al. 2016, Elissondo et al. 2016a). A su vez, estas erupciones permitieron caracterizar el impacto de procesos vinculados a la removilización de la ceniza por acción eólica, un peligro secundario generalmente subestimado capaz de extender durante años, e incluso siglos, los efectos ocasionados por la caída de ceniza (e.g. Wilson et al. 2011a, Forte et al. 2018a, b, Jarvis et al. 2020).

No todas las erupciones en este sector de los Andes son de la magnitud (i.e. masa total de tefra emitida), intensidad (i.e. tasa de inyección de tefra por unidad de tiempo) y espectacularidad de las anteriormente mencionadas. Volcanes como Copahue y Peteroa se han caracterizado, al menos durante los últimos dos siglos, por el desarrollo de recurrentes erupciones de baja magnitud que inyectaron ceniza en la atmósfera durante períodos que oscilaron entre días y meses (e.g. Naranjo y Haller 2002, Petrinovic et al. 2014, Caselli et al. 2016, Daga et al. 2017). Estos eventos, a diferencia de los de gran magnitud, suelen dejar escasas evidencias en el registro geológico y reciben una atención limitada, por los medios de comunicación, la comunidad científica e incluso, en numerosas ocasiones también, por parte de las distintas autoridades encargadas de la gestión de riesgo. Es decir, estas erupciones, como sugiere el título de este trabajo, no siempre logran ser transmitidas. Esto es particularmente cierto para el caso de Peteroa, un volcán emplazado en el sur de la provincia de Mendoza, en un área alejada de los grandes centros urbanos del país (Fig. 1). La escasa documentación acerca de las consecuencias de sus erupciones invita a preguntarnos ¿qué ocurre cuando este volcán entra en erupción? Estas erupciones, ¿generan algún tipo de impacto?, ¿a quiénes y cómo los afecta? Y por último, ¿de qué manera podemos analizar las consecuencias de estos eventos volcánicos que parecen no dejar rastros?

En el presente trabajo respondemos estos interrogantes tomando como caso de estudio el último ciclo eruptivo (2018-2019) del volcán Peteroa. A partir de la conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario y la implementación combinada de herramientas de las ciencias sociales (i.e. entrevistas y cuestionarios) y naturales (i.e. análisis de lixiviados y aguas, datos meteorológicos, observaciones de campo e imágenes satelitales), caracterizamos el ciclo eruptivo y evaluamos el impacto que la caída de ceniza tuvo en la zona. A su vez, y de manera complementaria, analizamos los mecanismos de comunicación y asistencia implementados por las autoridades durante el período eruptivo. El estudio conjunto de estas variables busca generar información y aportar herramientas de utilidad para la toma de decisiones e implementación de políticas en el marco de la gestión del riesgo volcánico en la zona.

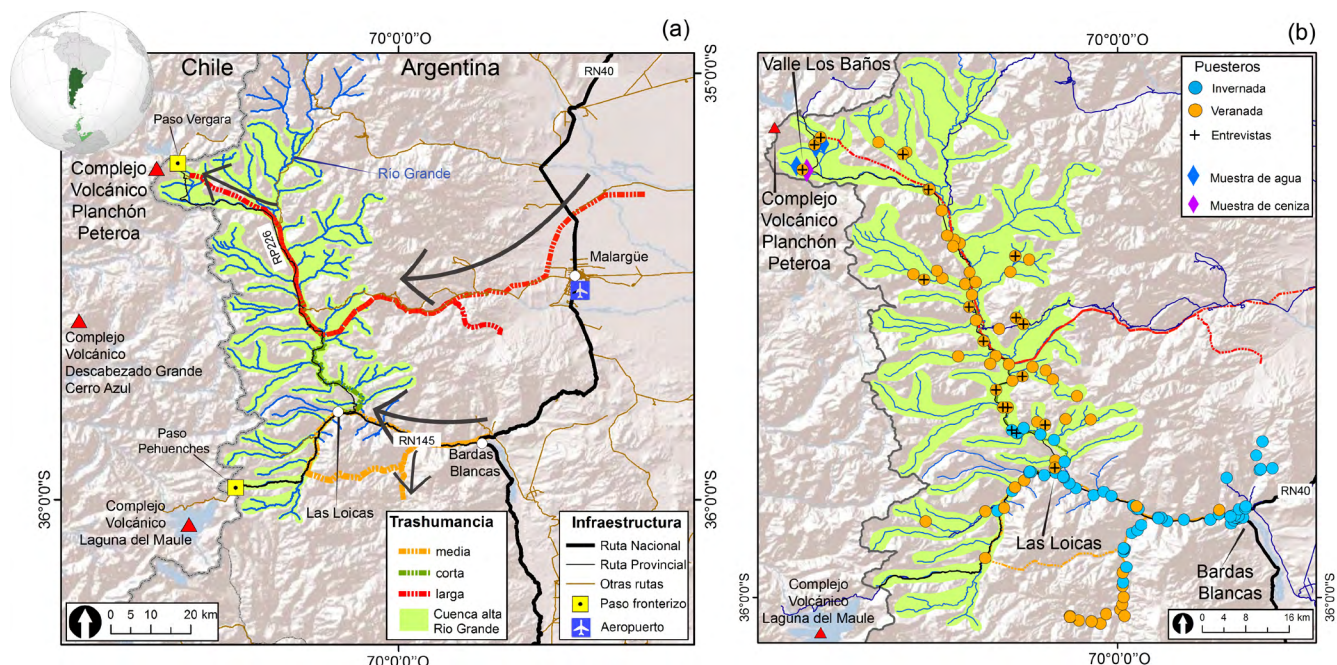
## ÁREA DE ESTUDIO

Dadas las características de la erupción bajo análisis, el área de estudio se restringió a la cuenca alta del río Grande, en el segmento comprendido entre la localidad de Las Loicas y el volcán Peteroa, en territorio argentino (Fig. 1). Esta zona se ubica en el departamento de Malargüe, provincia de Mendoza, y forma parte de la Cordillera Principal. La cuenca presenta una orientación general NO-SE y se encuentra bajo la influencia directa no solo de la actividad eruptiva del volcán Peteroa, sino también de otros sistemas que constituyen el arco volcánico activo en ese segmento de los Andes. Entre ellos, se destacan los Complejos volcánicos Descabezado Grande – Cerro Azul – Quizapu y Laguna del Maule (Fig. 1a).

### Volcán Peteroa

El volcán Peteroa forma parte del Complejo volcánico Planchón-Peteroa ( $35^{\circ}14.5' S - 70^{\circ} 34. 4' O$ ), y se sitúa en el límite argentino-chileno, a 95 y 110 km, en línea recta, de las localidades de Las Loicas y Malargüe, respectivamente (Fig. 1a). Este complejo volcánico forma parte de la Zona Volcánica Sur Transicional de los Andes ( $34.5^{\circ}$  a  $37^{\circ} S$ , Stern 2004) y ocupa el segundo lugar en el Ranking de Riesgo Volcánico Relativo para la República Argentina (Elissondo et al. 2016b, García y Baddi 2021). Su compleja historia geológica ha sido objeto de numerosos estudios (e.g. Tormey et al. 1989, Naranjo et al. 1999, Naranjo y Haller 2002, Jover 2010, Tormey 2010, Miranda Jordana 2016, Nogués 2019, Vigide et al. 2020) y, según edades radiométricas K/Ar presentadas por Naranjo et al. (1999), su origen se remonta a 1.2 millones de años. No obstante, dataciones  $^{40}Ar/^{39}Ar$  más recientes sugieren que la actividad volcánica del complejo comenzó tan solo ~200 mil años AP (Klug et al. 2018). La actividad holocena ha sido la más explosiva de su historia eruptiva y se ha concentrado, durante los últimos 7 mil años, en lo que aquí denominaremos como volcán Peteroa (equivalente a la Unidad Planchón III propuesta por Naranjo et al. (1999)). Entre los depósitos más relevantes se destacan la Oleada Piroclástica Valenzuela (~7000 AP), el Flujo Piroclástico Los Ciegos (vinculado genéticamente al anterior) y el de Pómez Los Baños (~1400 – 1050 AP), todos ellos identificados sobre la vertiente oriental del Complejo volcánico Planchón-Peteroa (Naranjo et al. 1999). Además, los autores describen, para este período, depósitos piroclásticos indiferenciados en las cercanías del cráter y niveles de caída de tefra en las zona del Paso Internacional Vergara.

El volcán Peteroa no presenta un edificio volcánico independiente sino que consiste en cuatro cráteres y un cono de



**Figura 1.** Mapa de ubicación: a) Zona de estudio, en su contexto regional. Con líneas punteadas y flechas se señalan las distintas rutas de trashumancia realizadas por los puesteros; b) Detalle de la cuenca alta del río Grande, incluyendo la localización de los puntos de muestreo de aguas y ceniza así como de los puestos de invernada y veranada. De estos últimos, se diferencian con una cruz aquellos que fueron entrevistados en el presente estudio.

escorias distribuidos entre estructuras volcánicas más antiguas. De acuerdo a *Global Volcanism Program* (GVP), en los últimos 400 años el Peteroa ha registrado, al menos, 18 eventos eruptivos, de variable duración y con Índice de Explosividad Volcánica (IEV) entre 1 y 3. La única excepción es una erupción de IEV 4 reportada para 1762; aunque Haller y Risso (2010) ponen en duda que se trate de un evento del Complejo volcánico Planchón-Peteroa. En las últimas décadas, se destacan las erupciones freáticas a freatomagmáticas de baja magnitud ( $IEV \leq 2$ ) de 1991 (GVP 1991) y 2010-2011 (Haller y Risso 2012, Aguilera et al. 2016, Romero et al. 2020); ambas caracterizadas por la emisión de ceniza y el desarrollo de columnas eruptivas de baja altura ( $< 3$  km sobre el nivel del cráter).

Desde el fin de la erupción en 2011 hasta el inicio del ciclo eruptivo 2018-2019, el volcán Peteroa registró emisiones gaseosas magmático-hidrotermales esporádicas, de intensidad variable (Tassi et al. 2016, Lamberti et al. 2021). A partir de 2016, el Servicio Geológico y Minero Chileno (SERNAGEOMIN) –encargado del monitoreo del volcán Peteroa desde territorio chileno (Amigo 2021)– detectó un aumento de la sismicidad en el sistema volcánico, acompañado por el incremento en la actividad fumarólica desde marzo de 2018 (Romero et al. 2020). En junio de 2018, el SERNAGEOMIN y el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV) –responsable del monitoreo del volcán desde Argentina (García y Badi 2021)– elevaron el nivel de alerta volcánica de verde a amari-

lo (SERNAGEOMIN 2018a).

**El ciclo eruptivo 2018-2019:** El ciclo eruptivo comenzó el 13 de octubre de 2018 y tuvo una duración aproximada de seis meses. Estuvo dominado por actividad de tipo freática a freatomagmática, con emisión de ceniza conformada por proporciones variables de fragmentos líticos y juveniles; estos últimos de composición predominantemente traquiandesítica (Romero et al. 2020). En función de la actividad superficial y las variaciones de parámetros físico-químicos del sistema (i.e. sismicidad, radiación térmica, emisión de  $SO_2$ ), los autores dividieron la erupción en tres estadios: (a) un periodo inicial comprendido entre el 13 de octubre y el 15 de diciembre de 2018, caracterizado por desgasificación y emisiones discretas de ceniza volcánica; (b) un periodo de máxima intensidad eruptiva, entre el 15 de diciembre y el 5 de febrero, con elevada actividad sísmica, anomalías térmicas y frecuente ocurrencia de explosiones que inyectaron ceniza en la atmósfera, caracterizadas por plumas entre 1 y 2 km por sobre el nivel del cráter (s.n.c); y c) disminución paulatina de la actividad eruptiva y emisión de ceniza esporádica hasta principios de abril de 2019. A mediados de agosto de 2019, el nivel de alerta fue modificado a verde por las autoridades competentes, implicando el retorno del sistema a un comportamiento estable, no eruptivo (OAVV 2019, SERNAGEOMIN 2019).

**Características de la columna eruptiva: altura y dispersión:** Durante los meses previos a la erupción, la actividad superficial estuvo caracterizada por emisiones gaseosas

de coloración blanquecina que alcanzaron alturas máximas inferiores a 500 m s.n.c (Fig. 2a). La única excepción para el período se observó el 15 de septiembre, cuando SERNA-GEOMIN reportó un leve cambio en la coloración de la pluma, tornándose grisácea, lo cual fue interpretado como evidencia de ceniza volcánica (SERNAGEOMIN 2018b). Esta institución volvió a reportar presencia de ceniza en la columna eruptiva entre los días 13 a 15 de octubre, momento definido por Romero et al. (2020) como inicio de la erupción.

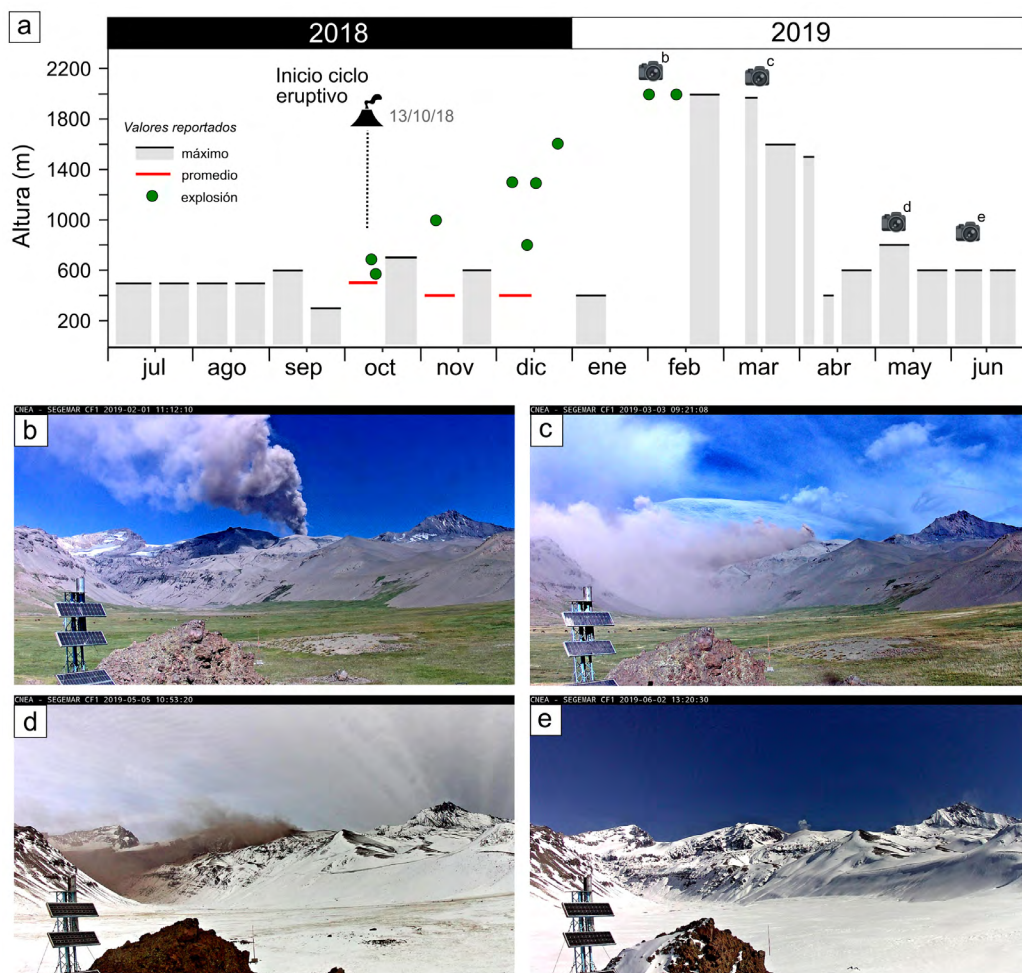
Más allá de explosiones puntuales (e.g. 7 de noviembre, 7 de diciembre), la actividad superficial se mantuvo dominada por desgasificación color blanquecino hasta mediados de diciembre, cuando se reportó actividad explosiva pulsátil, con columnas eruptivas que alcanzaron 1300 m s.n.c. A partir de ese momento, la columna eruptiva estuvo dominada por la presencia de ceniza, otorgándole una coloración gris oscura. La altura máxima reportada fue de 2000 metros, para el período febrero-marzo de 2019 (Fig. 2b-c). A partir de marzo, se observó un nuevo cambio en la coloración de la columna eruptiva, de grisáceo a rojizo (Fig. 2c). Luego de la primera semana de abril, la actividad superficial retomó las caracte-

rísticas pre-eruptivas, signada por desgasificación de baja energía, con columnas de color blanco y alturas inferiores a los 800 m (Fig. 2e). No obstante, se registraron algunas explosiones menores, con emisión de ceniza, al menos hasta mediados de mayo de 2019 (Fig. 2d).

