

ARTÍCULO INVITADO

LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN PETEROA (35°15'S, 70°18'O) DEL 4 DE SEPTIEMBRE DE 2010

Miguel J. HALLER¹ y Corina RISSO²¹ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco-Centro Nacional Patagónico- CONICET, Puerto Madryn.

Email: haller@cenpat.edu.ar

² Universidad de Buenos Aires-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

RESUMEN

El volcán Peteroa, ubicado en la Zona Volcánica Sur en la cordillera de los Andes, a la latitud de 35°15'S, tuvo una erupción de aproximadamente 48 días de duración, con inicio el 4 de septiembre de 2010. Después de un período de aumento de la actividad fumarólica, la erupción comenzó con una columna eruptiva fuerte, de cerca de 1.800 m de altura, para continuar posteriormente con una columna débil de 200 metros. El material particulado emitido contiene vidrio y cristaloclastos subordinados. La tefra caída se acumuló principalmente en las inmediaciones del volcán, mientras que en sectores más alejados formó solamente una tenue capa. Por el escaso volumen de la tefra eyectada y la limitada dispersión de la misma, sumado al hecho que el sector contiguo al volcán estaba deshabitado por el carácter temporal de los asentamientos en ese lugar, la erupción de 2010 no tuvo mayor incidencia sobre los habitantes.

Palabras clave: *Volcán activo, erupción sub-pliniana, tefra, columna eruptiva, pluma volcánica.*

ABSTRACT

The eruption of the Peteroa volcano (35°15'S, 70°18'O) on 4th September, 2010.

The Peteroa volcano, located in the Southern Volcanic Zone of the Andes at 35°15'S latitude, erupted for about 48 days, beginning on September 4th, 2010. After a period of increased fumarole activity, the eruption began with a strong eruption column of ca. 1,800 m in height, to continue later with a weak column of 200 meters. Particulate emitted material contains mainly glass shards and glass fragments with subordinate crystaloclasts. The tephra fallout was mainly accumulated in the vicinity of the volcano, while in more remote areas formed only a thin layer. Due to the low volume of ejected tephra and limited volcanic ash spread, and the fact that the vicinity of the volcano was uninhabited, the eruption of 2010 did not have much effect on people.

Keywords: *Active volcano, sup-plinian eruption, tephra, eruptive column, volcanic plume.*

INTRODUCCIÓN

El 4 de septiembre de 2010 se produjo una erupción en el volcán Peteroa, la primera de este volcán en el siglo XXI y que habría finalizado alrededor del 18 de Octubre. El Peteroa es un volcán poligenético holoceno que forma parte del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa (CVPP), el cual tiene una historia volcánica que se inicia en el Pleistoceno. De acuerdo al registro del *Global Volcanism Program* (2010) hubo ocho erupciones durante el siglo XX, con índice de explosividad volcánica (VEI) ≤ 2 .

El Complejo Volcánico Planchón-Peteroa se ubica en la cordillera de los Andes a los 35°15'S y 70°35'O en la Cordillera Principal (Fig. 1a). El complejo incluye tres cumbres principales: el volcán Planchón (4.034 m s.n.m.) al norte, el volcán Peteroa (4.125 m s.n.m.) en el centro y el cerro El Peñón al sur. La toponimia del sector es imprecisa debido a antiguas designaciones con los nombres de volcán Azufre, volcán Peteroa y volcán Planchón respectivamente para elevaciones que no constituyen aparatos eruptivos propiamente dichos, sino que corresponden a remanentes de erosión de antiguas estructuras

volcánicas, actualmente extinguidas. Por ello, en este trabajo los autores se remiten a la toponimia utilizada en la carta topográfica Río Tordillo a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Militar, confeccionada en 1947.

La situación de los Andes en el ambiente tectónico del margen occidental de Sudamérica está indicada en la figura 1b, donde se observa la subducción de la placa de Nazca bajo el continente sudamericano en la denominada Zona Volcánica Sur, la cual se extiende a lo largo de 1.450 km entre los 33° y 46° S. El sector andino de Sudamérica comprende segmentos dife-

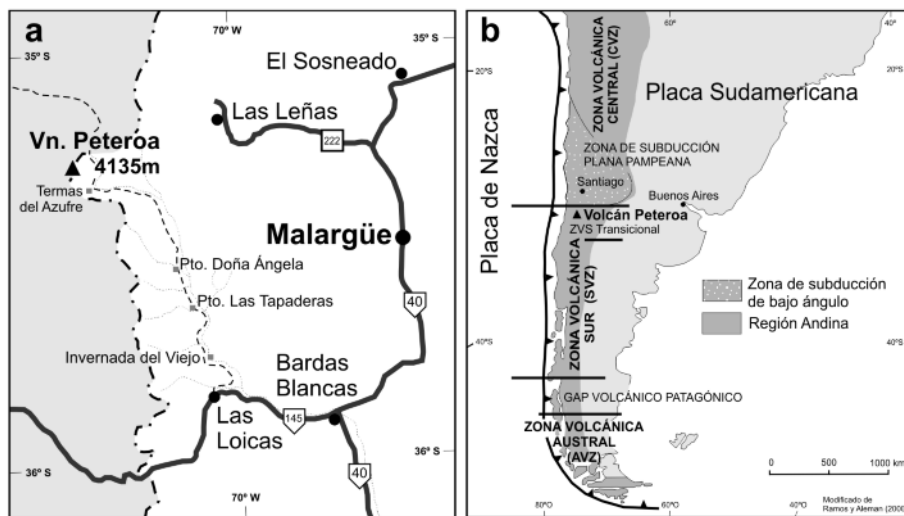


Figura 1: a) Mapa de ubicación del volcán Peteroa y localidades cercanas; b) ubicación del volcán Peteroa en el contexto de las Zonas Volcánicas de la cordillera de los Andes.

rentes de acuerdo a la geometría de la zona de Wadatti-Benioff, incluyendo segmentos con subducción horizontal en los cuales la actividad volcánica está ausente y segmentos con subducción normal y volcanismo de arco (Ramos y Aleman 2000). La Zona Volcánica Sur tiene una intensa actividad volcánica, ya que comprende 31 volcanes con actividad eruptiva histórica y un registro de alrededor de 283 erupciones desde comienzos del siglo XIX. La región que nos interesa es la Zona Volcánica Sur transicional que se caracteriza por grandes estratovolcanes formados sobre bloques ascendidos de basamento prevolcánico, separados por cuencas extensionales de inter-arco ricas en conos basálticos monogenéticos y flujos de lava en una asociación compleja entre volcanismo de arco subcalino y volcanismo alcalino de retro-arco (Stern 2004). Sobre la cumbre del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa se desarrollan varios glaciarres (Fig. 2a), cuya superficie ha sido estimada en 19 km² (Trombotto *et al.* 2005). En la Argentina, el Complejo Volcánico Planchón-Peteroa se localiza en la provincia de Mendoza, departamento Malargüe, a aproximadamente 94 km al oeste de la ciudad de Malargüe (Fig. 1a). En territorio chileno está ubicado en la región del Maule (Región VII), a unos 65 km en línea recta al ESE de la ciudad de Curicó.

La comarca adyacente al volcán es inaccesible mediante vehículo de mayo a diciembre debido a las intensas nevadas y los procesos de remoción en masa que cortan los caminos.