En cuanto a la dispersión de la pluma eruptiva, Romero et al. (2020) realizaron un análisis a partir de la inspección de imágenes satelitales PlanetScope, identificando un total de 97 plumas entre el 11 de noviembre de 2018 y el 13 de mayo de 2019. Los autores determinaron que, en su gran mayoría (80 %), estas se dispersaron hacia el SE mientras que sólo una fracción minoritaria fue dispersada hacia el SO, O y NO. A su vez, reportaron la ocurrencia de viento cruzado de baja altura, lo que facilitaba la depositación en un rango de hasta 20° en relación a la dirección predominante de dispersión. En cuanto al alcance de las mismas, osciló entre < 1 km y 34 km desde el cráter.

### Aspectos ambientales y meteorológicos

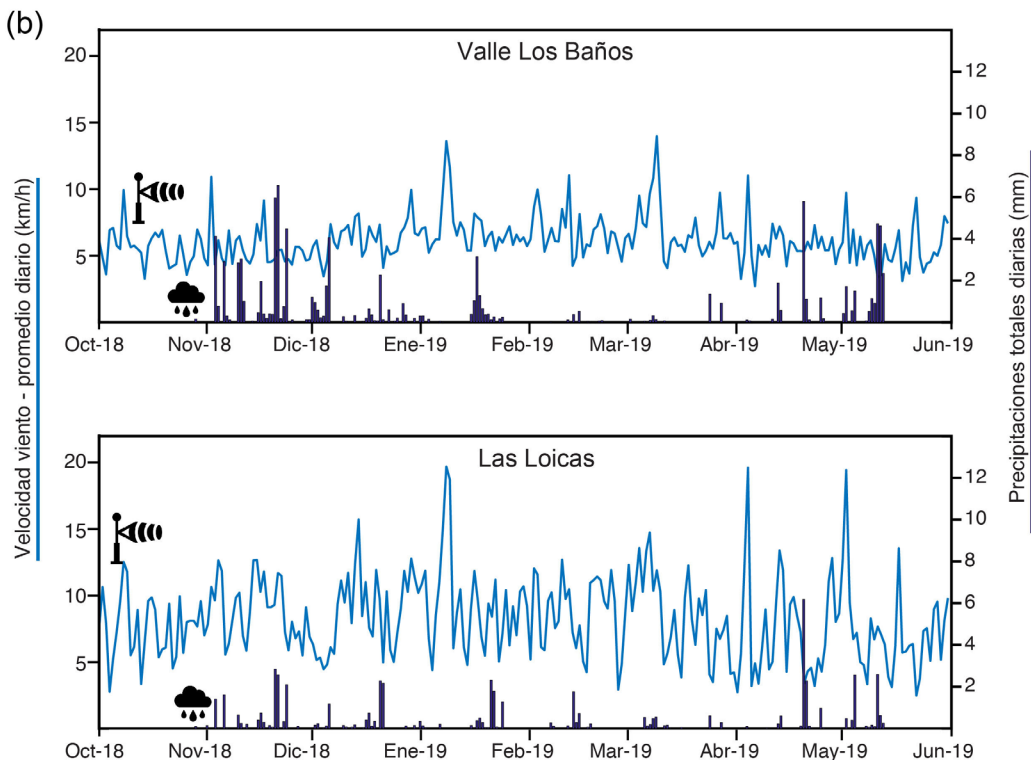
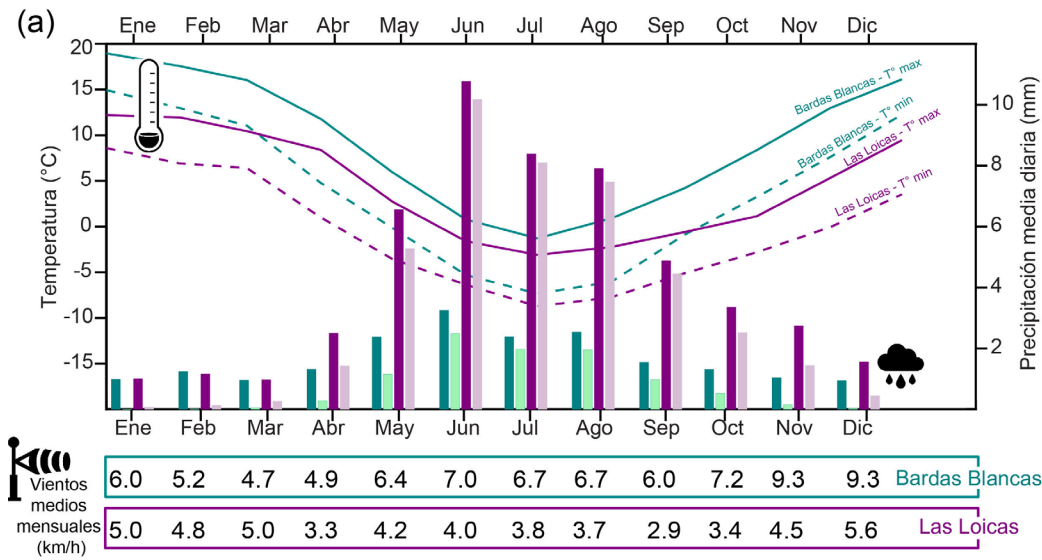
El departamento de Malargüe presenta un marcado contraste topográfico y climático en dirección oeste-este. El sec-



**Figura 2.** Caracterización de la actividad superficial del volcán Peteroa: En (a) se puede observar la variación en la altura alcanzada, por sobre el nivel del cráter, por las emisiones para el período julio 2018 – junio 2019. Dicha información fue recuperada de los reportes del SERNAGEOMIN (<https://www.sernageomin.cl/complejo-volcanico-planchon-peteroa/>), que publica Reportes de Actividad Volcánica (RAV) de manera quincenal y Reportes Especiales de Actividad Volcánica (REAV) para el caso de eventos extraordinarios (Amigo, 2021). En la mayoría de los RAV reportan las alturas máximas registradas, mientras que en algunos casos reportan el valor promedio para el período. La mayoría de los datos de altura para explosiones puntuales fueron reportados en los REAV. Las imágenes (b-e) fueron obtenidas con una cámara fija instalada a 6,5 km del cráter, en el valle El Peñón. La cámara es operada y mantenida por el *International Center for Earth Sciences* (ICES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Las imágenes corresponden a los días: 01/02/19 (b), 03/03/19 (c), 05/05/19 (d) y 02/06/19 (e).

tor occidental está dominado por un paisaje de montañas con alturas de hasta 4000 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m), un clima frío y precipitaciones anuales que alcanzan los 900 mm mientras que la zona oriental presenta un clima seco estepario y precipitaciones que, en algunos sectores, no superan los 300 mm anuales (Ramires 2013). La figura 3a muestra las precipitaciones, temperaturas y vientos medios que caracterizan el extremo sur de la zona de estudio (Las Loicas). Las precipitaciones, predominantemente en forma de nieve, se concentran en su mayoría entre los meses de mayo a septiembre, siendo julio el mes más frío del año

con temperaturas mínimas entre -9 a -3°C. Las precipitaciones totales descienden considerablemente entre septiembre y abril mientras que enero registra las mayores temperaturas del año, con máximas de 12°C. Respecto a la velocidad de vientos en superficie, estas son mayores en verano. El máximo medio mensual es de 5.6 km/h y se alcanza en el mes de diciembre. Para las zonas más cercanas al Complejo volcánico Planchón-Peteroa, las variaciones estacionales son las mismas que las observadas en Las Loicas aunque las precipitaciones son mayores y las temperaturas menores producto del factor altitudinal. Al desplazarnos hacia el este de la



**Figura 3.** Variables meteorológicas: a) Temperatura, viento y precipitación media diaria para Bardas Blancas en verde (zona de invernada) y Las Loicas en violeta (zona de veranada). Los valores representan el promedio mensual para el periodo 2000 - 2020. Para cada localidad, las barras oscuras corresponden a la precipitación total mientras que las barras claras indican el porcentaje que corresponde a nieve; b) Velocidad del viento y precipitaciones totales para el periodo de la erupción, octubre 2018 a mayo 2019, en valle Los Baños (~2500 m s.n.m., cercanías del volcán Peteroa) y en Las Loicas (~ 1600 m s.n.m., extremo sur zona de estudio). Valores extraídos de la base de datos ERA5 del ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*).

zona de estudio y perder altitud, rápidamente se observa un descenso de las precipitaciones anuales y el ascenso de las temperaturas promedio, como se puede apreciar para Bardas Blancas (Fig. 3a). En esta zona, los vientos son considerablemente más fuertes que para los casos anteriores, con velocidades máximas promedio de hasta 9.3 km/h en noviembre y diciembre. Como se verá más adelante, estas características meteorológicas condicionan múltiples aspectos de la dinámica de la zona.

### Características socio-económicas y demográficas

Ubicado en el extremo meridional de Mendoza, Malargüe se caracteriza por ser el departamento más extenso y menos poblado de la provincia. Posee una superficie de 41317 km<sup>2</sup>, según datos del último censo nacional (INDEC 2010), cuenta con un total de 27660 habitantes, lo que se traduce en una densidad poblacional de 0.7 hab/km<sup>2</sup>. Presenta, a su vez, una gran concentración poblacional en la ciudad cabecera (Malargüe), alcanzando una tasa de urbanidad del 78% (21619 habitantes). El 20 % del total de habitantes (5589) se asienta en zonas rurales dispersas (puestos) y sólo el 2 % (452) en áreas rurales agrupadas (pequeñas localidades, caseríos y parajes).

El departamento está constituido por una diversidad de ambientes geográficos. Factores políticos, históricos, económicos, sociales y ambientales han generado una economía basada en la explotación de recursos naturales –petroleros y mineros– y la producción ganadera. A fines de la década del noventa se incorporó la actividad turística con el objetivo de reactivar la economía departamental y contener algunos de los impactos generados por la crisis social que dejó la implementación del modelo neoliberal en la Argentina (Mamani 2015). Sin embargo, el turismo, principalmente rural, funciona como un “enclave”, manejado por actores “urbanos” que acaparan los beneficios generados por este sector (Ruiz Peyré 2019, Soto y Martínez Navarrete 2020). Es importante mencionar, además, que el departamento se encuentra atravesado por una serie de problemáticas sociales que quedan expresadas en las altas tasas de desempleo y altos índices de necesidades básicas insatisfechas (NBI), así como también en los elevados índices de pobreza e indigencia, especialmente en el ámbito rural (Cepparo et al. 2010, Cepparo 2014).

En las últimas cinco décadas, en Argentina, las actividades agropecuarias se han visto atravesadas por una reconfiguración productiva basada en la tecnificación de los sistemas de producción, la concentración en grandes grupos económicos y la mercantilización a gran escala (Hocsman 2014, Gras y Hernández 2016, Pérez Gañan 2020). Si bien este proceso

ha avanzado en múltiples direcciones, en el departamento de Malargüe la práctica ganadera extensiva y trashumante ha logrado sobrevivir. Una actividad económica que se despliega al margen de los circuitos productivos regionales, con una fuerte dependencia del medio natural, con escasos usos de la tecnología, bajo la forma de pastoreo continuo a campo abierto y con rotación a gran escala (Perassi 2012, Camuz Ligio 2017, Soto 2021).

Los puesteros o crianceros –asentados en las zonas rurales del departamento– son quienes llevan adelante esta actividad dedicada, principalmente, a la cría de caprinos, bovinos, y en menor medida, de ovinos y equinos. La vida del puestero implica un cambio temporal de asentamiento y se organiza en tres espacios sociales bien diferenciados: la invernada, la veranada y la trashumancia.

La invernada transcurre en las residencias o puestos permanentes ubicados en los valles bajos, en zonas áridas con escasez de agua (Fig. 1b). Aquí, los productores se dedican a alimentar a su ganado mediante el pastoreo en campos aledaños a la vivienda. Trabajan, a su vez, en actividades vinculadas a la gestación y reproducción del rebaño, y en el acondicionamiento de los espacios productivos (potreros, corrales y galpones).

Para lograr el engorde de sus animales y permitir la recuperación de los campos, los productores deben desplazarse –en busca de agua y buenas pasturas– desde las invernadas hacia las veranadas: unidades socio-productivas temporarias situadas en los valles de altura de la Cordillera Principal (1500 a 2500 m s.n.m.), emplazadas generalmente cerca de un curso de agua. Las veranadas presentan una distribución dispersa que responde fundamentalmente al manejo extensivo del ganado y a las características naturales de estas zonas. En el área de estudio, se ubican alrededor de 60 veranadas (Ramires 2013) a lo largo de la cuenca superior del río Grande y en numerosas quebradas o valles menores (Fig. 1b).

Durante la veranada el puesto permanente es reemplazado por el rial o ruca; es decir, puestos temporarios ubicados en zonas de difícil acceso, dentro de la cuenca hidrográfica (Fig. 4a). Estas viviendas son generalmente construidas aprovechando los materiales del lugar (piedra, tierra cruda, adobe, etc.) junto con restos de chapa y nylon (Fig. 4a, d; Ramires 2013). La permanencia en estos puestos es variable: de tres a cinco meses, dependiendo de las distancias, la disponibilidad de pasturas y las condiciones meteorológicas. Las tareas durante la veranada se vinculan al manejo del ganado en campos amplios de pastoreo (reconocimiento del territorio y de predadores, cuidado del rebaño, rodeo del ganado para evitar su dispersión, facilitar su identificación y guardado en corrales; Fig. 4a, c, e) y a las actividades domésticas que



**Figura 4.** La veranada: a) Elementos característicos de un puesto de veranada: I) pirca, II) pirca-fogón, III) rial, IV) ruca despensa, V) corral y VI) huella de acceso; b) Trabajo de manejo de cabras en corral; c) Puesteros recorriendo los campos a caballo durante la erupción del 2018-2019; d) Rial, o vivienda de veranada, construida principalmente con chapa. De fondo, en el sector izquierdo de la imagen, el volcán Peteroa en erupción. e) Arreo de ganado en la ruta provincial N°226.

despliegan dentro del puesto temporario. El rial se constituye en el centro simbólico de la veranada y en el refugio por excelencia frente a los peligros meteorológicos de la zona, como nevadas, vientos intensos y lluvias (Ramires 2013).

La trashumancia se configura como un movimiento recurrente, pendular y funcional (Bendini et al. 2004), regulado por el ritmo cíclico de las estaciones (Fig. 3a), las necesidades del ganado, la disponibilidad forrajera y la presencia de fuentes de agua. También se trata de una práctica cultural ancestral que se desarrolla en la zona desde fines del siglo XIX (Ovando et al. 2011). En términos generales, el desplazamiento de los puesteros se inicia en diciembre y el descenso se produce entre marzo y abril. En la mayoría de los casos, el arreo del rebaño se realiza a caballo. Es una actividad esencialmente solitaria practicada por hombres, pero en algunas ocasiones también participan del traslado otros miembros de la familia. A partir de las distancias y el tiempo que demoran los trashumantes con el arreo (de 1 a 15 días), se pueden diferenciar tres tipos de desplazamientos: de corta, media y larga distancia (Ramires 2013, Fig. 1a).