En este trabajo se expone la geología del volcán Peteroa y se brindan las características principales de la erupción iniciada el 4 de septiembre de 2010 sobre la base de observaciones de campo y de sobrevuelos, imágenes satelitarias, documentos fotográficos brindados por informantes y descripciones de gabinete.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las unidades más antiguas que afloran en la comarca y que conforman el basamento del volcanismo cuaternario, están expuestas en el sector oriental del complejo volcánico y próximo al río Los Ciegos. Pertenecen a las psefitas y psamitas de la Formación Puesto Araya de la cuenca neuquina, de edad sinemuriana-toarciana. Por encima se encuentran las Formaciones Auquilco - representada por potentes depósitos de yeso de edad oxfordiana superior-kimmeridgiana media (Gulisano y Damborenea 1993) - y Tordillo, formada por psamitas y ruditas de edad kimmeridgiana - tithoniana basal (Nullo *et al.* 2005). En el extremo sur-oriental, sobre la mar-

gen sur del río Valenzuela, hay un pequeño afloramiento asignado por Nullo *et al.* (2005) a las Formaciones Pircala y Coihueco de edad maastrichtiana-paleocena, integrado por psamitas y pelitas.

Las unidades sedimentarias mencionadas están cubiertas e intruidas por volcanitas de la Formación Huincán, de edad miocena. Dos muestras recolectadas entre el codo del río Valenzuela y su desembocadura en el río Grande, arrojaron respectivamente edades radimétricas realizadas por el método K-Ar sobre roca total, de $6 \pm 0,5$ y $22 \pm 2,0$ Ma (Linares y González 2001). La Formación Huincán se encuentra cubierta por ignimbritas y tobas asignadas por Nullo *et al.* (2005) a la Formación Loma Seca, una unidad volcanogénica asociada al centro volcánico del cerro Campanario, situado al sur del Peteroa.

GEOLOGÍA DEL VOLCÁN PETEROA

Sobre las unidades geológicas anteriormente descritas se disponen los depósitos del Complejo Volcánico Planchón Peteroa. El primer estudio integrado de este centro efusivo fue realizado por Tormey *et al.* (1989). Estos autores determinaron que el complejo comprende tres estructuras volcánicas relativamente sobreimpuestas, que desde el punto de vista cronológico corresponden a los volcanes Azufre, Planchón y Peteroa. Sobre la base de las unidades volcánicas, su relación con los depósitos glaciares y las geoformas correspondientes, Haller *et al.* (1994) postularon la existencia de tres épocas eruptivas (EE), denominadas respectivamente El Azufre, El Planchón y Peteroa. Con posterioridad, Naranjo *et al.* (1999) propusieron un esquema volcano-estratigráfico que incluye una estructura antigua, el volcán Azufre, ubicado al sur del Complejo Volcánico Planchón Peteroa y una estructura más joven, el volcán Planchón, desarrollada al norte. A su vez este último se desarrolló en etapas, denominadas respectivamente Planchón 1, Planchón 2 y Peteroa.

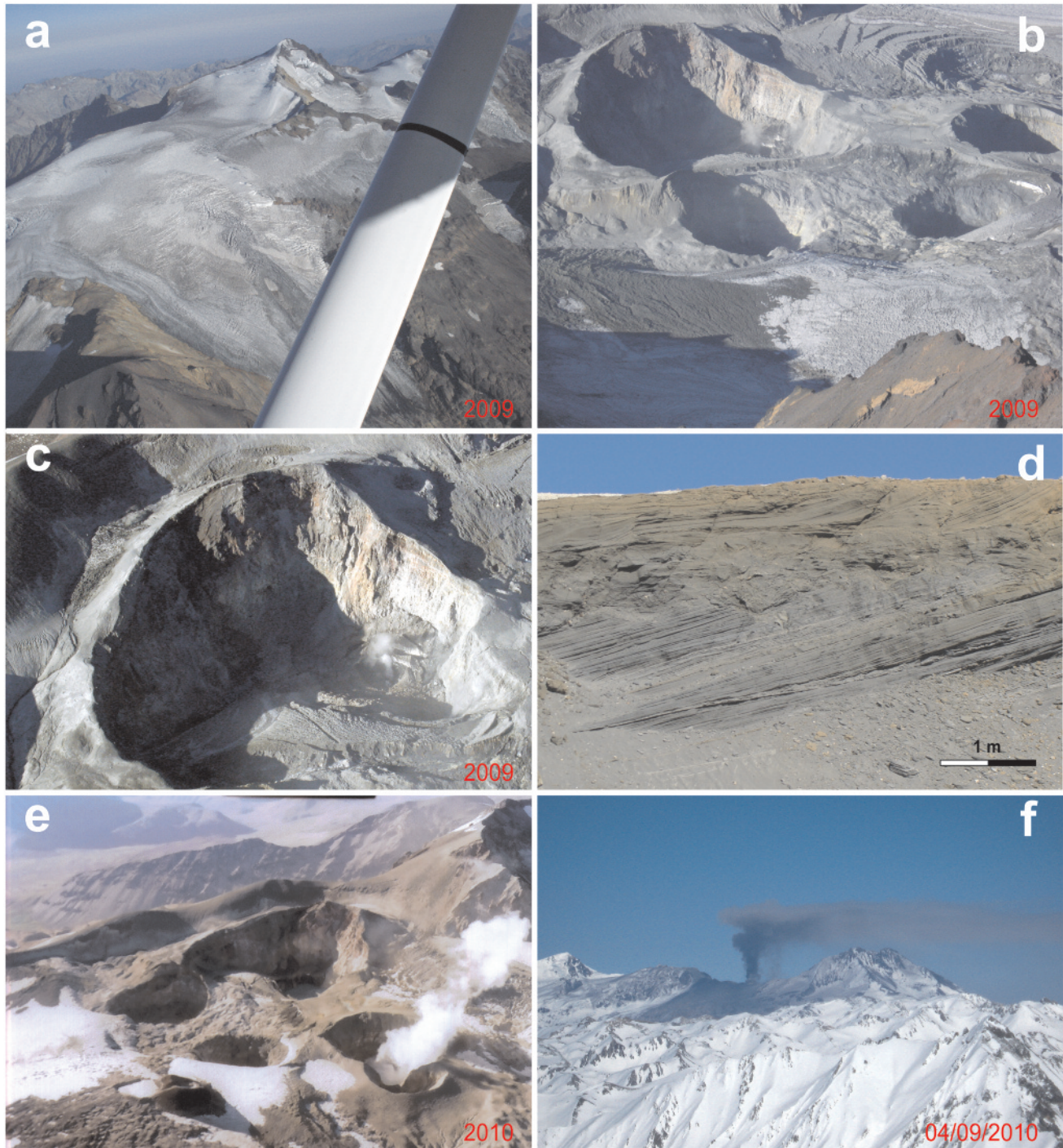


Figura 2: a) Vista desde el Sur de los glaciares que cubren el Complejo Volcánico Planchón Peteroa; b) vista desde el NE de los cráteres de explosión del Peteroa (marzo de 2009); c) vista desde el NE del cráter de explosión antiguo, en el borde SE se observa una potente acumulación de tefra; d) Oleada Piroclástica Valenzuela con estructuras de corte y relleno; f) marzo de 2010, aumento de la actividad fumarólica en los cráteres de explosión; compárese con la figura 2b; g) columna fuerte de tipo sub-pliniano de la erupción del 4 de septiembre de 2010. Caída de tefra en el sector proximal y dispersión de la fracción fina hacia el norte por acción del viento. Vista desde el centro de deportes invernales Las Leñas. Foto gentileza de V. Rojas y T. Perreen.

El arreglo espacio-temporal de los volcanes que conforman el complejo volcánico, con una disposición lineal de rumbo

norte y edades progresivamente más jóvenes hacia el norte, indican la migración de la actividad volcánica hacia el norte,

en una extensión de aproximadamente 7 km. En el tramo septentrional de ese sistema está ubicado el Peteroa, donde se

produce el volcanismo holoceno y se encuentran los cráteres de explosión activos (Fig. 2b).

Las lavas de la época eruptiva El Azufre son de edad pleistocena e incluyen andesitas basálticas y dacitas. La época eruptiva El Planchón desarrolló una estructura semi-cónica, afectada intensamente por la erosión glaciaria, con una superficie expuesta de 35-40 km². En su cima, un cráter apertillado hacia el SO forma un anfiteatro de unos 3 km de diámetro, generado por un colapso parcial del edificio volcánico, que dio origen a una avalancha de detritos que se encauzó por los valles de los ríos Claro y Teno hasta unos 90 km de distancia del volcán, llegando hasta el Valle Central de Chile. Sus lavas corresponden a basaltos y andesitas basálticas y según Haller *et al.* (1994), corresponden al Pleistoceno superior. Se dispone de tres edades radiométricas obtenidas mediante el método K/Ar sobre roca total para rocas de las épocas eruptivas El Azufre y Planchón, que arrojaron $1,20 \pm 0,03$; $0,73 \pm 0,02$ y $0,69 \pm 0,20$ respectivamente (Naranjo *et al.* 1999).

Con posterioridad al colapso se desarrolló una estructura cónica anidada en el interior de la depresión topográfica generada. Presenta un cráter parcialmente erosionado de 2 km de diámetro, que está cubierto por los productos de la época eruptiva Peteroa, de edad holocena. El volcán Peteroa corresponde a una estructura edificada sobre el sector sur-este de la caldera del Planchón. Constituye el volcán actualmente activo del Complejo Volcánico Planchón Peteroa y desde donde se han emitido los productos más recientes.

Haller *et al.* (1994) diferenciaron ocho unidades correspondientes temporalmente a la época eruptiva Peteroa. Tres de ellas son glaciogénicas y están intercaladas entre las restantes, que son de origen volcanogénico. Posteriormente, Naranjo *et al.* (1999) reinterpretaron las unidades de este evento eruptivo. En este párrafo introductorio a la estratigrafía del volcán Peteroa se utilizan las denominaciones informales utilizadas en los trabajos previamente citados. El cuadro 1 muestra los

CUADRO 1: Cuadro estratigráfico del Holoceno de la comarca del volcán Peteroa.

Unidad	Litología	Composición	Edad
Ceniza 1991	Ceniza gris	Dacitas	Erupción de 1991
Colada de Lava ?	Depósitos de Caída del Paso Vergara	Lavas y cono de escorias ?	Ceniza fina a gruesa ?
		Andesitas basálticas, andesitas	Andesitas, basaltos ?
			Erupción de 1837? y 1991
Drift Libertad	Bloques		
Depósito de Pómez Los Baños	Lapilli de pómez	Andesitas basálticas, andesitas, traquiandacitas	1.400 ± 80 AP ¹ 1.050 ± 90 AP ¹
Flujo Piroclástico Los Ciegos	Depósito matriz soportado de escorias	Traquiandesitas	
Drift Teno	Till		4.400 AP ²
Oleada Piroclástica Valenzuela	Ceniza gris finamente laminada	Andesitas basálticas andesitas	7.010 ± 70 AP ¹ 7.000 ± 60 AP ¹
Drift Paso Laguna	Till		

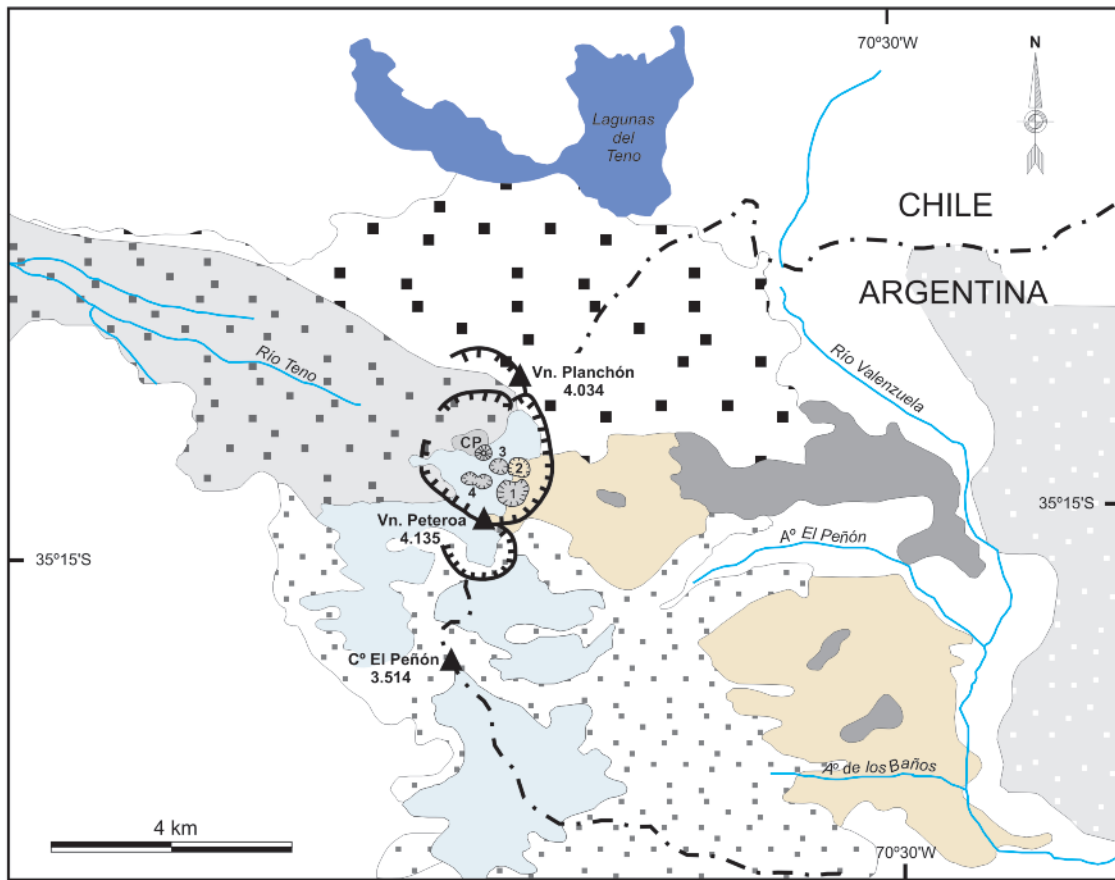
¹ Datos de Naranjo *et al.* (1999); ² Datos de Espizua (2005).

nombres de las unidades y su distribución areal está representada en la figura. La unidad holocena más antigua es el Drift Paso Laguna, el que está distribuido en el sector de la confluencia del arroyo El Peñón con el arroyo de Los Ciegos. Los depósitos se extienden entre las cotas de 2.470 y 2.500 metros. Asimismo, en las proximidades del Paso Vergara, asoman depósitos semejantes, a una cota 2.100 metros. Por otra parte, en el faldeo sur del arroyo de los Baños, a la longitud del río Valenzuela, se extienden depósitos de till con una superficie suavemente inclinada hacia el este. Por su ubicación topográfica, en los laterales del valle, estos depósitos son interpretados como morenas laterales. Este till es considerado representante del acontecimiento glaciario identificable más antiguo de la comarca, pero sin dudas holoceno, por haberse depositado en una topografía ya labrada por las glaciaciones principales. La Oleada Piroclástica Valenzuela está constituida por depósitos particulados volcánicos, entre los que Naranjo y Haller (2002) diferenciaron depósitos de caída y oleadas piroclásticas. Los depósitos de caída asoman en el flanco sur del río Valenzuela, están constituidos por lapilli de escorias y líticos juveniles de color gris oscuro que presentan estratificación gradada en la base y normal en la sección superior. La composición corresponde a andesitas. Las oleadas piroclásticas depo-

sitaron cenizas finamente laminadas en el flanco oriental del Peteroa y en el valle del río Valenzuela, hasta una distancia de 25 km del volcán. La estratificación se caracteriza por estructuras unidireccionales, estratificación entrecruzada, gradación granulométrica y dunas trepadoras. Asimismo se observan truncaciones de bajo ángulo y superficies de reactivación. Los constituyentes juveniles muestran cubiertas finas de vidrio palagonítico y niveles piroclásticos muy finos con vesículas de paredes oxidadas. Estas características sugieren que estos depósitos se formaron como consecuencia de un flujo muy turbulento y una participación muy importante de agua. La Piroclástica Valenzuela aflora en niveles topográficos más bajos que el Drift Paso Laguna y está cubierta por el Drift Teno.