Si bien en Malargüe, la práctica ganadera extensiva, trashumante y de subsistencia ha logrado resistir a los cambios acaecidos en la estructura productiva agraria, lo cierto es que existen un conjunto de factores que hacen peligrar su continuidad. Por un lado, la mayoría de los puesteros carecen de

la titularidad legal de los terrenos por los que transitan y en los cuales se asientan sus puestos permanentes y transitorios. La irregularidad en la tenencia y propiedad de estas tierras se presenta como un problema histórico que en la actualidad aún permanece sin resolución para este grupo social. Esta situación ha habilitado desde el cobro de alquileres de campos para el pastaje –en invernadas y veranadas– hasta procesos de desalojos y expulsión de aquellos territorios que estas familias habitan desde hace décadas (Ramires 2013, Camuz Ligio 2017, Soto y Martínez Navarrete 2020). Cabe mencionar que este conflicto se ve potenciado por la valorización de estos espacios debido a su riqueza en recursos naturales, así como por su valor paisajístico y aptitud para el desarrollo de emprendimientos turísticos.

Por otro lado, el desarrollo del sector turístico y el consecuente despliegue de infraestructura en la zona –camino asfaltado, carreteras interprovinciales e intercordilleranas y alambrado de los campos– ha ido desdibujando los caminos históricos de la trashumancia e imponiendo diversas limitaciones a esta práctica de subsistencia (Ovando et al. 2011, Ruiz Peyré 2019). Por último, las características tradicionales y sociopolíticas de esta actividad económica han dificultado el establecimiento de organizaciones colectivas capaces de fortalecer los procesos productivos, aumentar las redes de comercialización, trabajar en la resolución de problemas prio-



ritarios y negociar con los distintos niveles estatales –municipales, provinciales y nacionales– la implementación de políticas públicas que puedan mejorar las condiciones de vida de esta comunidad (Ramires 2013).

El conjunto de las características socio-económicas y demográficas aquí descritas dan cuenta de una población atravesada por múltiples vulnerabilidades: sociales, económicas y físicas. Estas condiciones resultan ser decisivas al momento de comprender la relación que las comunidades sostienen con los entornos que habitan, así como la susceptibilidad a distintas amenazas naturales.

## METODOLOGÍA

Para abordar la problemática expuesta y caracterizar los impactos asociados con el ciclo eruptivo 2018-2019, empleamos una estrategia metodológica mixta, recurriendo a múltiples fuentes de datos y combinando herramientas de las ciencias naturales con otras propias de las ciencias sociales. Para caracterizar la erupción y sus productos, nos apoyamos en el conocimiento geológico. En este sentido, visitamos el área de estudio, en diciembre 2018 y febrero 2019, y realizamos análisis físico-químicos tanto del material emitido como de las aguas de cursos fluviales próximos al sistema volcánico. De manera complementaria, se llevaron adelante entrevistas para recoger las experiencias y testimonios de las personas que se encontraron bajo la zona de influencia de la erupción.

### Entrevistas

Se realizaron un total de 19 entrevistas a productores agropecuarios (i.e. puesteros) que participaron de la veranada en la zona alcanzada por los productos asociados a la erupción 2018-2019 del volcán Peteroa (Fig. 1b). Las mismas se llevaron adelante en los puestos de internada entre los meses de julio y septiembre de 2019, poco después del retorno de los puesteros de la zona de veranada (Fig. 5).

Las entrevistas son una herramienta de uso extendido para adquirir información sobre diversos aspectos vinculados a peligros naturales a través de las personas (Bird 2009). Para el presente estudio, las mismas fueron estructuradas en base a un cuestionario, readaptado del utilizado por Forte et al. (2018a) para evaluar el impacto de la caída y subsecuente removilización eólica de ceniza asociada a la erupción del Cordón Caulle en 2011. El cuestionario para este estudio se estructuró en 4 secciones y 39 preguntas, combinando respuestas abiertas y cerradas (ver Material Suplementario 1). La sección 1 busca reunir información clasificatoria sobre la persona entrevistada. En la sección 2 se realizan preguntas

relacionadas a las características de la erupción de 2018-2019 del volcán Peteroa, con el objetivo de recuperar testimonios y percepciones en relación a este último ciclo eruptivo. La sección 3 indaga sobre los impactos asociados a dicha actividad, mientras que en la sección 4, el foco está puesto en recopilar datos sobre las medidas de mitigación y asistencia durante la erupción.

Las entrevistas tuvieron una duración promedio de 23 minutos. Previo consentimiento de los entrevistados, estas fueron grabadas para su posterior análisis. Aquellas preguntas de respuesta abierta fueron analizadas con el programa AtlasTi® y codificadas en distintas categorías y subcategorías en función de la temática consultada y el rango de respuestas obtenidas.

### Caracterización físico-química de tefra y aguas

Se realizó el análisis de lixiviados de dos muestras de tefra recolectadas en el valle Los Baños, a aproximadamente 6.5 km del centro de emisión (Fig. 1b). El material fue muestreado de acumulaciones a sotavento de rocas por personal del Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR), delegación Mendoza, el día 28 de diciembre de 2018. Aunque no es posible precisar la fecha de depositación, se interpreta que las muestras corresponden a la actividad explosiva que tuvo lugar en los días/horas precedentes a su recolección (Fig. 2), ya que provienen del área más frecuentemente alcanzada por la pluma eruptiva. Los ensayos de lixiviación se realizaron en el Laboratorio Químico de SEGEMAR, siguiendo los protocolos sugeridos por la *International Volcanic Health Hazard Network* (IVHHN) (Stewart et al. 2020). Se utilizó agua desionizada como solución de lixiviado en una proporción 1:25 peso/volumen (1g de material por cada 25 ml de agua) y se estableció un tiempo de contacto muestra-agua de 90 minutos. Posteriormente, se llevó adelante el análisis de los distintos elementos químicos lixiviados a través de una multiplicidad de técnicas. Las concentraciones de cationes mayoritarios y elementos trazas se determinaron mediante espectrometría de emisión óptica por plasma inductivo (ICP-OES), siguiendo el método 3120 B del *Standard Methods 23rd Edition* (APHA 2017). La evaluación de aniones mayoritarios se llevó a cabo a partir del método 4110 B del *Standard Methods 23rd Edition*, utilizando un cromatógrafo iónico Methrom 850 Profesional IC y una columna Metrosep A Supp 5. El contenido de Mercurio (Hg) fue cuantificado a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío mientras que la alcalinidad y concentración de bicarbonatos fue determinada vía titulación con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Se midió también conductividad y pH mediante conductimetría y potenciometría, respectivamente.

Complementariamente, se realizó el muestreo de aguas en cursos fluviales cercanos al volcán Peteroa, en febrero y diciembre 2018 (Fig. 1b). En campo, se determinaron los parámetros fisicoquímicos pH y conductividad utilizando un equipo portátil HANNA HI 179991301. Se colectaron muestras de agua en botellas plásticas de 250 ml para el análisis de aniones mayoritarios ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ) mientras que para el análisis de cationes mayoritarios ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}_{\text{tot}}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Si}$ ) y elementos trazas las muestras fueron colectadas en botellas plásticas de 150 ml previamente filtrados in situ con una bomba de filtrado manual con filtros de 0.20  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro. Las muestras para análisis de cationes se acidificaron con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) Suprapur hasta pH menor a 2. Para los análisis, se utilizó el mismo laboratorio, instrumental y métodos que los ya descriptos para los ensayos de lixiviados.

## RESULTADOS

### Entrevistas

**Datos socio-demográficos y características de la veranada:** La edad promedio de los entrevistados es de 54 ( $\pm$  11) años, con un rango etario comprendido entre los 38 y 74 años. El 84 % (n=16) de las personas entrevistadas se declara de género masculino, porcentaje en consonancia con la impronta de género que caracteriza a la actividad. En cuanto al nivel educativo alcanzado, más del 40 % (n=8) no ha finalizado los estudios primarios, mientras que el porcentaje restante se divide entre aquellos con primaria completa (32 %, n=6) y quienes presentan estudios secundarios incompletos (26 %, n=5). La actividad económica principal de todos los entrevistados es la ganadería. El 74 % (n=14) declara que esta actividad es su única fuente de ingreso, mientras que el ~25 % restante menciona tener fuentes de ingreso complementarias, vinculadas a actividades desarrolladas en centros urbanos.

La totalidad de las personas entrevistadas (n=19) declararon haber participado de la veranada 2018-2019. A excepción de un entrevistado, quien tiene puesto permanente en la zona de estudio, el resto desplazó su ganado, desde las invernadas (Las Loicas - Bardas Blancas), hasta la cuenca alta del río Grande durante el periodo estival (Fig. 1). El tiempo de permanencia promedio en la zona fue de 21.3 ( $\pm$  8.6) semanas (Fig. 5). La veranada más larga fue de 36 semanas y la más corta de tan solo 8. Es importante destacar que todos los entrevistados estuvieron en la zona durante el periodo de mayor actividad eruptiva del volcán Peteroa (diciembre de 2018 a marzo de 2019, Fig. 2). En promedio, cada puesto estuvo

**Cuadro 1.** Tipo y número de ganado desplazado en la veranada 2018-2019.

Tipo de ganado	N° entrevistados (%)	N° animales
Aviar	32	123
Bovino	95	1907
Caprino	89	10330
Equino	100	652
Ovino	63	791
Porcino	0	0
Otro	5	2*

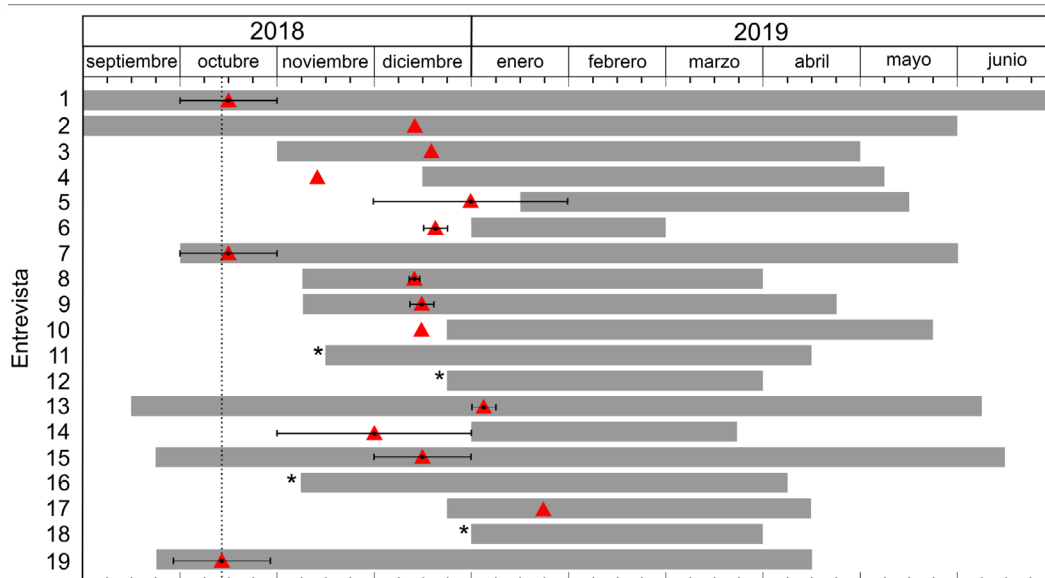
\*Mulas

habitado por 3 personas, con un rango variable entre 1 y 7. En el cuadro 1 se detalla el tipo y cantidad de ganado que desplazaron, reflejando que la actividad ganadera está dominada por la cría de ganado vacuno, equino y caprino, siendo este último ampliamente predominante en número de cabezas de ganado. La ganadería ovina es complementaria para algunos puesteros, mientras que la avicultura (i.e. cría de gallinas), se desarrolla solo para consumo personal.

Para comprender las problemáticas que esta comunidad afronta en la veranada, y qué espacio ocupa la amenaza volcánica en este contexto, se les solicitó a los puesteros que mencionen tres problemas principales, de cualquier índole. Así, mencionaron un total de 47 problemas, 35 de índole ambiental y 12 asociados a temáticas sociales. En relación a los primeros, el 75 % (n=14) señaló la presencia de animales predadores (i.e. puma y zorro) como uno de los principales problemas que afecta el desarrollo de la práctica ganadera en la zona. En segundo lugar, se destacan la sequía (42 %, n=8) y la actividad volcánica (37 %, n=7), seguidos, en menor proporción, por la calidad de las pasturas (21 %, n=4). Por último, un criancero (5 %) mencionó la explotación de recursos naturales y otro la actividad sísmica. Las problemáticas sociales, por su parte, se vinculan a la falta de infraestructura (21 %, n=4) (e.g. caminos, telecomunicaciones), tenencia y titularidad de la tierra (16 %, n=3), falta de asistencia estatal (16 %, n=3) y problemas de convivencia (11 %, n=2). A las 12 personas que no incluyeron a la actividad volcánica entre sus respuestas, se les repreguntó específicamente sobre la existencia de problemas vinculados con el medioambiente y la naturaleza. De este subgrupo, cinco personas mencionaron volcanismo, cuatro sequía y una problemas vinculados a cambios en el clima (sin hacer mención específica a la falta de agua).

### Descripción de la erupción

Al ser consultados sobre la fecha de inicio de la erupción, el 79% (n=15) afirmó recordarla y proporcionó una fecha (Fig.

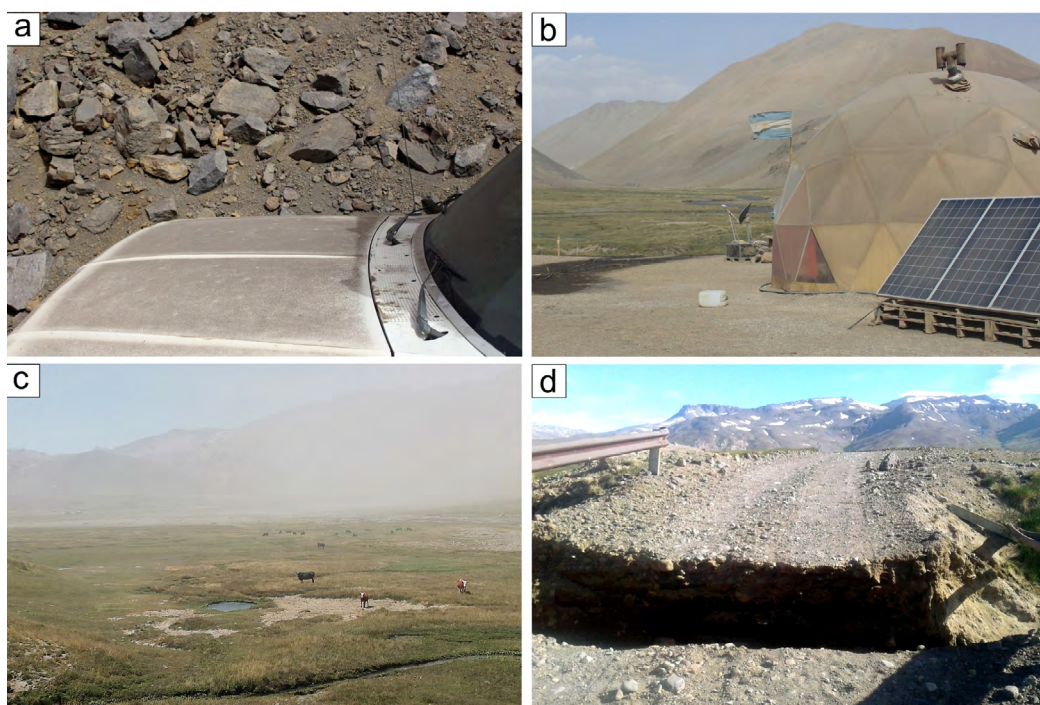


**Figura 5.** Periodos de veranada e inicio de erupción, según reportado por los entrevistados. Las barras horizontales representan el período en el cual los entrevistados reportan haber estado en sus puestos de veranada. Los triángulos rojos indican la fecha mencionada por los entrevistados como el inicio de la erupción. En el caso que la respuesta no fuera precisa, se indicó el rango provisto por los entrevistados. Los asteriscos indican los entrevistados que respondieron no recordar la fecha de la erupción. La línea punteada vertical representa el inicio de la erupción según Romero et al. (2020).