Muestras de sedimentos orgánicos intercalados permitieron a Naranjo *et al.* (1999) obtener edades ¹⁴C de 7.010 ± 70 AP y 7.000 ± 60 AP.

En el valle del arroyo El Peñón, a una cota de 2.480 m, se reconoce el arco morénico del Drift Teno (Haller *et al.* 1994) con sus morenas laterales asociadas y basales bien conservadas. Están formadas por bloques, algunos estriados, gravas, arenas y material más fino, sin estructuras sedimentarias evidentes. Su altura alcanza 15 m y apoya sobre una superficie labrada sobre la Oleada Piroclástica Valenzuela. En su bien documentado estudio



Modificado de Maffini *et al.*, 2010

REFERENCIAS

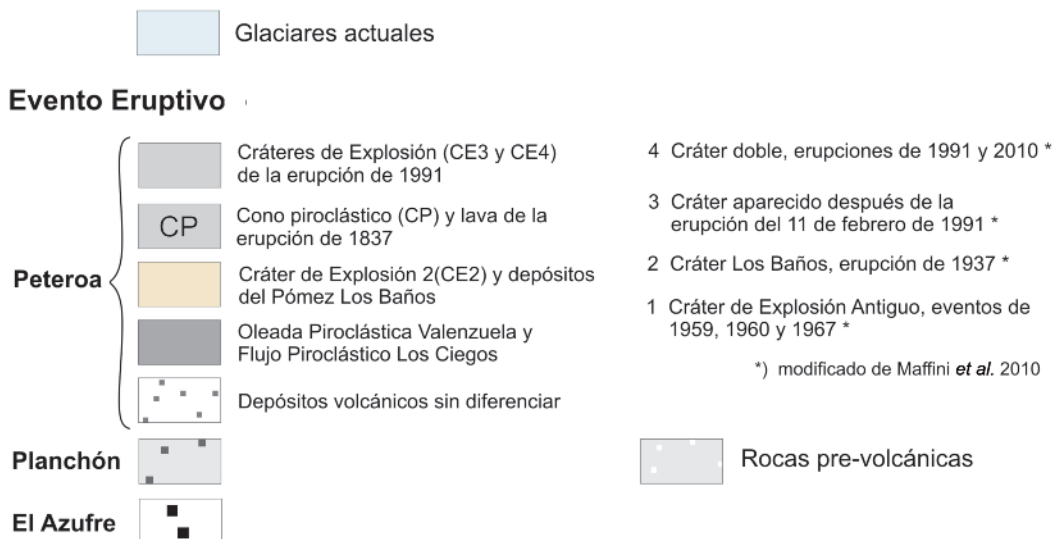


Figura 3: Distribución de las unidades volcánicas en el volcán Peteroa.

de las glaciaciones holocenas del valle Valenzuela, Espizua (2005) asigna esta morena a un avance de la Primera Neoglaciación, que ocurrió hace aproximadamente 4.400 años AP.

El Flujo Piroclástico Los Ciegos es un depósito no consolidado, matriz soportado de escorias. Sus asomos se extienden a modo de manto delgado sobre el faldeo oriental del sector norte del Complejo Volcánico

Planchón Peteroa. Se trata de un depósito mal seleccionado, donde se distinguen bombas escoriáceas de hasta 0,30 m de diámetro inmersos en una matriz de tamaño lapilli a ceniza. Las bombas se

concentran en la superficie del depósito, lo cual puede deberse a un proceso de gradación durante el transporte o a la deflación de las partículas de menor tamaño. Las bombas tienen una composición traquiandesítica. Esta unidad se apoya sobre la Oleada Piroclástica Valenzuela e infrayace al Depósito de Pómez Los Baños. En el faldeo oriental del cerro El Planchón, al norte del arroyo El Peñón y entre las cotas de 3.100 y 3.400 m se extiende un potente depósito de pumicitas, cuyo espesor alcanza los 30 metros, denominada Depósitos de Pómez Los Baños (CE 2, Fig. 3). Se encuentran otros asomos en la base del valle del río de Los Ciegos y en calicatas, por debajo de la planicie de pumicitas removilizadas que se extiende al este de los Baños del Azufre. Los bancos situados a mayor altura presentan cohesión, mientras que aquellos ubicados en los bajos están constituidos por masas de piroclastos sueltos. Los lapilli de pómez están levemente redondeados, tienen forma generalmente prolada, con un diámetro mayor de hasta 0,12 m y color blanco a gris nacarado. Se observa una diferenciación en el tamaño de los lapilli con la distancia al volcán. Por la mayor potencia de los banco de pómez en las inmediaciones del cráter Los Baños, se presume que se originaron en ese cráter. Algunos lapilli muestran clara evidencia de mezcla de magmas, con bandado de dos colores. La composición de los pómez es andesítico-basáltica a traquidacítica. Como señalaran Naranjo *et al.* (1999), estas rocas constituyen las rocas más evolucionadas desde el punto de vista geoquímico del complejo volcánico. Dos muestras de suelo orgánico recolectadas inmediatamente por debajo del Depósito de Pómez Los Baños, brindaron edades ^{14}C de 1.400 ± 80 y 1.050 ± 90 AP (Naranjo *et al.* 1999).

La colada de lava y el cono de escorias (CP, Fig. 3) se desarrollaron sobre la planicie desarrollada al rellenarse parcialmente con piroclastos la depresión originada por el colapso parcial del Planchón. Ambos rasgos volcánicos están relativamente bien conservados. El cono de es-

corias tiene una base subcircular de 150 m de diámetro, una altura irregular que alcanza 60 m y un cráter de 75 m de diámetro. Tiene una forma típica de cono truncado y está aporillado hacia el norte. La colada de lava tiene una extensión de 600 m y en su frente alcanza un espesor de 20 metros. Está constituida por andesitas basálticas y andesitas de textura porfirica, con fenocristales de plagioclasa y ortopiroxeno inmersos en una pasta formada por microcristales y vidrio. De acuerdo a Naranjo *et al.* (1999) se puede relacionar esta efusión lávica con la erupción de 1837 del Peteroa.

En algunos sectores del valle del arroyo El Peñón y a lo largo del valle del río Los Ciegos, es posible observar delgados depósitos relativamente friables de una cinerita blanca, denominados Depósitos de Caída del Paso Vergara por Naranjo *et al.* (1999), en los que abundan fragmentos juveniles andesítico-basálticos con cristaloclastos de plagioclasa y partículas de vidrio translúcido. Las cineritas apoyan sobre una superficie vegetada labrada sobre la Oleada Piroclástica Valenzuela. Estas cineritas ya fueron reconocidas en los trabajos de campo previos a 1991. Por su friabilidad, estos depósitos son fácilmente erosionables, por lo que se postula que su edad estaría comprendida entre la Colada de Lava de la erupción de 1837 y la ceniza de 1991. No se dispone de otros elementos para acotar estratigráficamente a esta unidad.

Del 9 al 17 de febrero de 1991 se inició la última gran erupción del volcán Peteroa del siglo XX. Se trató de una erupción eminentemente freatomagmática cuya columna eruptiva promedió los 400-700 m de altura y tuvo un VEI=1. Durante esta erupción se formaron dos cráteres de explosión de entre 100-200 m de diámetro. La Ceniza 1991 corresponde a material piroclástico muy fino, con fragmentos de pómez, fragmentos líticos y menor proporción de cristaloclastos de plagioclasa. La composición química corresponde a una dacita. La dispersión de la ceniza en territorio argentino cubrió una zona de 80 km de largo por 30 km de an-

CUADRO 2: Erupciones históricas del volcán Peteroa según el *Global Volcanism Program* (2010) con el agregado de la erupción de 2010.

Año	VEI	Tipo de erupción
2010	1	Central, explosiva, freatomagmática
1998	1	Central, explosiva, freatomagmática (?)
1991	2	Central, explosiva, freatomagmática, lahar(es)
1967	1	Central, explosiva, freatomagmática
1962	1	Central, explosiva
1960	1	Central, explosiva, freatomagmática(s)
1959	1	Central, explosiva, freatomagmática(s)
1938	2	Central, explosiva, freatomagmática(s)
1937	2	Central, explosiva, flujo(s) de lava (?)
1889	2	Central
1878	2	Central
1872 (?)	-	(?)
1869 (?)	-	(?)
1860	2	Central, explosiva
1842	-	(?)
1837	2	Central, explosiva, lahar(es)
1835	2	Central
1762	4	Central, explosiva, flujo(s) de lava, lahar(es), flujo(s) de detritos
1751	2	Central, explosiva
1660	3	Desconocida

cho. Durante la última visita al volcán (febrero de 2011) solamente quedaban escasos montículos de ceniza retransportada, al abrigo de la escasa vegetación de la comarca. En el catálogo del *Global Volcanism Program* (2010) se registra una erupción del volcán Peteroa entre el 18 y 21 de noviembre de 1998. Esta erupción, de naturaleza freatomagmática, provocó caída de cenizas (Naranjo y Haller 2002). Debe mencionarse que el Peteroa carece de un programa de vigilancia volcánica permanente y continua. Si bien después de la erupción de 1991 se instaló un sísmógrafo en las cercanías del volcán, el mismo fue retirado años más tarde. Actualmente se desarrolla un estudio de Emisión Acústica (Ruzzante *et al.* 2009) cuyos datos se recolectan periódicamente y muestreos esporádicos y experimentales de gases (Castillo *et al.* 2010).

LAS ERUPCIONES HISTÓRICAS Y EL PERÍODO DE REPOSO

Durante el período posterior a la llegada

de los europeos, se registraron veinte erupciones del volcán Peteroa, las que han sido resumidas en el cuadro 2, modificado del catálogo del *Global Volcanism Program* (2010).

Cabe consignar que la erupción de 1762 ha sido atribuida a algún otro de los varios volcanes activos de la región (Sruoga 2008). Ello sería efectivamente posible, por ser la erupción de 1762 de un índice de eruptividad volcánica (VEI) mayor, cuyo valor no se condice con las restantes registradas en este centro eruptivo.

A los efectos de calcular el período de reposo del volcán Peteroa se ha asumido que tanto la erupción de 1751 y las erupciones consideradas dudosas en el catálogo ocurrieron realmente y a estas últimas se les asignó arbitrariamente un VEI=1. Complementariamente, se adoptó la convención de Klein (1982) de considerar los tiempos de reposo como la ocurrencia entre dos acontecimientos volcánicos sucesivos, con independencia de la duración de cada evento eruptivo. Asimismo, corresponde señalar que la calidad de los datos del catálogo no es la misma, varias erupciones consignan sólo el año y carecen del día de inicio y de finalización de la erupción. Es por ello que siguiendo a Bebbington y Lai (1996), en aquellos casos en los que se informa solamente el año de la erupción, se le asigna por convención la fecha del 30 de junio de ese año; si solamente se consigna el mes del año, se asigna la erupción al día 15 del mes respectivo. La figura 4 ilustra la frecuencia acumulada de erupciones *vs.* los años de ocurrencia.

En el gráfico se distinguen tres regímenes de erupción con tasas de erupción diferentes, separados por períodos de latencia más prolongados. La pendiente de las líneas punteadas representa la tasa de erupción (λ_i) de cada régimen. La pendiente de la línea sólida indica la tasa de erupción de toda la serie ($\lambda_{\text{global}} = 0,0555$). De esta manera, el período de reposo para el intervalo 1660 - 1762 es de 34 años; el período de reposo para el lapso 1835-1889 es de 7,7 años, mientras que para el período 1937-2010, el período de

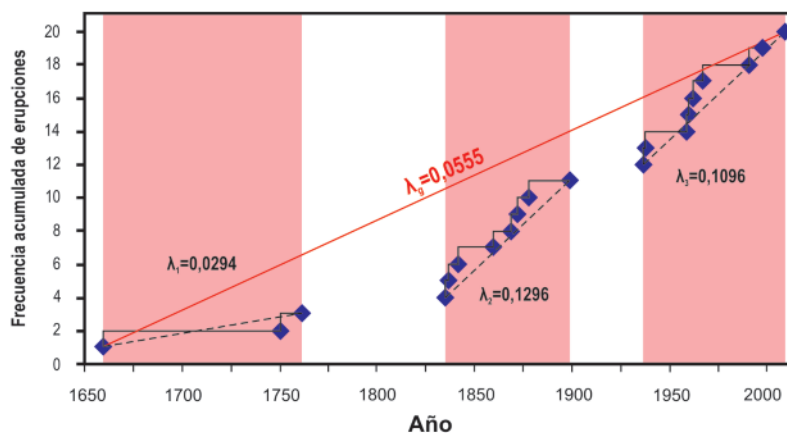


Figura 4: Frecuencia acumulada de erupciones *vs.* año de ocurrencia. Se diferencian tres regímenes de erupción con tasas de erupción distintas, separados por períodos de latencia más prolongados. La pendiente de las líneas punteadas representa la tasa de erupción (λ_i) de cada régimen. La pendiente de la línea sólida indica la tasa de erupción de toda la serie ($\lambda_{\text{global}} = 0,0555$).

reposo es de 9,1 años. El período de reposo para toda la serie, incluyendo los períodos de latencia prolongados, es de 18 años.

LA ERUPCIÓN DE 2010

Durante los trabajos de campo de marzo de 2009 se observó un aumento de la actividad fumarólica en los cráteres de explosión ubicados en la cima, con respecto a los años anteriores y un aumento de la temperatura en la superficie cercana a ella (D. Trombotto, *com. pers.*). El sobrevuelo realizado en marzo de 2010 permitió observar un importante aumento en el número de fumarolas y en el volumen de gases emitidos (Fig. 2e). Se observó asimismo un nuevo campo de fumarolas en el borde del glaciar situado en las cercanías de uno de los cráteres de explosión con emisión de vapor importante (L. Lara, *com. epist.*).