5), en algunos casos precisa y en otros un rango aproximado (semanas/mes). La mayoría de las respuestas oscilaron entre octubre (n=3) –fecha mencionada por Romero et al. (2020) como inicio del ciclo eruptivo– y diciembre (n=9) –periodo coincidente con el inicio de la fase explosiva de mayor intensidad–.

En términos generales, los relatos y descripciones sobre las características de la erupción son similares. La totalidad de los puesteros hizo referencia a la esporádica, pero recurrente, emisión y caída de ceniza volcánica en la zona –incluso aquellos cuyas veranadas se encuentran a más de 34 km del volcán Peteroa, distancia reportada por Romero et al. (2020)

como el alcance máximo de la pluma volcánica–. Es importante destacar que la gran mayoría no utilizó la palabra ceniza en sus descripciones, sino términos como “humo”, “polvareda”, “niebla” y “arena”. Adicionalmente, seis puesteros (32 %) reportaron cambios de coloración en la pluma de ceniza a lo largo del ciclo eruptivo, alternando entre blanco, gris y rojizo. Dos entrevistados hicieron mención a la presencia de ceniza en cursos fluviales, la que identificaron por el cambio de color del agua. En cuanto a los depósitos de ceniza, todos coinciden en que los espesores eran reducidos y oscilaban entre 1 mm y 1 cm (Fig. 6a, b). El 74 % (n=14) describió haber percibido olor a azufre en su veranada, mientras que 42 % (n=8)



**Figura 6.** Observaciones de campo durante la erupción: a) Vehículo estacionado en las cercanías del volcán Peteroa cubierto por espesor milimétrico de ceniza; b) Campamento del proyecto invernal El Azufre, ubicado 10 km al SE del centro eruptivo. Se puede observar cobertura parcial de ceniza en carpa y paneles solares; c) Ganado bovino pastando en el valle El Peñón mientras la pluma de ceniza se desplaza al SE; d) Puente colapsado en ruta provincial N° 226, en la intersección de la misma con el arroyo El Peñón, 500 metros al sur del puesto de Aduana argentina Paso Vergara.

dice haber escuchado explosiones ocasionalmente. Poco más del 20 % (n=4) mencionó haber sentido temblores. Dos puesteros detectaron incandescencia en el cráter activo. Finalmente, ante la pregunta “¿Observó la presencia de (más) ceniza volcánica en el aire los días con viento?”, cerca del 60 % (n=11) respondió afirmativamente. Entre las descripciones se destacan la frecuente removilización de ceniza depositada en laderas y fondos de valles y la reducción de visibilidad los días con más viento.

**Impactos:** Al indagar sobre la existencia de impactos negativos producto del ciclo eruptivo, las respuestas estuvieron balanceadas entre la afirmativa y la negativa. La mitad de los entrevistados (47 %; n=9) indicó que su veranada se vio afectada por la erupción. A su vez, al ser consultados por el estado en el que se encontraban las superficies de pastoreo, el 58 % (n=11) reportó la presencia de ceniza volcánica en sus campos: 10 puesteros indicaron que la afectación fue parcial y solo uno –con su puesto ubicado en la zona del valle Los Baños–, que las pasturas se encontraban completamente cubiertas por ceniza. Al analizar estas respuestas en función de la distribución de los puestos, se observa una correlación positiva entre las zonas afectadas, la distancia al centro eruptivo y la dirección predominante de la pluma eruptiva.

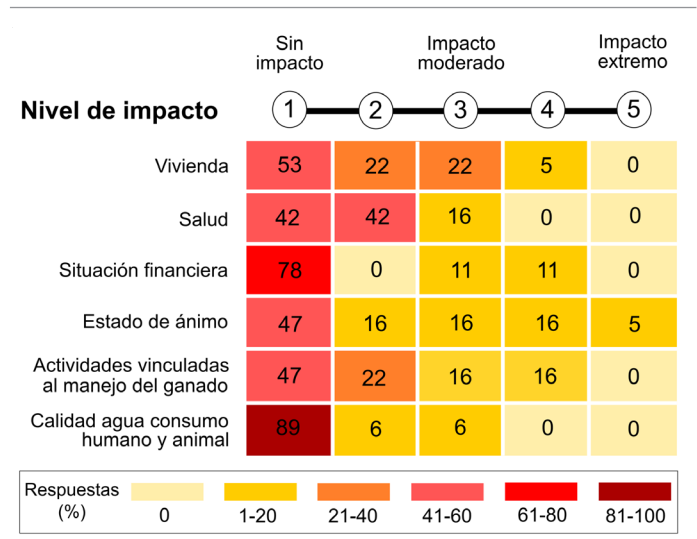
En relación al ganado, sólo el 32 % (n=6) de los entrevistados consideran que la erupción tuvo algún impacto negativo sobre este. Los efectos mencionados con mayor frecuencia fueron la ceguera y los problemas respiratorios, mientras que un puestero indicó malnutrición en su ganado caprino. Sólo dos de los entrevistados reportaron la muerte de ganado –7 caballos y 15 carneros (ovino)– producto de la erupción. No obstante, no disponemos de evidencias para confirmar que el deceso de estos animales haya sido consecuencia de la actividad eruptiva en curso.

Por otro lado, se solicitó que evaluaran, en una escala de 1 a 5, el impacto negativo que tuvo la erupción en una serie de elementos y actividades (Fig. 7). Los resultados demuestran que, en términos generales, los puesteros perciben que el ciclo eruptivo 2018-2019 tuvo un impacto entre nulo y moderado en las categorías consultadas. Aquellas categorías con mayor diversidad de respuestas son las de estado de ánimo, vivienda y actividades vinculadas al manejo de ganado (e.g. búsqueda y rodeo de ganado). En lo referido a la salud, casi el 60 % considera que los impactos han sido reducidos a moderados mientras que el porcentaje restante indica que fue nulo. En el otro extremo, las categorías de agua para consumo (humano y animal) y situación financiera, fueron las que mostraron menor dispersión en su ponderación, con más del 75 % de los entrevistados reportando la ausencia de consecuencias negativas. No obstante, durante el desarrollo de las

entrevistas, más de la mitad de los puesteros expresaron su preocupación por la posible contaminación del agua.

De manera complementaria, los entrevistados fueron consultados específicamente sobre la presencia de efectos adversos en la salud. En este caso, el número de respuestas positivas ascendió al 63 % (n=12). Los impactos detallados se centran en los efectos de la ceniza tanto en ojos como en el tracto respiratorio superior (i.e. nariz y garganta). Describen, en este sentido, la irritación y ardor de los ojos, picazón de nariz y garganta, así como la ocurrencia de tos. Por último, se les preguntó si “¿Considera que la actividad del volcán durante la última veranada le ocasionó/ocasionará alguna dificultad en la comercialización de sus productos agropecuarios?”. El 68 % (n=13) respondió que no, mientras que el 32 % restante centró su preocupación en la falta de peso de los animales, lo cual podría dificultar una futura venta o incluso causar la muerte del ganado. Además, dos puesteros mencionaron haber notado una disminución en las ventas de ganado incluso durante el periodo en que el volcán Peteroa se encontraba en erupción, lo cual atribuyen al cierre del paso internacional Vergara y a la consecuente disminución de la circulación de turistas en la zona.

**Información sobre la erupción, mitigación y asistencia:** Preguntamos, también, sobre cómo se informaron del inicio y evolución del ciclo eruptivo 2018-2019. Cerca de la mitad de los consultados (42 %, n=8) indicó haber visto la erupción desde sus veranadas antes de recibir cualquier tipo de información o aviso. Mismo porcentaje mencionó haberse enterado por la radio (Radio Malargüe – AM 790), mientras



**Figura 7.** Evaluación del nivel de impacto sobre distintas categorías, según los propios entrevistados (ver pregunta 25 del cuestionario). El código de color representa el rango porcentual de entrevistados que asignaron un mismo nivel impacto para la categoría consultada. En cada casillero, el número indica el porcentaje específico de respuestas para esa opción.

que sólo dos señalaron haber sido avisados por Gendarmería Nacional. El 84 % (n=16) señaló a la radio como el principal medio de comunicación, posicionándose como el instrumento de comunicación más utilizado en la zona durante la erupción. Sólo dos puesteros indicaron haber recibido información a través de telefonía móvil. Igual número de personas mencionó que su principal fuente de información fueron las autoridades fronterizas chilenas (se interpreta: Policía de Investigaciones (PDI) sección el Romeral y Carabineros). Un sólo entrevistado mencionó el intercambio de información con puesteros vecinos, mientras que dos de los crianceros obtuvieron información a través de las personas que ocupan el campamento del proyecto invernal El Azufre (Fig. 6b). Se destaca como dato significativo que casi el 70 % de los puesteros no logró asociar la información recibida con ninguna autoridad nacional o internacional competente. Entre las pocas excepciones, se encuentran dos menciones a Defensa Civil de la municipalidad de Malargüe.

Las preguntas 31 a 34 estuvieron enfocadas a obtener información sobre posibles cambios en infraestructura y hábitos como resultado de la erupción. De las respuestas se desprende que una amplia mayoría (> 90 %) no realizó ningún cambio en su puesto de veranada ni en los hábitos de manejo de ganado. Sólo una persona mencionó haber utilizado nylon para cubrir aberturas de la vivienda y tapar objetos para protegerlos de la ceniza y otra comentó que decidió mantener al ganado en zonas bajas y cercanas al puesto, ante la incertidumbre de un aumento en la actividad volcánica. Sin embargo, sí se observaron cambios de hábitos en pos de implementar medidas preventivas para la salud. El 68 % (n=13) de los puesteros indicó el uso frecuente de tapabocas (barbijo o tela) y protección ocular (antiparras o gafas de sol). Dos entrevistados destacaron haber tenido especial cuidado con el agua utilizada para consumo, optando por el recurso de las vertientes y evitando los arroyos de la zona. Ningún entrevistado adelantó su regreso a la invernada.

Se indagó, también, sobre la asistencia recibida. Aproximadamente el 70 % (n=13) de los crianceros expresaron haber recibido algún tipo de asistencia durante el transcurso de la veranada, principalmente ofrecida por el área Departamental de Salud y la Municipal de Veterinaria. Un entrevistado mencionó haber sido asistido por la comunidad de pueblos originarios a la que pertenece, mientras que otro, ubicado al norte del volcán, indicó haber recibido ayuda de amigos chilenos, especialmente luego de la interrupción de la única ruta de acceso (Fig. 6d). En las descripciones, se presentan distintos tipos de intervenciones que van desde la entrega de barbijos y difusión de la asistencia médica otorgada en el puesto sanitario de Las Loicas, hasta visitas médicas y aten-

ción veterinaria al ganado en los puestos. Al igual que para el caso de las fuentes de información, los entrevistados mostraron dificultad para identificar las instituciones involucradas.

Finalmente, se les solicitó que evalúen la asistencia recibida en una escala de 1 (muy mala) a 5 (muy buena). En promedio, fue evaluada como mala a regular (2.5), con 16.7 % considerándola muy mala, 27.8 % mala, 44.4 % regular, 11.1 % buena y 0 % muy buena. Una crítica recurrente fue la falta de presencia de autoridades de protección civil y políticas municipales (Malargüe) o provinciales en los puestos de veranada.

## Análisis físico-químico de tefra y aguas

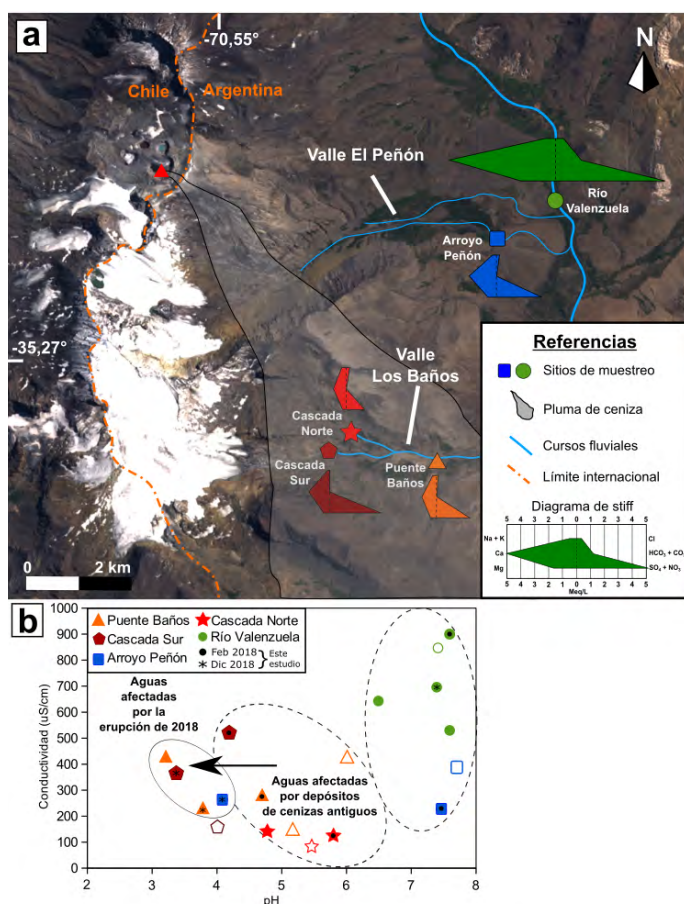
**Lixiviados de tefra:** Los resultados del análisis de lixiviación de las cenizas (Cuadro 2) indican un descenso hasta pH 6 del agua desionizada y un incremento en la conductividad hasta 274  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A su vez, se detectaron concentraciones por encima del límite de detección de algunos iones y elementos como  $\text{SO}_4$ , Cl, F, Mg, Fe, Al, Ni y Mn. Por otro lado, elementos trazas caracterizados como tóxicos a partir de determinados umbrales de concentración (As, Cd, Cu, Hg y Pb) se encuentran por debajo del límite de detección.

**Aguas de escorrentía:** Se analizaron aguas de la cascada sur, cascada norte y puente Baños, en el valle Los Baños, una muestra obtenida del arroyo Peñón, en el valle homónimo, y una muestra del río Valenzuela, al norte de los anteriores (Fig. 8). Los resultados de las muestras tomadas en diciembre 2018 –luego de iniciada la erupción– arrojan que las aguas en el valle Los Baños, en sus tres puntos de muestreo,

**Cuadro 2.** Análisis de lixiviados reportados en (mg/kg). pH y conductividad ( $\mu\text{S}/\text{sec}$ ).

	Muestra		Límite cuantificación
	CP1218-01	CP1218-02	
Mn	2	2.2	0.1
As	< 0.15	< 0.15	0.15
Cd	<0.06	<0.06	0.06
Cu	<0.06	<0.06	0.09
Fe	8	2.5	0.03
Al	42	30	0.03
Hg	<0.03	<0.03	0.03
Ni	0.1	0.1	0.02
Pb	<0.2	<0.2	0.2
Mg	0.022	0.027	0.02
Cl	0.1	0.08	0.03
$\text{SO}_4$	2.8	2.7	0.025
F	0.075	0.067	0.0015
Alcalinidad total	<500	<500	<500
Bicarbonatos	<500	<500	<500
pH	6.2	6	-
Conductividad	274	263	-

eran sulfatadas con composiciones catiónicas intermedias a cálcicas (Fig. 8a), ácidas (pH 3.4 – 4.8) y con conductividades entre 141 y 362  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 8b). Resultados similares se observan para las aguas del arroyo Peñón, con igual composición química que las anteriores, pH 4.1 y conductividad de 267  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 8b). Por otro lado, las aguas del río Valenzuela eran de sulfatadas a sulfatadas-bicarbonatadas con relaciones catiónicas intermedias (Fig. 8a), valores de pH casi neutro (7.4) y conductividad promedio cercana a los 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 8b). En los cuadros 3 y 4 se detallan los valores aquí presentados, junto con los obtenidos para los cationes, aniones y elementos traza medidos. Elementos como el Mn y Sr presentan valores por encima de los 100  $\mu\text{g}/\text{L}$ , mientras que el resto de los elementos traza posee concentraciones en torno a los 10  $\mu\text{g}/\text{L}$  o incluso por debajo del límite de detección.