Debe señalarse que la región permanece deshabitada e inaccesible entre abril y diciembre, por lo que las primeras señales de una erupción volcánica fueron obtenidas por los radares de la Fuerza Aérea Argentina, que el 4 de septiembre de 2010 detectaron una pluma de color gris oscura a una altura de 12.500 a 17.000 pies y rumbo noreste, cuyas coordenadas coincidían con las del Peteroa. La fotografía (Fig. 2f) obtenida desde el centro depor-

tivo invernal de Las Leñas, permitió observar una columna eruptiva fuerte de tipo sub-pliniano, cuya altura fue estimada en 1.500-2.000 m sobre el piso del cráter. La medición de la sombra de la columna en las imágenes Landsat TM (Fig. 5a) del día 4 de septiembre permitió precisar la altura en 1.780 metros. A partir del 5 de septiembre, se observó una columna débil (Fig. 5b), cuya altura no superaba 200 m y que se desplazaba por acción de los vientos hacia el sudeste. Esa situación se mantuvo en los días subsiguientes (Fig. 5c). El vuelo realizado por el SERNAGEOMIN de Chile el 7 de septiembre permitió determinar que el Peteroa mantenía una actividad eruptiva con explosiones débiles, posiblemente de origen freatomagmático (SERNAGEOMIN 2010). La erupción consistía en pulsos discretos de gases y cenizas finas con una frecuencia de entre 40 y 60 segundos, formando una columna eruptiva débil de color gris de aproximadamente 200 m sobre el nivel de los cráteres. Observaciones realizadas en el valle del río Grande, situado al SE del volcán, constataron el 8 de septiembre la existencia de ceniza en el aire y muy escasa caída efectiva de tefra, con espesores del orden o menores a 0,001 metros.

El vuelo del día 10 de septiembre permitió observar una intensa actividad fumarólica distribuida en los cuatro cráteres de

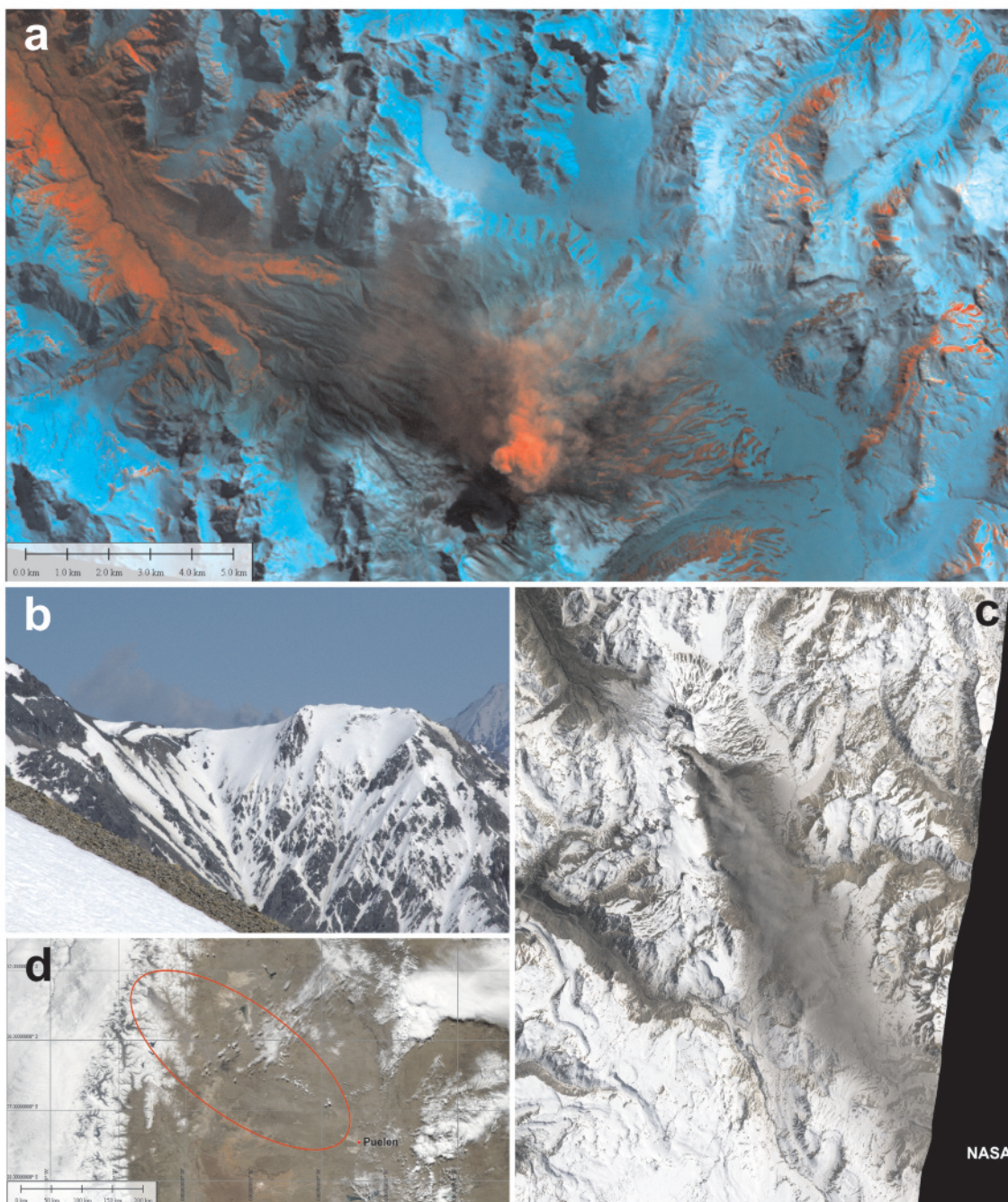


Figura 5: a) Imagen Landsat TM del 4 de septiembre de 2010. La medición de la longitud de la sombra de la columna eruptiva permitió precisar la altura de la misma en 1.780 metros (imagen gentileza CONAE y Dr. H. del Valle); b) columna eruptiva débil del 5 de septiembre de 2010 de 200 m de altura sobre el cráter, vista desde el este; c) imagen ALI de la plataforma EO-1, del 21 de septiembre de 2010. La pluma eruptiva del volcán Peteroa es dirigida hacia el SE por los vientos predominantes en altura; por debajo de la pluma, la tefra cubre la nieve, oscureciéndola (imagen: NASA); d) la imagen MODIS de la plataforma TERRA del 25 de septiembre permitió determinar la máxima extensión visible alcanzada por la pluma, que llegó hasta la localidad de Puelén en la provincia de La Pampa.

explosión, pero escasa o nula emisión de tefra. Abundante tefra cubría la nieve en un radio aproximado de 10 km alrededor de los cráteres.

Las observaciones aéreas del 7 de octubre permitieron apreciar un ligero aumento en la proporción de cenizas emitidas con respecto a los reconocimientos anteriores, las que formaron una pluma débil cuya altura no superaba los 200 metros (Fig. 6a). La erupción se producía a

través de una sucesión de explosiones débiles, probablemente de origen freatomagmático. Los vientos predominantes del noroeste desplazaron el cuerpo principal de la pluma hacia el sudeste, con un techo estimado en 3.500 metros. Las turbulencias atmosféricas locales redistribuyeron parcialmente la ceniza en suspensión en forma estratificada hacia otras direcciones, principalmente siguiendo los cauces de los valles. El sector más denso

de la pluma ocupó el valle del río Grande, mientras que se observaron porciones menos densas en dirección del valle Hermoso y el valle Noble.