**Figura 8.** Análisis físico-químico de aguas de escorrentía: a) Ubicación y composición química de las muestras tomadas en febrero y diciembre de 2018. b) Diagrama de pH vs. conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) donde se reconoce un proceso de acidificación de las muestras afectadas por la erupción de diciembre de 2018. Los círculos negros y asteriscos en el centro de los íconos indican que las muestras corresponden a febrero y diciembre 2018, respectivamente. Los íconos con relleno, sin agregados en su centro, corresponden a muestras analizadas por el Departamento de Irrigación de la provincia de Mendoza para el período eruptivo (ver Cuadro 3) mientras que los íconos sin relleno corresponden a muestras del período pre-eruptivo (2015-2017) publicadas por Nogués (2019).

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mediante las distintas metodologías empleadas nos permiten acceder a una primera caracterización sobre los efectos que la erupción tuvo en las personas, sus actividades y en el medioambiente. Asimismo, las entrevistas nos dieron la oportunidad de indagar acerca de la percepción y opinión que los puesteros tienen sobre la comunicación, mitigación y asistencia durante el ciclo eruptivo. En esta sección, nos abocamos, en primera instancia, a integrar estos datos con el objetivo de comprender en mayor profundidad, y desde distintas perspectivas, lo que dejó el ciclo eruptivo 2018-2019 del volcán Peteroa. En segundo lugar, proponemos el ejercicio de proyectar los resultados de este análisis a otros escenarios posibles.

### Características e impactos del ciclo eruptivo 2018-2019

Un primer elemento a analizar son las descripciones sobre la erupción brindadas por los puesteros entrevistados. Estas no solo son precisas y consistentes entre sí, sino que en la mayoría de los casos coinciden con lo reportado por los organismos a cargo del monitoreo del volcán y, también, con nuestras propias observaciones de campo. Ejemplos de esto son la identificación de variaciones en la coloración de la pluma eruptiva (Fig. 2) y la precisión en la fecha de inicio de la erupción (Fig. 5).

Otro punto a considerar, vinculado al anterior, es la característica del depósito generado por este ciclo eruptivo. Ninguno de los entrevistados midió el espesor de material depositado en su veranada, pero sus estimaciones concuerdan con las observaciones realizadas por miembros de este equipo de trabajo (Fig. 6a, b). Durante las visitas a la zona, identificamos que los únicos lugares con acumulaciones de ceniza superiores al centímetro eran las inmediaciones del cráter (< 500 m), así como zonas al reparo del viento en valles aledaños al mismo (i.e. valles Los Baños y El Peñón). El poco espesor de ceniza depositado (entre 1 mm y 1 cm) permite explicar, al menos parcialmente, el bajo impacto reportado por los puesteros tanto en sus viviendas como en las superficies de pastoreo y el ganado. Esto coincide con observaciones realizadas para otras erupciones de características similares en diversos lugares del planeta (e.g. Jenkins et al. 2015). Asimismo, se observa cierto grado de condicionamiento del nivel de impacto por la distancia entre el puesto de veranada y el centro volcánico, algo esperable para regiones con características climáticas, geográficas y vulnerabilidades similares (Craig et al. 2016). Un factor adicional que influyó en el impacto regis-

**Cuadro 3.** Concentración de iones y elementos mayoritarios (mg/L), temperatura (T) en °C y conductividad (µS/cm) de las aguas muestreadas en febrero y diciembre de 2018. Se muestran, también, resultados de muestras analizadas por el Departamento de Irrigación de la provincia de Mendoza durante el período eruptivo. A fines de comparar con las condiciones pre-eruptivas, se incorporaron los resultados presentados por Nogués (2019).

Sitio de muestreo	Fecha	Fuente	T	pH	SC	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	F	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
Puente Baños	01/03/2016	Nogués (2019)	7	5.20	150	n.d.	100	3.1	n.a.	6.0	2.6	16	5.9	12	9.1
	21/02/2017	Nogués (2019)	12	6.02	425	n.a.	99	2.3	0.18	3.6	1.6	9.6	3.2	2.9	0.44
	17/02/2018	Este estudio	15	4.73	270	n.d.	184	4.2	n.a.	3.9	1.6	17	4.3	14	5.9
	28/12/2018	Este estudio	n.a.	3.80	231	n.d.	77	2.2	0.37	3.9	1.8	15	3.8	0.06	0.66
	24/01/2019	Irrigación - 14422	n.a.	3.20	419	n.d.	138	7.6	0.79	3.7	2.2	21	8	n.a.	7.4
Cascada sur	01/03/2016	Nogués (2019)	7	4.00	160	n.d.	124	2.4	0.05	3.3	2.2	11	2.9	10	12
	22/02/2018	Este estudio	10	4.18	520	n.d.	380	103	n.a.	6.1	1.4	36	7	43	23
	28/12/2018	Este estudio	n.a.	3.40	362	n.d.	118	1.5	0.41	3.2	n.d.	20	3.6	0.14	5.3
Cascada norte	01/03/2015	Nogués (2019)	10	5.6	n.a.	16	34	42	0.65	30	n.d.	17	n.d.	3.5	1.1
	01/03/2016	Nogués (2019)	12	5.48	90	13	46	2.6	1.3	3.6	1.6	15	4.9	4.5	5.8
	22/02/2018	Este estudio	12	5.81	120	19	45	n.a.	0.09	2.3	1.4	11	2.7	0.08	0.25
	28/12/2018	Este estudio	n.a.	4.80	141	n.d.	44	6.1	0.38	2.2	5.7	13	2.1	0.01	0.67
Arroyo del Peñón	16/03/2015	Nogués (2019)	24	5.90	n.a.	308	89	22.2	0.57	22.4	3.9	20.3	21.4	9.7	0.15
	05/03/2016	Nogués (2019)	7	7.70	390	34	130	4.5	0.2	8.9	2.4	35	14	2.4	2.1
	19/02/2018	Este estudio	9	7.47	230	10	79	4.3	0.14	5.9	1.5	18	8.2	1.0	0.04
	28/12/2018	Este estudio	n.a.	4.10	267	n.d.	103	4.6	0.88	4.5	2	27	5.1	0.03	3.2
Río Valenzuela	03/03/2016	Nogués (2019)	12	7.61	n.a.	60	169	9.5	0.32	14	54	17	17	12	7.5
	21/07/2017	Nogués (2019)	12	7.42	847	125	319	20	0.64	23	130	28	28	0.11	n.d.
	17/02/2018	Este estudio	17	7.60	900	128	377	33	0.27	22	107	30	30	0.06	0.01
	18/12/2018	Irrigación - 14302	n.a.	7.60	530	67	185	13	0.62	12	73	13	13	n.d.	n.d.
	18/12/2018	Irrigación - 14423	n.a.	6.50	643	33	266	16	0.76	12	90	15	15	n.d.	n.d.
	28/12/2018	Este estudio	n.a.	7.40	696	74	249	13	0.17	12	102	20	20	0.03	0.02

(n.a.: no analizado; n.d.: no detectado).

**Cuadro 4.** Composición química de elementos trazas de las muestras tomadas en febrero y diciembre de 2018. Las concentraciones se expresan en µg/L.

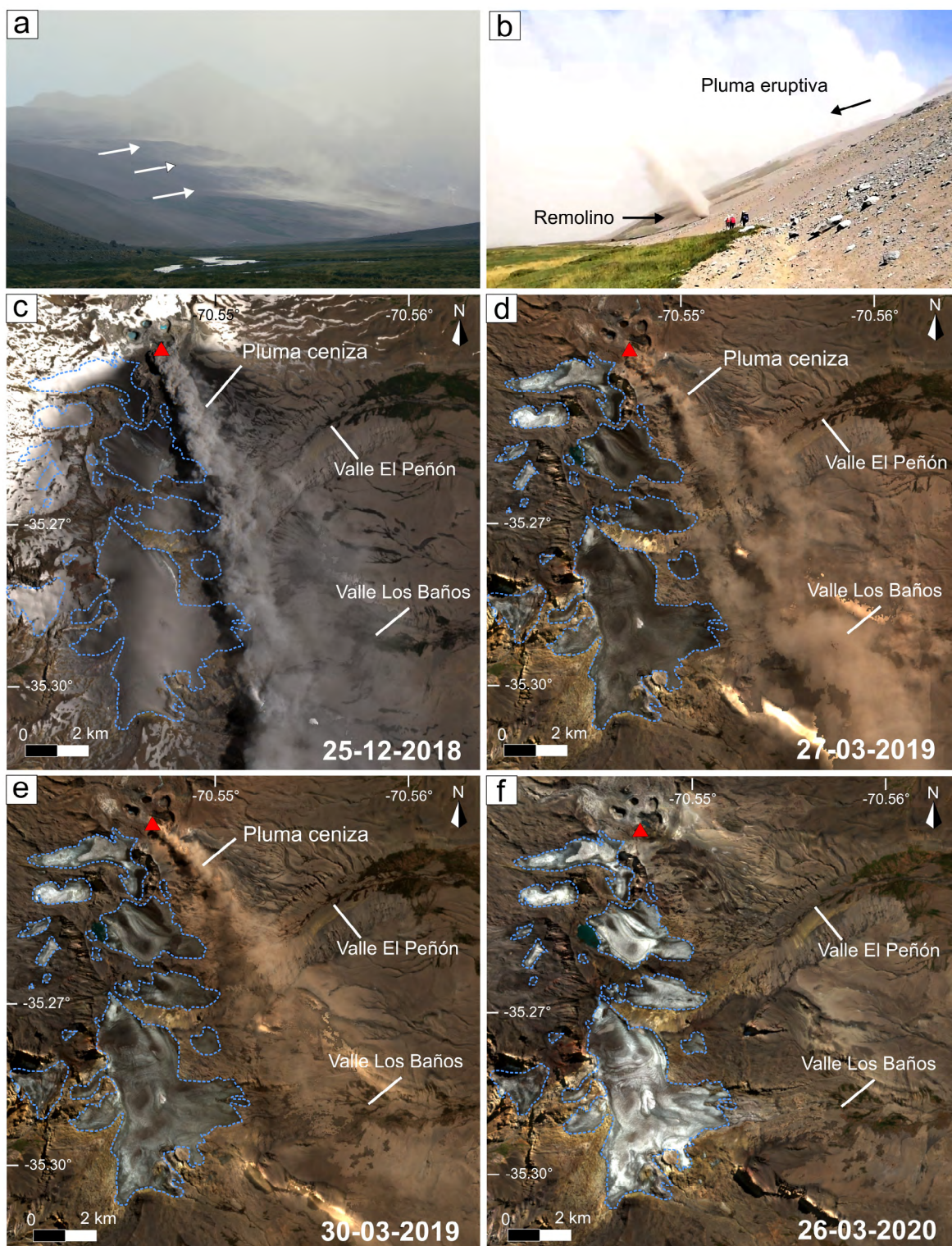
Sitio de muestreo	Fecha	Mn	Li	B	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	U	V	Zn
Arroyo de Los Baños	17/02/2018	287	10	104	11	22	5.4	3.7	n.d.	n.d.	n.d.	2.9	n.d.	n.d.	50	n.d.	7.5	34
	28/12/2018	158	n.d.	47	n.d.	22	n.d.	5.6	n.d.	10	1.2	6.2	n.d.	15	60	10	9.6	6.5
Cascada sur	22/02/2018	555	n.d.	78	8.5	47	14	9.4	2.8	12	n.d.	8.3	8.7	n.d.	103	n.d.	42	89
	28/12/2018	88	n.d.	n.d.	n.d.	22	n.d.	9.8	n.d.	14	1.2	8.8	n.d.	19	69	10	3.6	15
Cascada norte	22/02/2018	153	n.d.	n.d.	8.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.9	n.d.	n.d.	n.d.	5.7	26	n.d.	n.d.	14
	28/12/2018	90	n.d.	n.d.	n.d.	11	n.d.	n.d.	n.d.	4.5	1.3	1.6	7.5	19	50	n.d.	4.7	n.d.
Arroyo del Peñón	19/02/2018	210	9	42	11	n.d.	n.d.	3.2	n.d.	3.7	1.2	1.5	n.d.	n.d.	51	10	n.d.	12
	28/12/2018	222	9	n.d.	13	27	n.d.	5	n.d.	15	1.2	4.2	8.7	12	99	10	n.d.	8.7
Río Valenzuela	17/02/2018	45	30	152	18	6.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.8	n.d.	25	677	n.d.	12	1.5
	28/12/2018	n.d.	20	73	6	6.7	n.d.	n.d.	n.d.	1.5	1.5	n.d.	7.5	20	656	17	7.7	n.d.

(n.a.: no analizado; n.d.: no detectado).

trado fue la ubicación del puesto con respecto al volcán. En particular, aquellos ubicados al E-NE del Peteroa quedaron prácticamente fuera del alcance de la ceniza la mayor parte del tiempo.

Surgen entonces las siguientes preguntas: ¿Por qué la

acumulación de ceniza en los campos es tan baja? ¿Es exclusivamente un reflejo de la baja magnitud de la erupción? En nuestras visitas a la zona pudimos presenciar la cuasi-permanente removilización de ceniza por acción del viento, tanto de forma masiva (Fig. 9a) como asociada a remolinos de corta



**Figura 9.** Removilización eólica de los depósitos 2018-2019 del volcán Peteroa. a) Removilización masiva de ceniza depositada en la ladera oriental del Complejo volcánico Planchón-Peteroa, entre los valles El Peñón y Los Baños. b) Remolino de ceniza en la ladera norte del valle del Peñón. Se puede observar la pluma eruptiva de la erupción en curso desplazándose hacia el SE desde la zona de emisión, ubicada en el sector superior izquierdo de la imagen. Se incorporaron las flechas para facilitar la identificación de lo anteriormente descrito. En el material suplementario se provee el registro audiovisual de este proceso (Ver video suplementario 1). c-f) Imágenes satelitales color verdadero Sentinel-2 L2A obtenidas a través de Sentinel Hub EO Browser (<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>) para el período diciembre 2018 – marzo 2020. En línea punteada celeste se señalan los límites del glaciar emplazado en el sector superior del Complejo volcánico Planchón-Peteroa. La secuencia de imágenes permite observar el cambio en la cobertura de ceniza en el glaciar a la vez que variaciones en la forma y color de la pluma de ceniza. La imagen f muestra la zona aproximadamente un año después de la finalización del ciclo eruptivo.



duración (Fig. 9b). Esto fue reconocido también por más de la mitad de los puesteros consultados. La removilización eólica de ceniza volcánica ha sido ampliamente identificada y estudiada para depósitos de erupciones explosivas de magnitud moderada a grande ( $IEV > 3$ ), como los de las erupciones de los volcanes Katmai-Novarupta (1912), Hudson (1991), Eyjafjallajökull (2010), Cordón Caulle (2011) y Calbuco (2015) (e.g. Wilson et al. 2011a, Thorsteinsson et al. 2012, Reckziegel et al. 2016, Forte et al. 2018a,b, Dominguez et al. 2020a,b, Mingari et al. 2020, Del Bello et al. 2021). No obstante, casos como el del volcán Peteroa han recibido escasa atención. En ciclos eruptivos como este, con explosiones freato-magmáticas pulsátiles, de baja magnitud e intensidad ( $IEV < 3$ ), que se extienden durante semanas a meses, y en los cuales el volumen total de material emitido es poco, la removilización eólica probablemente sea uno de los principales responsables del bajo potencial de preservación de los depósitos primarios en el registro geológico. Desde una perspectiva del impacto, la removilización por acción del viento en la zona podría ser considerada como un proceso que contribuyó a mantener las superficies de pastoreo descubiertas, facilitando al ganado el acceso a su única fuente de alimentación. Esta dinámica difiere de las observadas para casos como el de las erupciones de Cordón Caulle en 2011-2012 y Hudson en 1991, en dónde la removilización acentuó los efectos de la caída de ceniza en las actividades agrícola-ganaderas durante la erupción y los prolongó durante varios años una vez finalizadas las mismas (Wilson et al. 2013, Forte et al. 2018a,b). Esta singular dinámica identificada en nuestro estudio proporciona nuevos elementos para discutir—en futuras investigaciones— la influencia de variables como el volumen emitido, espesor del depósito y características físicas del material en la magnitud, duración e impacto de los eventos de removilización de ceniza volcánica (e.g. Jarvis et al. 2020). Por último, es importante mencionar que este proceso se ve favorecido durante los meses de verano, cuando las altas velocidades de vientos y escasez de precipitaciones se combinan con la pobre cobertura vegetal (i.e. pastizales) dominante en la zona (Fig. 3b). En la figura 9 c-f, se presentan evidencias sobre la velocidad que el proceso de removilización eólica puede tener en el área de estudio. Para el caso de la comparación interanual (Fig. 9e-f) habría que considerar, también, la influencia de las precipitaciones.