De acuerdo a las imágenes MODIS, las emisiones se interrumpieron entre los días 14 y 18 de octubre de 2010, entrando el volcán en un corto período de latencia. Durante el trabajo de campo de febrero de 2011, se escucharon explosiones y se observaron emisiones de nubes discretas

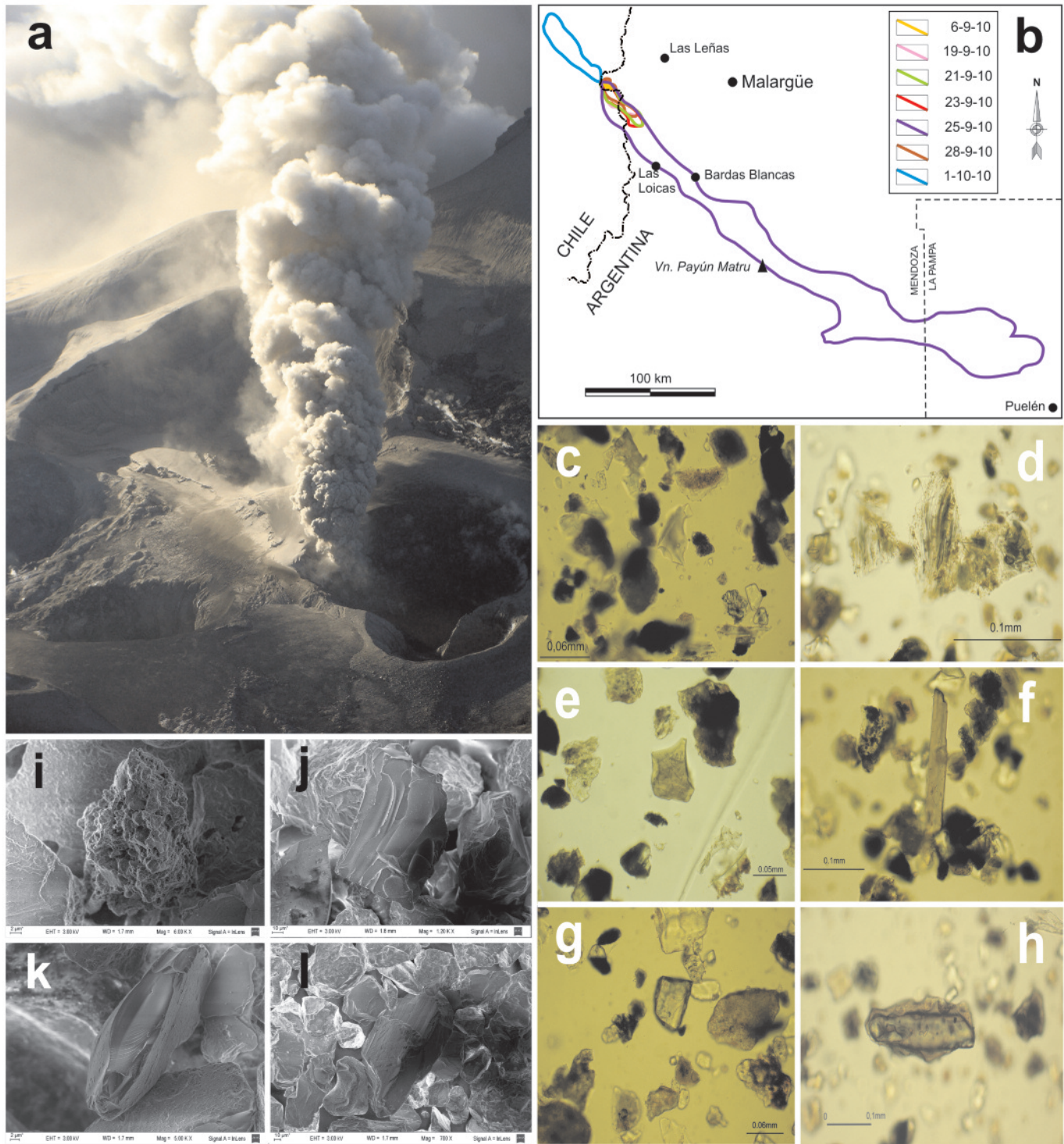


Figura 6: a) La columna eruptiva (~200 m de altura) del día 7 de octubre. La erupción se produce a través de explosiones débiles, probablemente de origen freatomagmáticos; b) distribución de la pluma del volcán Peteroa en distintos intervalos entre el 6 de septiembre y el 1° de octubre de 2010. c-d) Microfotografías de la tefra caída; c) triza vítrea de la variedad límpida; d) triza vítrea de la variedad pumícea; e) triza vítrea con inclusiones de minerales aciculares; f) cristaloclasto de anfíbol; g) cristaloclasto de clinopiroxeno; h) cristaloclasto de ortopiroxeno (hipersteno) con un reborde de vidrio. i-l) Imágenes SEM de la tefra: i) clasto pumíceo; j) clasto vítreo denso; k) cristaloclasto de plagioclasa subhedral con macla polisintética; l) clasto vítreo delgado con típica fractura concoidea.

de color negro, color que se atribuye a la presencia de ceniza. El 12 de abril de 2011 el volcán Peteroa volvió a emitir una columna eruptiva débil de color gris oscuro, de 500 m de altura. La ceniza había cubierto la nieve de las montañas.

Distribución y características de la tefra eyectada

Se utilizaron las imágenes MODIS de la plataforma TERRA para seguir diariamente la evolución de la pluma volcánica. La figura 6b muestra el alcance de la pluma en distintos intervalos. El día 25 de septiembre la pluma volcánica alcanzó su mayor extensión detectable (420 km), llegando en altura hasta la localidad de Puelén, en la provincia de La Pampa (Fig. 6d). Por su escasa dispersión, la pluma no constituyó un inconveniente para la aeronavegación. Sus efectos sobre las personas y animales se limitaron a los pobladores del valle superior del río Grande.

En las proximidades del volcán y el sector inmediatamente situado a sotavento, hasta una distancia de aproximadamente seis kilómetros, los espesores de la tefra caída fueron relativamente importantes. Las inmediaciones del volcán son habitadas únicamente durante la temporada de verano, por lo que la tefra no afectó a personas ni al ganado. En sectores más alejados al Peteroa, como el Valle Noble y la localidad de Las Loicas, el espesor de la tefra caída no alcanzó a 0,001 metros. El examen microscópico de la tefra recolectada en el valle del río Grande reveló partículas de tamaño promedio de 0,1 mm (triza), alcanzando las de mayores dimensiones 0,25 mm (triza) y los más pequeños 0,025 mm (pulvícula). En general los fragmentos que componen la ceniza son angulosos y entre ellos se distinguen en mayor proporción cristaloclastos, luego clastos pumíceos, trizas y fragmentos de vidrio, y hay un porcentaje de 10 % de alteritas o grumos de arcillas. El vidrio es de color pardo claro y se encuentra en forma de trizas límpidas (Fig. 6c), trizas pumíceas (Fig. 6d) y como fragmentos con gran cantidad de inclusiones cristalinas (Fig. 6e). Los cristaloclastos más abundantes son los de plagioclasa, acompañados en escasa proporción por anfíbol (Fig. 6f), piroxeno y opacos. En las muestras recolectadas en los Baños del Azufre, situadas al pie del volcán, las partículas tienen tamaño promedio de 0,06 mm, sin embargo los tamaños gradan desde apro-

ximadamente 0,64 mm hasta el de pulvícula. Ocasionalmente se observan fragmentos de vidrio de hasta 2 mm. El vidrio es muy abundante y de color negro, lo que hace que la ceniza tenga coloración parda grisácea oscura. Al microscopio, el vidrio se ve de color pardo, en fragmentos de hábito irregular con inclusiones de pequeños minerales. Hay escasas trizas y fragmentos pumíceos. En la fracción cristaloclastica predominan las plagioclasas, límpidas y con formas angulosas; luego clinopiroxenos incoloros, también de forma angulosa y hábito anhedral (Fig. 6g), y en menor proporción, ortopiroxeno (hiperstenos), en ocasiones con un reborde de vidrio (Fig. 6h). Hay abundantes opacos de hábito anhedral y otros fragmentos alterados a óxidos y/o arcillas.