Un problema vinculado a la removilización eólica, así como también a la caída de ceniza, es la incorporación de material piroclástico fino en los sectores bajos de la atmósfera. Esto genera un impacto directo en la calidad de aire, con potenciales consecuencias negativas para la salud de las personas expuestas. Estas pueden variar desde irritación de ojos y vías respiratorias superiores, producto de la capacidad abrasiva

de la ceniza, hasta efectos respiratorios graves a corto plazo (e.g. ataques de asma y bronquitis) y largo plazo (e.g. silicosis y enfermedad obstructiva pulmonar crónica, EPOC), debido a su toxicidad (Horwell y Baxter 2006). La fracción granulométrica de ceniza con capacidad de ingresar al sistema respiratorio es aquella  $< 15 \mu\text{m}$  de diámetro: las partículas entre  $15\text{-}10 \mu\text{m}$  afectan el tracto respiratorio superior; aquellas  $< 10 \mu\text{m}$  representan la fracción “torácica” y puede ingresar a los bronquiolos; mientras que la fracción  $< 4 \mu\text{m}$ , llamada “respirable”, puede ingresar a los alvéolos pulmonares. De acuerdo a las entrevistas, más del 60 % de los consultados sintió molestias en nariz, garganta u ojos. Desafortunadamente, no conocemos ningún estudio que haya monitoreado la calidad de aire en la zona durante la erupción. Análisis granulométricos realizados por Romero et al. (2020) en dos muestras obtenidas a menos de 3 km de distancia del centro emisor indican que la ceniza estaba compuesta, en volumen, por 16-17 % de material  $< 15 \mu\text{m}$ , 9 %  $< 10 \mu\text{m}$  y 5-6 %  $< 4 \mu\text{m}$ . Estos valores deben ser considerados como una estimación mínima ya que, por un lado, representan al depósito proximal y, por el otro, parte de la fracción fina del depósito pudo haber sido removilizada en el tiempo transcurrido entre su depositación y muestreo (e.g. Dominguez et al. 2020a).

Otro punto a evaluar, relacionado al potencial impacto de las cenizas, es la presencia de elementos solubles en su superficie. Al entrar en contacto con agua o fluidos corporales, la ceniza fresca puede liberar determinados componentes químicos, con consecuencias para cuerpos de agua, suelos, animales y la salud humana (e.g. Flueck y Smith-Flueck 2013, Cronin et al. 2014, Stewart et al. 2020). Nuestros ensayos de lixiviación demuestran que las cenizas del volcán Peteroa colectadas en diciembre de 2018 tienen la capacidad de alterar las características físico-químicas del agua. Esta observación se comprueba en el análisis conjunto de estos resultados con los de las aguas muestreadas en febrero 2018, previo a la erupción, y también con las obtenidas por Nogués (2019) para el período 2015-2017 (Fig. 8b, Cuadro 3). En particular, se observa un descenso significativo del pH en los sitios afectados directamente por la caída de cenizas del ciclo 2018-2019 (cascada sur, cascada norte, arroyo de Los Baños y arroyo Peñón). Esto se debe a la poca capacidad que tienen estas aguas para neutralizar el aporte de protones que proveen las cenizas, algo que sí pueden desarrollar las aguas termales bicarbonatadas de la zona (Sanci et al. 2010, Nogués 2019). Si bien la acidificación de aguas producto de la caída de ceniza volcánica es un proceso reconocido en otros sistemas volcánicos, tanto de la Zona Volcánica Sur (e.g. Llano et al. 2020) como del resto del mundo (e.g. Stewart et al. 2006, Cronin et al. 2014), es un cambio poco perdurable en el tiempo y no

significativamente tóxico para el consumo humano o animal. Por otro lado, no se reconoce una transferencia química significativa desde la ceniza depositada a los cuerpos de agua. Las composiciones obtenidas para las aguas superficiales de la zona no presentan variaciones con respecto a estudios realizados con anterioridad a la erupción (ver Cuadros 3 y 4). Sin embargo, vale la pena remarcar que las cenizas emitidas en ciclos eruptivos previos y acumuladas entre las capas de hielo del glaciar que corona al complejo volcánico otorgan las características particulares que poseen las aguas de la zona (Nogués 2019). Idénticos resultados a los aquí presentados han sido reportados por Departamento General de Irrigación, órgano dependiente de la provincia de Mendoza (Cuadro 3). Por último, otro efecto reconocido en las aguas de la zona fue el aumento en la turbidez mencionado por los puesteros de la zona y observado en campo durante la toma de muestras.

### Gestión de la crisis volcánica

Las entrevistas también nos permitieron indagar sobre otras dimensiones vinculadas a este ciclo eruptivo del volcán Peteroa; particularmente, aquellas referidas a la gestión de la crisis. Si bien nuestro estudio no permite realizar un análisis integral de este aspecto, recupera una variable central: la percepción de los puesteros –los principales expuestos– en torno a los modos en que las distintas instituciones intervinieron ante los eventos provocados por el último ciclo eruptivo.

Un primer punto a analizar remite a la comunicación que sostuvieron las autoridades encargadas de la gestión del riesgo –responsabilidad que recae en defensa civil y/o las autoridades políticas del municipio de Malargüe– con los puesteros. Si bien no se reportaron grandes dificultades, la mayoría de los entrevistados insiste en señalar que la información brindada por las áreas competentes fue escasa. Las entrevistas, a su vez, evidencian que los puesteros no reconocen ningún interlocutor institucional como fuente de información fidedigna capaz de orientarlos en las medidas a aplicar durante y después del evento eruptivo. Por el contrario, los datos revelan una importante fragmentación de los canales de comunicación a los cuales las personas expuestas recurren. Esta fragmentación se replica en las variaciones registradas en torno a la percepción de los peligros y a los modos de actuar ante ellos. A modo de ejemplo, si bien la mayoría de los puesteros indica preocupación por la contaminación del agua, ante la ausencia de información sobre la calidad de este recurso, sólo dos puesteros señalaron haber recurrido a las vertientes para evitar el consumo de agua proveniente de los arroyos de la zona.

Como ocurre en numerosas áreas rurales del país donde no existe infraestructura para telefonía móvil, el principal

medio utilizado para informarse es la radio AM. Fue a través de este medio por donde la gran mayoría de los entrevistados indicaron haber recibido información sobre la erupción. Ante esta situación, resulta importante analizar la calidad de la información recibida, su utilidad y la institucionalidad de la misma. Los puesteros indicaron al respecto que si bien fueron advertidos sobre “el estado del volcán” y la “evolución de la erupción”, no recibieron indicaciones precisas sobre qué hacer, cómo protegerse o de qué manera evacuar la zona ante cambios repentinos en la actividad eruptiva. Es decir, expresaron la necesidad de ser informados con más detalle sobre qué medidas tomar ante el evento eruptivo y los peligros asociados. En segundo lugar, si bien la radio representa un canal sumamente importante para esta comunidad, se trata de un medio que permite, principalmente, recibir información, siendo limitada su capacidad para el intercambio entre receptor y emisor. De los 19 entrevistados, solo uno mencionó disponer de equipos de radio comunicación.

Asimismo, las entrevistas resaltan el poco nivel de interacción entre los propios puesteros. Situación que también se expresa en la variabilidad de información recibida y en las medidas implementadas por cada uno de ellos. La reducida interacción que mantiene esta comunidad se explica, en parte, por el tipo de actividad que realizan: la trashumancia, por lo general, se despliega en solitario o en grupos reducidos, y las distancias entre los distintos puestos de veranada oscilan entre 1 a 10 km, lo que se traduce en 1 a 10 horas de caballo para aquellas ubicadas en sectores sin acceso vial. Esta configuración incide en las dificultades que los puesteros han tenido para acceder a la información sobre los posibles riesgos y medidas a adoptar. Por este motivo, se presenta como una variable estratégica al momento de elaborar planes de intervención acordes a las particularidades y necesidades de esta comunidad.

La ausencia de gestión por parte de las autoridades fue una crítica recurrente entre los entrevistados al ser consultados sobre la asistencia recibida. Esto se materializa también en otras situaciones, como la falta de mantenimiento del único acceso vehicular a la zona. Durante este período, se produjo el desmoronamiento de un puente de la ruta provincial N° 226 (Fig. 6d), que interrumpió la circulación y por ende también la conexión terrestre entre Argentina y Chile. El paso internacional Vergara estuvo cerrado a partir del 7 de diciembre, luego de la autoevacuación del Grupo Azufre de Gendarmería Nacional.

En el estudio realizado fue posible identificar la ausencia de una estrategia de mitigación preventiva. Como ya señalamos, muchos puesteros advirtieron la erupción desde sus propios puestos de veranada. Esto indica que realizaron sus

recorridos de trashumancia y subieron hacia las zonas altas cuando la erupción ya había empezado. En este sentido, no ingresaron a la zona con ningún equipamiento específico para llevar adelante sus tareas. Los tapabocas y las antiparras fueron distribuidos una vez iniciado el período más explosivo del ciclo.

La comunicación y la asistencia representan unos de los pilares centrales de la gestión del riesgo (e.g. Paton et al. 2008, Fearnley et al. 2017). En nuestro caso de estudio –si bien los impactos producidos por el ciclo eruptivo 2018-2019 fueron bajos– se evidencia la ausencia de un plan claro de acción, acorde con las características sociales y geográficas de la zona, socializado e incorporado por los propios puestos; es decir, por aquella comunidad expuesta a los peligros provocados por el volcán Peteroa.

### Proyectando otros escenarios

Las conclusiones previamente esbozadas abren una serie de interrogantes: ¿Qué hubiese pasado si la erupción era de mayor magnitud?, ¿y si ocurría en otra época del año?, ¿es Peteroa el único volcán con capacidad de afectar este sector de los Andes? En las próximas líneas se intenta dar respuesta a estas preguntas explorando distintos escenarios. Sin la ambición de realizar un análisis exhaustivo de cada uno de ellos, y de manera exclusivamente cualitativa, buscamos resaltar algunos puntos centrales que contribuyan a guiar futuros estudios y planes de gestión del riesgo volcánico.

Un primer escenario posible podría ser una erupción de mayor magnitud ( $IEV \geq 3$ ) del propio volcán Peteroa. El registro eruptivo holoceno de este volcán muestra evidencias de actividad explosiva mayor a la aquí estudiada (Naranjo et al. 1999, Naranjo y Haller 2002). Por ejemplo, el depósito de caída Pómez Los Baños, datado en  $1400 \pm 80 / 1050 \pm 90$  AP (Naranjo et al. 1999), presenta un espesor superior a los 50 cm en el sector de las veranadas más próximas al Complejo volcánico Planchón-Peteroa y aproximadamente de 5 cm a 20 km de distancia. Con espesores de estas características, los impactos negativos esperados serían considerablemente mayores en todas las categorías (e.g. Jenkins et al. 2014, Craig et al. 2016). Considerando la dispersión de la pluma predominantemente hacia el S-SE, una erupción de mayor magnitud e intensidad podría afectar severamente no solo los puestos de veranada sino también los de invernada (Fig. 1b), poniendo en jaque el modelo de ganadería trashumante. También podría afectar a las localidades de Las Loicas y Bardas Blancas y al paso internacional Pehuenche (ruta nacional N° 145), corredor bioceánico que conecta el sur de Mendoza con Chile. En base a las características meteorológicas de la zona (Fig. 3), habría que contemplar también la

removilización de ceniza por acción eólica, lo que podría prolongar por años los efectos de la ceniza volcánica. Asimismo, aunque exista una dirección predominante de vientos en la zona, no se excluye la posibilidad de que ocasionalmente la pluma de ceniza pudiese ser dispersada en otra dirección. Tal fenómeno fue ocasionalmente observado en la última erupción (Romero et al. 2020), así como también en los dos ciclos eruptivos previos (Naranjo y Haller 2002, Haller y Risso 2011, Romero et al. 2020). Una pluma eruptiva con dispersión hacia el este afectaría a la ciudad de Malargüe, donde se concentra la mayor parte de la población urbana y las unidades administrativas e infraestructura crítica (e.g. aeropuerto) del departamento (Fig. 1a), así como a puestos ganaderos (temporarios y permanentes) emplazados en la cuenca del río Malargüe. Alternativamente, la pluma podría dispersarse hacia el NE, lo que afectaría puestos ubicados en las cuencas de los ríos Salado y Atuel, y el complejo turístico de Las Leñas y Los Molles, a tan solo 45 y 56 km del Complejo volcánico Planchón-Peteroa, respectivamente. Por último si la dispersión fuera hacia el oeste, afectaría a numerosas localidades en territorio chileno. Esto pone de manifiesto la complejidad de los sistemas volcánicos emplazados en zonas de frontera y la necesidad de fortalecer el trabajo conjunto entre ambos países (Donovan y Oppenheimer 2019).

Un segundo escenario a ponderar sería la erupción explosiva de otros sistemas volcánicos activos en la cercanía de la zona de estudio, tales como los complejos volcánicos Descabezado Grande – Cerro Azul y Laguna del Maule (Fig. 1a). El primero se encuentra a ~45 km al sur de Peteroa y, en su historia eruptiva reciente, se destaca el evento de 1932 desde el cráter Quizapu, ubicado en el flanco norte de Cerro Azul. Con un IEV estimado en 5, la dispersión de ceniza alcanzó Buenos Aires, Río de Janeiro (Brasil) y el sudeste de Paraguay (Hildreth y Drake 1992). En el sector sur de la zona de estudio, se depositaron hasta 50 cm de tefra, siendo estos depósitos aún hoy en día fácilmente identificables a los costados de la ruta provincial N° 226. Por su parte, el Complejo Volcánico Laguna del Maule se encuentra situado a 90 km al sur en línea recta. Este sistema presenta evidencia de abundante actividad eruptiva riolítica/dacítica durante el Holoceno (Hildreth et al. 2010) y, en la última década, ha mostrado señales de reactivación (e.g. Mével et al. 2014). Estudios tefrocronológicos han permitido identificar 45 eventos piroclásticos con  $IEV > 2$  en los últimos 25 mil años (Fierstein et al. 2013, 2016; Sruoga et al. 2015, 2017). Entre estos se destacan al menos 10 erupciones subplinianas y plinianas con IEV entre 4 y 6 (Gho et al. 2019), que han producido extensos depósitos de tefra en el sur de Mendoza. Asimismo, modelados numéricos presentados por Gho et al. (2019) en

la evaluación de peligrosidad para este complejo volcánico, pronostican la acumulación de ceniza volcánica en la zona de estudio, especialmente en el sector sur. Futuros esfuerzos deberían focalizarse en completar el registro tefroestratigráfico en este sector de los Andes, tanto en áreas proximales como distales a estos centros volcánicos.

Un factor que debe ser tenido en consideración al evaluar estos escenarios es la estacionalidad. Como se señala en la figura 3a, en la zona de estudio existen marcadas variaciones meteorológicas a lo largo del año, con la mayor parte de las precipitaciones concentrándose en los meses de invierno (junio – septiembre) en forma de nieve. Esto condiciona la práctica trashumante de los puesteros y por ende, el desplazamiento de personas y animales a las cercanías del volcán ya que la zona de estudio queda cubierta por varios metros de nieve (Fig. 2e). Por esta razón, tanto los puesteros como el ganado permanecen en los puestos de invernada. Bajo esta consideración, una erupción en los meses de invierno presumiría un menor factor de exposición a la caída de ceniza volcánica. Sin embargo, la existencia de proyectos para el desarrollo turístico de la zona (e.g. centro de ski El Azufre) podrían cambiar drásticamente este escenario.

## CONSIDERACIONES FINALES

Mediante un abordaje metodológico multidisciplinario, con el diálogo e interacción entre las ciencias sociales y naturales como herramientas principales, dimos respuesta a los interrogantes que guiaron nuestro estudio. El hecho que el ciclo eruptivo 2018-2019 del volcán Peteroa fuese de baja magnitud y no afectara ningún centro urbano probablemente explique su escasa repercusión mediática y el limitado interés por parte de la comunidad científica internacional. Esta erupción, como sugiere el título de nuestro trabajo, no ha sido transmitida; es decir, no ha logrado posicionarse como un evento capaz de traccionar la atención mediática y científica.

Sin embargo, la escasa visibilización del fenómeno no implica que la erupción no haya afectado a nadie. Nuestro trabajo reconoce y visibiliza la presencia de personas, los puesteros, y elementos, la veranada, expuestos a los productos de este evento volcánico. Desde una perspectiva más general, podríamos afirmar que lo que está expuesto a la amenaza volcánica en este sector de la cordillera no son simplemente un número reducido de personas y ganado, sino una práctica económico-cultural ancestral: la ganadería trashumante.

A su vez, nuestro trabajo reivindica la importancia de la recopilación de información y las evaluaciones de impacto post-evento, incluso en erupciones de pequeña magnitud

como la del volcán Peteroa en 2018-2019. Estas erupciones podrán no dejar rastros en el registro geológico, pero si lo hacen en las personas que las experimentan. En este sentido, el desarrollo de una estrategia metodológica mixta nos ha permitido complejizar la noción de impactos y recuperar otros rastros que dejan este tipo de erupciones.

A pesar del poco espesor de ceniza depositada y la ausencia de impactos físicos considerables, tanto en las personas y sus bienes como en el medioambiente, estos no fueron nulos. Las entrevistas permitieron recuperar testimonios que reflejan la preocupación de los pobladores sobre diversos aspectos, como la contaminación del agua o la posibilidad de una erupción mayor o de una evacuación. Importante también fue la identificación de falencias durante la gestión de la crisis, especialmente vinculadas a la comunicación, el manejo de la información y la asistencia. La erupción no sólo no ha sido transmitida por la comunidad mediática y científica, sino que también su gestión ha mostrado algunas dificultades en los modos de transmitir la información relevante, necesaria y acorde a las características de la comunidad afectada. Otro aspecto a destacar de las entrevistas es la precisión de las observaciones realizadas por los puesteros. Con esto en consideración, y dadas las características geográficas de la zona y la falta de infraestructura, tanto vial como de telecomunicaciones, podría pensarse en el desarrollo de un programa de incorporación de la población para el apoyo en tareas de vigilancia volcánica, similar al que se lleva a cabo hace más de 20 años en el volcán Tungurahua, Ecuador (Stone et al. 2014). Un proyecto de estas características sería beneficioso no solo para la institución responsable del monitoreo volcánico sino que contribuiría también a mejorar los problemas de comunicación identificados, el conocimiento de los pobladores sobre los procesos y peligros volcánicos y promovería la participación activa de los comunidad en las estrategias de reducción de riesgo.

El sencillo ejercicio aquí presentado de imaginar otros escenarios eruptivos pone en relevancia la complejidad de factores y elementos que intervienen en la construcción del riesgo volcánico en la zona. En este sentido, resulta esencial avanzar hacia evaluaciones cuantitativas y probabilísticas del riesgo, que incluyan la actualización del mapa de peligrosidad existente (i.e. Naranjo et al. 1999) considerando un enfoque binacional (e.g. Gho et al. 2019), un detallado análisis de las personas y elementos expuestos, así como sus distintas dimensiones de vulnerabilidad y resiliencia. Esto adquiere una relevancia adicional si se considera la ejecución del proyecto hidroeléctrico Portezuelo del Viento y el centro invernal El Azufre.

Por último, proponemos una serie de recomendaciones de

índole geológico que contribuyan a la evaluación del potencial tóxico de la ceniza volcánica para la salud humana y el medioambiente, y permitan a las autoridades responsables disponer de información valiosa para la toma de decisiones en futuras erupciones:

a) Material emitido: llevar adelante muestreos periódicos para su caracterización físico-química. En particular, se recomienda:

- análisis granulométrico de la tefra depositada, incluyendo la fracción granulométrica < 63  $\mu\text{m}$ .
- análisis mineralógico, con particular énfasis en la identificación de sílice cristalina (i.e. cuarzo, cristobalita y tridimita)
- análisis de lixiviados, tanto de elementos mayoritarios como trazas.

b) Monitoreo de calidad de aire: medir la concentración de PM10 y PM2.5 (material particulado <10  $\mu\text{m}$  y <2.5  $\mu\text{m}$ ). Esto es importante no solo durante la erupción (caída de ceniza) sino también en los meses/años posteriores, debido a la removilización eólica.

c) Monitoreo de aguas de escorrentía: dada la importancia vital del recurso hídrico tanto para las personas como para las prácticas ganaderas que se desarrollan en la zona, se recomienda el muestro sistemático y análisis químico y de parámetros fisicoquímicos de las aguas de los cursos de la cuenca superior del río Grande.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nos gustaría expresar nuestra gratitud con la comunidad de puesteros de la cuenca del río Grande por brindar sus testimonios y hacer posible esta investigación. En segundo lugar, nuestro agradecimiento a los geólogos Ángel Jara y Mario Rosas de la Delegación Mendoza del SEGEMAR por la toma de muestras, así como a Irrigación, Jefatura de Zona de Riego Malargüe, por compartir los informes de monitoreo de aguas. Agradecer, también, a los colegas de la CNEA, Nicolás Nuñez, Hernán Sánchez y Martín Gómez quienes facilitaron las visitas de campo y compartieron las imágenes de la cámara instalada en las cercanías del Peteroa. Por último, agradecemos las contribuciones de dos revisores anónimos, cuyos aportes enriquecieron el presente trabajo.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

Cuestionario: <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/940/1486>

Video: <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/940/1487>

## REFERENCIAS

- Aguilera, F., Benavente, O., Gutiérrez, F., Romero, J., Saltori, O., González, R., Agosto, M., Caselli, A. y Pizarro, M. 2016. Eruptive activity of Planchón-Peteroa volcano for period 2010-2011, Southern Andean Volcanic Zone, Chile. *Andean geology* 43(1): 20-46.
- Aguirre, A. 2012. Estudio del impacto de las cenizas volcánicas en el proceso de esquila en una unidad productiva del centro norte de la provincia del Chubut. *Ganadería*. Junio 199-202
- Amigo, A. 2021. Volcano Monitoring and Hazard Assessments in Chile. *Volcanica* 4(1): 1-20.
- APHA (American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Association) 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd edn. American Public Health Association, Washington DC.
- Bendini, M.I., Alemany, C.E., Tsakoumagkos, P.D., Nogues, C.E., Pérez Centeno, M., Tiscornia, L.M., Madariaga, M.C., Preiss, O., Butler Florra, C., Gasteyer, S. y Sempronii, G.L. 2004. Crianceros y chacareros en la Patagonia. Editorial La Colmena, 220 p., Buenos Aires.
- Bias, S., Bonadonna, C., Di Traglia, F., Pistolesi, M., Rosi, M. y Lestuzzi, P. 2016. Probabilistic evaluation of the physical impact of future tephra fallout events for the Island of Vulcano, Italy. *Bulletin of Volcanology* 78(5): 37
- Bird, D.K. 2009. The use of questionnaires for acquiring information on public perception of natural hazards and risk mitigation—a review of current knowledge and practice. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9(4): 1307-1325.
- Camuz Ligio, M.L. 2017. El Futuro de la Producción Caprina Trashumante en la Zona Oeste del Departamento Malargüe, Provincia de Mendoza, Argentina. Tesis de maestría, Universidad de Viena (inérita), 152 p., Viena.
- Caselli, A., Agosto, M., Velez, M.L., Forte, P., Bengoa, C., Daga, R., Albite, J.M. y Capaccioni, B. 2016. The 2012 eruption. En: Tassi, F., Vaselli, O. y Caselli, A. (eds.), *Copahue Volcano*. Springer, Active Volcanoes of the world Book Series, 61-77, Berlin-Heidelberg.
- Castro, J.M. y Dingwell, D.B. 2009. Rapid ascent of rhyolitic magma at Chaitén volcano, Chile. *Nature* 461(7265): 780-783.
- Cepparo, M.E. 2014. La complejidad de la marginalidad y sus derivaciones en el marco de las economías regionales: El caso de la producción caprina en el extremo sur de Mendoza. *Geograficand* 10 (2): [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.6465/pr.6465.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.6465/pr.6465.pdf)
- Cepparo, M.E., Gabrielidis, G. y Prieto, E. 2010. Rasgos de marginalidad. Diferentes enfoques y aportes para abordar su problemática. Malargüe, un ejemplo motivador. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Craig, H., Wilson, T., Stewart, C., Villarosa, G., Outes, V., Cronin, S. y Jenkins, S. 2016. Agricultural impact assessment and management after three widespread tephra falls in Patagonia, South America. *Natural Hazards* 82(2): 1167-1229.

- Cronin, S.J., Stewart, C., Zernack, A.V., Brenna, M., Procter, J.N., Pardo, N., Christenson, B., Wilson, T., Stewart, R.B. e Irwin, M. 2014. Volcanic ash leachate compositions and assessment of health and agricultural hazards from 2012 hydrothermal eruptions, Tongariro, New Zealand. *Journal of volcanology and geothermal research* 286: 233-247.
- Daga, R.B., Caselli, A.T., Ribeiro Guevara, S. y Agosto, M.R. 2017. Tefras emitidas durante la fase inicial hidromagmática (julio de 2012) del ciclo eruptivo 2012-actual (2016) del volcán Copahue (Andes del sur). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74 (2): 191-206
- Del Bello, E., Taddeucci, J., Merrison, J. P., Rasmussen, K. R., Andronico, D., Ricci, T., Scarlato, P. e Iversen, J. J. 2021. Field-based measurements of volcanic ash resuspension by wind. *Earth and Planetary Science Letters* 554: 116684.
- Deligne, N.I., Horspool, N., Canessa, S., Matcham, I., Williams, G.T., Wilson, G. y Wilson, T.M. 2017. Evaluating the impacts of volcanic eruptions using RiskScape. *Journal of Applied Volcanology* 6(1):18.
- Dominguez, L., Bonadonna, C., Forte, P., Jarvis, P.A., Cioni, R., Mingari, L., Bran, D. y Panebianco, J.E. 2020a. 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: 343.
- Dominguez, L., Rossi, E., Mingari, L., Bonadonna, C., Forte, P., Panebianco, J.E. y Bran, D. 2020b. Mass flux decay timescales of volcanic particles due to aeolian processes in the Argentinian Patagonia steppe. *Scientific reports* 10(1): 1-15.
- Donovan, A. y Oppenheimer, C. 2019. Volcanoes on borders: a scientific and (geo) political challenge. *Bulletin of Volcanology* 81(5): 31.
- Duran, V.A., Winocur, D.A., Stern, C., Garvey, R., Barberena, R., Peña Monné, J.L. y Benitez, A.A. 2016. Impacto del volcanismo y glaciario holocénicos en el poblamiento humano de la cordillera sur de Mendoza (Argentina): una perspectiva geoarqueológica. *Intersecciones en antropología, volumen especial* 4: 33-46.
- Easdale, M.H., Sacchero, D., Vigna, M. y Willems, P. 2014. Assessing the magnitude of impact of volcanic ash deposits on Merino wool production and fibre traits in the context of a drought in North-west Patagonia, Argentina. *The Rangeland Journal* 36 (2): 143-149.
- Elissondo, M., Baumann, V., Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Bertagnini, A., Biasse, S., Herrero, J.C. y Gonzalez, R. 2016a. Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16(3): 675-704.
- Elissondo, M., Farías, C. y Collini, E. 2016b. Volcanic Risk Assessment in Argentina. *Cities on Volcanoes* 9, Puerto Varas.
- Fearnley C., Winson A.E.G., Pallister J., Tilling R. 2017. Volcano Crisis Communication: Challenges and Solutions in the 21st Century. En: Fearnley C.J., Bird D.K., Haynes K., McGuire W.J., Jolly G. (eds), *Observing the Volcano World. Advances in Volcanology*. Springer, 320 p., Cham.
- Fierstein, J., Sruoga, P., Amigo, A., Elissondo, M. y Rosas, M. 2013. Tephra in Argentina establishes postglacial eruptive history of Laguna del Maule volcanic field in Chile. *IAVCEI General Assembly: 3A2\_3F-O11, Kagoshima*.
- Fierstein, J., Sruoga, P., Amigo, A. y Elissondo, M. 2016. Post-glacial Laguna del Maule: Multi-stage rhyolitic edifices built by >50 eruptive events over 14 kyr. *S3.5 Cities on Volcanoes* 9, Puerto Varas.
- Flueck, W.T. y Smith-Flueck, J.A.M. 2013. Severe dental fluorosis in juvenile deer linked to a recent volcanic eruption in Patagonia. *Journal of Wildlife Diseases* 49(2): 355-366.
- Forte, P., Dominguez, L., Bonadonna, C., Gregg, C.E., Bran, D., Bird, D. y Castro, J.M. 2018a. Ash resuspension related to the 2011–2012 Cordón Caulle eruption, Chile, in a rural community of Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 350: 18-32.
- Forte, P., Dominguez, L., Bonadonna, L., Lamberti, M.C., Gregg, C.E., Bran, D.E. y Castro, J.M. 2018b. Tormentas de ceniza volcánica en Patagonia: un peligro latente y subestimado. *VIII Foro Internacional: Los volcanes y su impacto, Arequipa*.
- Gho I., R., Sruoga, P., Amigo R. A., Fierstein, J., Elissondo, M., Kaufman, J., Toloza T.V. y Calderón B. R. 2019. Peligros del Complejo Volcánico Laguna del Maule, región del Maule, Chile, y provincias de Mendoza y Neuquén, Argentina. *Servicio Nacional de Geología y Minería-Servicio Geológico Minero Argentino, Publicación Geológica Multinacional* 8: 66 p., Buenos Aires.
- García, S. y Badi. G. 2021. Towards the development of the first permanent volcano observatory in Argentina. *Volcanica* 4 (S.1): 21-48.
- Gras, C y Hernández V. 2016. "Radiografía del nuevo campo argentino" del terrateniente al empresario transnacional. *Siglo XXI Editores, Buenos Aires*.
- GVP 1991. Report on Planchon-Peteroa (Chile). *Bulletin of the Global Volcanism Network* 16: 1.
- Jarvis, P.A., Bonadonna, C., Dominguez, L., Forte, P., Frischknecht, C., Bran, D., Aguilar, R., Beckett, F., Elissondo, M., Gillies, J. y Kueppers, U. 2020. Aeolian remobilisation of volcanic ash: outcomes of a workshop in the Argentinian Patagonia. *Frontiers in Earth Science* 8: 569.
- Haller, M. y Risso, C. 2011. La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de Septiembre de 2010. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 295-305.
- Hildreth, W. y Drake, R.E. 1992. Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 54(2): 93-125.
- Hildreth, W., Godoy, E., Fierstein, J. y Singer, B. 2010. Laguna Del Maule Volcanic Field: Eruptive history of a Quaternary basalt-to-rhyolite distributed volcanic field on the Andean rangecrest in central Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín* 63: 145 p., Santiago.
- Hocsman, L. D. 2014. Cuestión agraria actual en perspectiva regional/global: bloque de poder agrario modernizado y complejo corporativo. *Contemporánea* B4(1): 43-60.
- Horwell, C. J. y Baxter, P. J. 2006. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bulletin of volcanology* 69(1): 1-24.
- Inbar, M., Oстера, H.A., Parica, C.A., Remesal, M.B. y Salani, F.M. 1995.