Las imágenes de microscopio de barrido electrónico (SEM) (Microscopio Electrónico de Barrido, SUPRA 40 Zeiss) y EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) se obtuvieron en el Centro de Microscopías Avanzadas de la FCEyN-UBA. Previamente las muestras se tamizaron con un tamiz Tyler de 38 micrones para separar la fracción limo de la más fina y en húmedo se sometieron a lavado ultrasónico. Las imágenes permitieron apreciar la morfología de la ceniza volcánica emitida. Se reconocen clastos vítreos y cristaloclastos. Entre las variedades vítreas hay clastos pumíceos (Fig. 6i); otros densos y con fracturas planas escalonadas (Fig. 6j) y una tercera variedad, con clastos delgados y con típica fractura concoidea (Fig. 6k). Entre los cristaloclastos, se observan plagioclasas subhedrales (Fig. 6l).

Contenido en F y As

Se dispone de resultados de análisis de la ceniza emitida por el volcán Peteroa por flúor y arsénico realizados en la División Servicios Analíticos de la Comisión Nacional de Energía Atómica mediante cromatografía iónica y espectrometría de plasma inductivo de argón, que arrojaron resultados para F- $21 \pm 2 \mu\text{g/g}$ y para As $0,015 \pm 0,002 \text{ pbm}$. Estos valores no son significativos para la salud de personas o animales.

Sería recomendable poder evaluar el efecto de la ceniza sobre las pasturas. En el caso de la erupción de 2008 del volcán Chaitén, Martin *et al.* (2009) comprobaron que la caída de tefra produce cambios composicionales importantes en los cuerpos de agua efímeros y el coirón (*Festuca palllescens*), principal alimento del ganado lanar y caprino.

CONCLUSIÓN

El Peteroa es un volcán poligenético que registra 20 erupciones históricas, con un período de reposo de 9,1 años. La primera erupción del siglo XXI tuvo una duración de 48 días. La erupción tuvo carácter freatomagmático, con emisión de abundante vapor y relativamente escaso material particulado. El primer día de la erupción, la altura de la columna eruptiva alcanzó 1.800 metros sobre el cráter. En los días siguientes, la altura de la pluma se mantuvo en el orden de 200 metros. La ceniza emitida contiene material juvenil, principalmente vidrio volcánico. Debido a la baja energía de la erupción del año 2010, la misma no tuvo mayor efecto sobre la población del departamento Malargüe en el sur de Mendoza.

El volcán Peteroa carece hasta la fecha de monitoreo permanente. Sin embargo, la frecuencia eruptiva amerita que se instruya un programa de vigilancia volcánica mediante la utilización de métodos geofísicos, geodésicos, geoquímicos y geológicos, apoyados por tecnologías de electrónica, comunicaciones e informática.

AGRADECIMIENTOS

Los sobrevuelos han sido posibles gracias al apoyo del International Center for Earth Sciences (ICES)-Regional Malargüe, la municipalidad de Malargüe y el PICT-2007 01769 de la ANPCYT. La Dra. G.I. Massaferrero amablemente describió las tefras al microscopio y tomó las microfotografías. El centro de microscopías avanzadas de la FCEyN-UBA facilitó la obtención de imágenes con el microscopio de barrido electrónico. El Dr. Darío

Trombotto y la Esp. Amalia Ramires compartieron algunos de los sobrevuelos y participaron de interesantes discusiones. El Dr. Víctor A. Ramos ayudó con sus comentarios a mejorar el manuscrito. Las atinadas revisiones de la Dra. Patricia Sruoga, el Dr. Pablo Caffé y el Dr. Pablo Pazos contribuyeron considerablemente a la comprensión del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bebbington, M.S. y Lai, C.D. 1996. Statistical analysis of New Zealand volcanic occurrence data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 74: 101-110.
- Castillo, P.A., Núñez, N., Schmidt, D., Estevez, G., Bonaparte, J., Rodríguez, D.F. y Rinaldi, C. 2010. Avances en el proyecto de medición de gases en el volcán Peteroa. *Actas de Resúmenes E-ICES* 6: 18.
- Comité Argentino de Estratigrafía 1993. Código Argentino de Estratigrafía. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria 9: 1-477. Buenos Aires.
- Espizua, L.E. 2005. Holocene glacier chronology of Valenzuela Valley, Mendoza Andes, Argentina. *The Holocene* 15(7): 1079-1085.
- Global Volcanism Program 2010. <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1507-04=&volpage=erupt>. Fecha de acceso: 17/08/2010.
- Haller, M.J., Ostera, H.A., Pesce, A.H., Gardini, M. y Folguera, A. 1994. Vulcanoestratigrafía reciente y eruptividad del Volcán Peteroa. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 319-323, Concepción.
- Klein, F.W. 1982. Patterns of Historical eruptions at Hawaiian Volcanoes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 12: 1-35.
- Linares E. y González, R.R. 1990. Catálogo de Edades Radimétricas de la República Argentina. Parte I: años 1957-1987. Asociación Geológica Argentina, Serie F(1), Publicaciones en CD-ROM, N° 1, Buenos Aires.
- Maffini, M.N., Haller, M.J. y del Valle, H.F. 2010. Análisis comparativo de los cráteres de explosión del volcán Peteroa. *E-ICES* 6, Acta de Resúmenes, Malargüe.
- 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: 462-472.
- Naranjo, J.A., Haller, M.J., Ostera, H.A., Pesce, A. H. y Sruoga, P. 1999. Geología y peligros del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa, Andes del Sur (35°15'S), Región del Maule, Chile-Provincia de Mendoza, Argentina. *Boletín* 52, 55 p., Santiago.
- Nulló, F.E., Stephens, G., Combina, A., Dimieri, L., Baldauf, P. y Pablo Bouza. 2005. Hoja Geológica 3569-III / 3572-IV Malargüe, Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* 346, 85 p., Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Aleman, A. 2000. Tectonic Evolution of the Andes. En Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. y Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*, 31° International Geological Congress: 635-685, Rio de Janeiro.
- Ruzzante, J., López Pumarega, M. I., Armeite, M., Piotrkowski R., Gregori, G.P., Marson I., Paparo, G., Poscolieri, M. y Catellani, A.C. 2009. Análisis sobre el comportamiento del volcán Peteroa (Argentina), por métodos de emisión acústica (EA). 34ª Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, *Ciencias de la Tierra* 1: 221-227, Buenos Aires.
- SERNAGEOMIN, 2010. http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=565&Itemid=1.
- Sruoga, P. 2008. El volcán Planchón-Peteroa-Un modelo para armar. Sitios de Interés Geológico de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Anales* 46(1): 237-247, Buenos Aires.
- Tormey, D., Frey, F. y López-Escobar, L. 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchón-Peteroa Volcanic Center (35°15'S, southern Andes) with implications for the development of compositional gaps. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44(1-4): 420-430.
- Trombotto D., Penas P. y Blöthe, J.H. 2005. Análisis térmico inicial de la caldera y cumbre del complejo volcánico Peteroa, Mendoza-Argentina. *Resúmenes E-ICES* 5: 126.

Recibido: 15 de marzo, 2011.

Aceptado: 10 de junio, 2011.