- Environmental assessment of 1991 Hudson volcano eruption ashfall effects on southern Patagonia region, Argentina. *Environmental Geology* 25(2): 119-125.
- Jenkins, S., Komorowski, J.C., Baxter, P.J., Spence, R., Picquout, A. y Lavigne, F. 2013. The Merapi 2010 eruption: an interdisciplinary impact assessment methodology for studying pyroclastic density current dynamics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 261: 316-329.
- Jenkins, S.F., Spence, R.J.S., Fonseca, J.F.B.D., Solidum, R.U. y Wilson, T.M. 2014. Volcanic risk assessment: Quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 276: 105-120.
- Jenkins, S.F., Wilson, T.M., Magill, C., Miller, V., Stewart, C., Blong, R., Marzocchi, W., Boulton, M., Bonadonna, C. y Costa, A. 2015. Volcanic ash fall hazard and risk. En: Loughlin, S.C., Sparks, S., Brown, S.K., Jenkins, S.F. y Vye-Brown, C. (eds.), *Global Volcanic Hazards and Risk*. Cambridge University Press: 173-222, Cambridge.
- Jover, M. L. 2010. Geología de la vertiente oriental del volcán Planchón-Peteroa, provincia de Mendoza. Tesis Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 99 p., Buenos Aires.
- Klug, J. D., Singer, B. S., Jicha, B. R., Ramirez, A y Sruoga, P. 2018. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Geochronology and geochemical evolution of Planchon-Peteroa Volcanic Complex. GSA Annual Meeting, Indianapolis.
- Lamberti, M.C., Agosto, M., Llano, J., Nogués, V., Venturi, S., Vélez, M.L., Albite, J.M., Yiries, J., Chiodini, G., Cardellini, C. y Tassi, F. 2021. Soil CO<sub>2</sub> flux baseline in Planchón–Peteroa Volcanic Complex, Southern Andes, Argentina-Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 105: 102930.
- Llano, J., Agosto, M., Trinelli, M.A., Tufo, A., García, S., Velásquez, G., Bucarey-Parra, C., Delgado Huertas, A. y Litvak, V. 2020. Procesos hidrogeoquímicos vinculados a un ambiente volcánico activo: el caso del sistema río Agrio-Volcán Copahue. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77 (4): 490-504.
- Magill, C., Wilson, T. y Okada, T. 2013. Observations of tephra fall impacts from the 2011 Shinmoedake eruption, Japan. *Earth, Planets and Space* 65(6): 18.
- Mamaní, A. 2015. Políticas neoliberales y conflictos territoriales en Malargüe, Mendoza. Ponencia presentada en las Jornadas de Sociología de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNCuyo, Mendoza.
- Martin, R.S., Watt, S.F.L., Pyle, D.M., Mather, T.A., Matthews, N.E., Georg, R.B., Day, J.A., Fairhead, T., Witt, M.L.I. y Quayle, B.M. 2009. Environmental effects of ashfall in Argentina from the 2008 Chaitén volcanic eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 184 (3-4): 462-472.
- Menoni, S., Bonadonna, C., Garcia-Fernandez, M. y Schwarze, R. 2017. Recording disaster loss for improving risk modelling capacities. En: Poljanšek, K., Marin Ferrer, M., De Groeve, T. y Clark, I. (ed.), *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. Université de Genève, 2-4. Génova.
- Mingari, L., Folch, A., Dominguez, L. y Bonadonna, C. 2020. Volcanic ash resuspension in Patagonia: numerical simulations and observations. *Atmosphere* 11(9): 977.
- Miranda Jordana, F. 2016. Volcanoestratigrafía del sector sureste del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa y geoquímica de las emisiones gaseosas asociadas, provincia de Mendoza. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 92 p., Buenos Aires.
- Naciones Unidas. 2015. Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. UN world conference on disaster risk reduction, 37 p., Sendai.
- Naranjo, J. y Haller, M. 2002. Erupciones principalmente explosivas del volcán Planchón, Andes del sur (35°15'S). *Revista Geológica de Chile* 29: 93-113.
- Naranjo, J., Haller, M., Ostera, H., Pesce, A. y Sruoga, P. 1999. Geología y Peligros del Complejo Volcánico Planchon–Peteroa, Andes del Sur (35°15'S), Región del Maule, Chile—Provincia de Mendoza, Argentina. 52. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, Santiago.
- Newhall, C. y Hoblitt, R. 2002. Constructing event trees for volcanic crises. *Bulletin of Volcanology* 64(1): 3-20.
- Nogués, V. 2019. Geología del flanco oriental del volcán Peteroa, provincia de Mendoza, y geoquímica de las emisiones fluidas del sistema volcánico hidrotermal. Tesis Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 92 p, Buenos Aires.
- OAVV. 2019. Reporte de Actividad Volcanica del CV Planchón-Peteroa, 1-15 agosto 2019. [https://oavv.segemar.gob.ar/show\\_reporte.php?id=3&m=8&a=2019](https://oavv.segemar.gob.ar/show_reporte.php?id=3&m=8&a=2019)
- Ovando, E., Poblete, R., Ordoñez, R., y Tucker, H. 2011. Señores de la Sierra, los Castroneros de Malargüe. Aproximaciones a su conocimiento desde la Historia Oral. X Encuentro Nacional y IV Congreso Internacional de Historia Oral, “Esas Voces que nos llegan del pasado”, Mesas: Historia oral y cultura- Historia oral y patrimonio cultural. Universidad Nacional de San Luis, San Luis.
- Paton, D., Smith, L., Daly, M. y Johnston, D. 2008. Risk perception and volcanic hazard mitigation: Individual and social perspectives. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 172(3-4): 179-188.
- Perassi, R., Bolgeri, M., Marull, C., Prados, J., Gonzalez, A., Walker, S., Novaro, A., y Funes, M. 2012. Biodiversificando en los puestos. Experiencia del trabajo con crianceros en el sur de Mendoza. Aportes al desarrollo territorial: políticas y estrategias de extensión rural. XVI Jornadas Nacionales de Extensión Rural y VIII del MERCOSUR, Concordia.
- Pérez Gañan, R. 2020. “Metabolismo agrario. Una herramienta de análisis de las transiciones, las transformaciones territoriales y el espacio social argentino”. *La ruralidad en tensión*, compilado por Juan Manuel Cerdá. Teseo, 111-146. Buenos Aires.
- Petrinovic, I., Villarosa, G., D’Elía, L., Guzman, S., Páez, G., Outes, V., Manzoni, C., Delmónico, A., Balbis, C., Carniel, R. y Hernando, I. 2014. La erupción del 22 de diciembre de 2012 del volcán Copahue, Neuquén, Argentina: Caracterización del ciclo eruptivo y sus productos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71(2): 161-173.
- Ramires, A. 2013. Riesgo por caída de tefra en la cuenca alta y media

- del Río Grande y su impacto en el modelo ganadero de la región. Aportes al Ordenamiento Territorial. Departamento de Malargüe. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras (inédita), 291 p., Mendoza.
- Reyes-Hardy, M.P., Barraza, F.A., Birke, J.P.S., Cáceres, A.E., y Pizarro, M.I. 2021. GIS-based volcanic hazards, vulnerability and risks assessment of the Guallatiri Volcano, Arica y Parinacota Region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 109: 103262.
- Romero, J.E., Aguilera, F., Delgado, F., Guzmán, D., Van Eaton, A. R., Luengo, N., Caro J., Bustillos, J., Guevara, A., Holbik, S., Tormey, D. y 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.
- Ruiz Peyré, F. 2019. Juventud rural, trabajo y migración. Éxodo rural en Malargüe, Mendoza, Argentina. *Boletín De Estudios Geográficos*, (111): 9–33.
- Sanci, R., Panarello, H.O. y Ostera, H.A. 2010. Flujo de dióxido de carbono en el flanco oriental del volcán Peteroa, Andes del Sur. *Revista mexicana de ciencias geológicas* 27(2): 225-237.
- Scaini, C., Biasse, S., Galderisi, A., Bonadonna, C., Folch, A., Smith, K. y Höskuldsson, A., 2014. A multi-scale risk assessment for tephra fallout and airborne concentration from multiple Icelandic volcanoes—Part 2: Vulnerability and impact. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(8): 2289-2312.
- Scasso, R.A., Corbella, H. y Tiberi, P. 1994. Sedimentological analysis of the tephra from the 12–15 August 1991 eruption of Hudson volcano. *Bulletin of Volcanology* 56(2): 121-132.
- Silva Parejas, C., Lara, L.E., Bertin, D., Amigo, A. y Orozco, G. 2012. The 2011-2012 eruption of Cordón Caulle volcano (Southern Andes): Evolution, crisis management and current hazards. EGUGA, p.9382.
- SERNAGEOMIN. 2018a. Reporte de Actividad Volcanica (RAV) N°6 Región del Maule, Año 2018 Junio. [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20180706044841783RAV\\_Maule\\_Junio\\_2018\\_N%C2%B06.pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20180706044841783RAV_Maule_Junio_2018_N%C2%B06.pdf)
- SERNAGEOMIN. 2018b. Reporte de Actividad Volcanica (RAV) N°11 Región del Maule, Año 2018 Septiembre. [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20180924015558117RAV\\_Maule\\_septiembre\\_2018\\_N%C2%B011.pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20180924015558117RAV_Maule_septiembre_2018_N%C2%B011.pdf)
- SERNAGEOMIN. 2019. Reporte de Actividad Volcanica (RAV) N°15 Región del Maule, Año 2019 Agosto. [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20190823105217560RAV\\_Maule\\_Agosto\\_2019\\_N%C2%B015.pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/reportesVolcanes/20190823105217560RAV_Maule_Agosto_2019_N%C2%B015.pdf)
- Soto, O.H. 2021. Modo de vida puestero, Estado y capitalismo: inconclusión en los bordes abigarrados de lo nómada y lo trashumante. *Tabula Rasa* (37): 127-150.
- Soto, O.H. y Martínez-Navarrete, E. 2020. Espacio rural e implicaciones territoriales de la acción estatal: identidad, persistencia y derechos campesinos en Malargüe, Argentina. *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial* (17): 59-80.
- Sruoga, P., Elissondo, M., Fierstein, J., Garcia, S., Gonzalez, R. y Rosas, M., 2015. Actividad explosiva postglacial del centro Barrancas, Complejo Volcánico Laguna del Maule (36° 05' S, 70° 30' O). Peligrosidad en Argentina. XIV Congreso Geológico Chileno, Actas: At4St11 013. La Serena.
- Sruoga, P., Elissondo, M., Rosas, M., Fierstein, J., Singer, B., Andersen, N., 2017. Cerro Barrancas, Laguna del Maule volcanic field, Chile: eruptive stratigraphy and hazard assessment. IAVCEI SCIENTIFIC ASSEMBLY, Abstract VH12B, V.7: 1023, Portland.
- Stern, C.R. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile* 31(2): 161-206.
- Stewart, C., Craig, H.M., Gaw, S., Wilson, T., Villarosa, G., Outes, V., Cronin, S. y Oze, C. 2016. Fate and agricultural consequences of leachable elements added to the environment from the 2011 Cordón Caulle tephra fall. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 327: 554-570.
- Stewart, C., Damby, D.E., Tomašek, I., Horwell, C.J., Plumlee, G.S., Armenta, M.A., Hinojosa, M.G.R., Appleby, M., Delmelle, P., Cronin, S. y Ottley, C.J. 2020. Assessment of leachable elements in volcanic ash-fall: a review and evaluation of a standardized protocol for ash hazard characterization. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 392: 106756.
- Stone, J., Barclay, J., Simmons, P., Cole, P.D., Loughlin, S.C., Ramón, P. y Mothes, P. 2014. Risk reduction through community-based monitoring: the vigías of Tungurahua, Ecuador. *Journal of Applied Volcanology* 3(1): 1-14.
- Sword-Daniels, V., Wilson, T.M., Sargeant, S., Rossetto, T., Twigg, J., Johnston, D.M., Loughlin, S.C. y Cole, P.D. 2014. Consequences of long-term volcanic activity for essential services in Montserrat: challenges, adaptations and resilience. *Geological Society, London, Memoirs*, 39(1): 471-488.
- Tassi, F., Aguilera, F., Benavente, O., Paonita, A., Chiodini, G., Cairo, S., Augusto, M., Gutierrez, F., Capaccioni, B., Vaselli, O., Caselli, A. y Saltori, O. 2016. Geochemistry of fluid discharges from Peteroa volcano (Argentina-Chile) in 2010–2015: Insights into compositional changes related to the fluid source region (s). *Chemical Geology* 432: 41-53.
- Thorarinsson, S. 1944. Tefrokronologiska studier på Island: Þjórsárdalur och dess förödelse. *Geografiska annaler* 26 (1–2): 1–217.
- Thorsteinsson, T., Jóhannsson, T., Stohl, A. y Kristiansen, N.I. 2012. High levels of particulate matter in Iceland due to direct ash emissions by the Eyjafjallajökull eruption and resuspension of deposited ash. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B9): B00C05.
- Tormey, D. 2010. Managing the effects of accelerated glacial melting on volcanic collapse and debris flows: Planchon–Peteroa Volcano, Southern Andes. *Global and Planetary Change* 74(2): 82-90.
- Tormey, D., Frey, F. y Lopez-Escobar, L. 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchon-Peteroa volcanic center (35 15'S), with implications for the origin of compositional gaps. *Revista de la Asociación*



- Geológica Argentina 44: 420-430.
- Tormey, D.R., Frey, F.A. y López, L. 1995. Geochemistry of the Active Azufre-Pianchón-Peteroa Volcanic Complex, Chile (35°15' S): Evidence for Multiple Sources and Processes in a Cordilleran Arc Magmatic System. *Journal of Petrology* 36 (2): 265-298.
- Vigide, N., Yagupsky, D., Barcelona, H., Agosto, M. y Caselli, A. 2020. Structural analysis of the Planchón-Peteroa Volcanic Complex: Insights for the geothermal system. *Journal of South American Earth Sciences* 104:102856.
- Villarosa, G., Outes, V., Hajduk, A., Montero, E.C., Sellés, D., Fernández, M. y Crivelli, E. 2006. Explosive volcanism during the Holocene in the Upper Limay River Basin: the effects of ashfalls on human societies, Northern Patagonia, Argentina. *Quaternary International* 158(1): 44-57.
- Wantim, M.N., Bonadonna, C., Gregg, C.E., Menoni, S., Frischknecht, C., Kervyn, M. y Ayonghe, S.N. 2018. Forensic assessment of the 1999 Mount Cameroon eruption, West-Central Africa. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 358: 13-30.
- Wilson, T.M., Cole, J.W., Stewart, C., Cronin, S.J. y Johnston, D.M. 2011a. Ash storms: impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile. *Bulletin of Volcanology* 73(3): 223-239.
- Wilson, T., Cole, J., Cronin, S., Stewart, C. y Johnston, D., 2011b. Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: lessons for recovery. *Natural Hazards* 57(2): 185-212.
- Wilson, T., Stewart, C., Cole, J., Johnston, D., y Cronin, S. 2010. Vulnerability of farm water supply systems to volcanic ash fall. *Environmental Earth Sciences* 61(4), 675-688.
- Witham, C.S. 2005. Volcanic disasters and incidents: a new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 148(3-4):191-233.
- Zuccaro, G., Cacace, F., Spence, R.J.S. y Baxter, P.J. 2008. Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178(3): 416-453.