



ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA



PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLÓGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL

No. 17

Escalas 1:250.000 y 1:3.000.000

2012



*ACUERDO ENTRE LA REPUBLICA DE CHILE Y LA REPUBLICA ARGENTINA PARA PRECISAR EL RECONOCIMIENTO DEL LIMITE DESDE EL MONTE FITZ ROY HASTA EL CERRO DALLON. (Buenos Aires, 10 de Septiembre de 1986)

CARTA GEOLÓGICA DE CHILE SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL

- No. 1 Respuesta Sísmica de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. 2003. J.C. Fernández. 1 mapa escala 1:100.000.
- No. 2 Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. 2003. J.L. Antinao, J.C. Fernández, J.A. Naranjo y P. Villarroel. 1 mapa escala 1:100.000.
- No. 3 Rocas y Minerales Industriales de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. 2003. J.L. Antinao. 1 mapa escala 1:100.000.
- No. 4 Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. 2003. S. Iriarte. 1 mapa escala 1:100.000.
- No. 5 Geología para el Ordenamiento Territorial: Cuenca de Santiago, Región Metropolitana de Santiago. 2003. J.L. Antinao, J.C. Fernández y S. Iriarte. 1 mapa escala 1:100.000.
- No. 6 Geología para el Ordenamiento Territorial: Área de Osorno, Región de Los Lagos. 2003. Y. Pérez, J. Milovic, R. Troncoso, J. Hanisch, F. Helms y M. Toloczyki. Texto y 6 mapas escala 1:100.000.
- No. 7 Mapa de Peligros del Volcán Llaima, Región de La Araucanía. 2003. H. Moreno y J.A. Naranjo. 1 mapa escala 1:75.000.
- No. 8 Geología para el ordenamiento territorial: Área de Valdivia, Región de Los Lagos. 2005. M. Arenas, C. Jara, J. Milovic, Y. Pérez D., R. Troncoso; J. Behlau, J. Hanisch y F. Helms. 7 mapas, escala 1:100.000 y 1:25.000.
- No. 9 Peligros del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco: Región de Los Lagos. 2006. H. Moreno y J. Naranjo. 1 mapa escala 1:50.000.
- No. 10 Peligros del Complejo Volcánico Taapaca, Región de Arica y Parinacota. 2007. J. Clavero. 1 mapa escala 1:50.000.
- No. 11 Geología para el ordenamiento territorial del Área de Temuco, Región de La Araucanía. 2007. R. Troncoso, M. Arenas, C. Jara, J. Milovic y Y. Pérez. Texto y 6 mapas, escala 1:100.000.
- No. 12 Microzonificación sísmica de la ciudad de Concepción, Región del Biobío. 2010. J. Vivallos, P. Ramírez y A. Fonseca. 1 mapa escala 1:20.000.
- No. 13 Peligros Volcánicos de Chile. 2011. L. Lara, G. Orozco, Á. Amigo y C. Silva. Texto y 1 mapa escala 1:2.000.000.
- No. 14 Peligro de Licuefacción: área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante, Región del Biobío. 2012. M.F. Falcón, M. Arenas, P. Ramírez, M. Marín, C. Creixell y S. Huerta. 1 mapa escala 1:50.000.
- No. 15 Peligro de Inundación por Tsunami: Área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante, Región del Biobío. 2012. M.F. Falcón, P. Ramírez, M. Marín y M. Arenas. 1 mapa escala 1:50.000.
- No. 16 Microzonificación Sísmica de la ciudad de San Pedro de la Paz, Región del Biobío. 2012. P. Ramírez, J. Vivallos, D. Cáceres

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - CHILE

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

**REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ,
ANTOFAGASTA Y ATACAMA**

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLÓGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL

No. 17

Escalas 1:250.000 y 1:3.000.000

2012

**PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA,
TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA**

Escalas 1:250.000 y 1: 3.000.000

**CARTA GEOLÓGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL, No. 17, 2012**

ISSN 0717-7305

Inscripción No. 223.761

©Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.

Director Nacional (S): Julio Poblete C.

Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.

Derechos reservados. Prohibida su reproducción.

Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.

Comité Editor: Felipe Espinoza G., Aníbal Gajardo C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.

Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moyra Gardeweg P., José G. Viramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.

Diagramación: Mariela González A.

Referencia bibliográfica:

Amigo, A.; Bertin, D.; Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la zona norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 17: 45 p., 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

Portada: Volcanes del arco volcánico actual (Pleistoceno-Holoceno) sobre depósitos ignimbríticos neógenos. Pampa Lejía, Altiplano de la Región de Antofagasta.

Fotografía: Á. Amigo

Tiraje: 300 ejemplares

Impreso por: Andros Impresores

CONTENIDO

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	5
DESCRIPCIÓN DE LOS CENTROS ERUPTIVOS.....	9
VOLCÁN TACORA.....	10
VOLCÁN TAAPACA.....	11
VOLCÁN PARINACOTA.....	11
VOLCÁN GUALLATIRI.....	12
VOLCÁN ARINTICA.....	12
VOLCÁN ISLUGA.....	12
VOLCÁN IRRUPUTUNCU	13
VOLCÁN OLCA-PARUMA.....	13
VOLCÁN AUCANQUILCHA	14
VOLCÁN OLLAGÜE.....	14
VOLCÁN APACHETA-AGUILUCHO	14
VOLCÁN SAN PEDRO	15
VOLCÁN PUTANA	15
CORDÓN ESCALANTE-SAIRECABUR	16
VOLCÁN LICANCABUR	16
CRÁTER ALÍ TAR	17
VOLCÁN COLACHI.....	17
VOLCÁN ACAMARACHI.....	17
VOLCÁN LÁSCAR	17
VOLCÁN CHILIQUES	18
VOLCÁN MISCANTI	19
CORDÓN PUNTAS NEGRAS.....	19
VOLCÁN MIÑIQUES.....	19
VOLCÁN CAICHINQUE	20
VOLCÁN PÚLAR-PAJONALES	20
VOLCÁN SOCOMPA.....	20
VOLCÁN LLULLAILLACO.....	21
VOLCÁN ESCORIAL	21
VOLCÁN LASTARRIA.....	21
CORDÓN DEL AZUFRE	22
NEVADO DE INCAHUASI.....	22
NEVADO TRES CRUCES.....	22
VOLCÁN OJOS DEL SALADO	23
METODOLOGÍA.....	23
PELIGRO VOLCÁNICO PROXIMAL	24
PELIGRO VOLCÁNICO DISTAL ASOCIADO A CAÍDA DE PIROCLASTOS	26
RESULTADOS.....	27
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	27
AGRADECIMIENTOS	28
REFERENCIAS	28

ANEXOS

Anexo I	Tabla 1. Escenarios eruptivos y parámetros de modelación	37
Anexo II	Tabla 2. Observaciones de campo, edades radiométricas relevantes y últimos reportes históricos.....	39
Anexo III	Tabla 3. Año meteorológico típico para distintas alturas atmosféricas.....	41
Anexo IV	Glosario	42

FIGURAS

Fig. 1.	Volcanes considerados geológicamente activos en la Zona Volcánica Central entre los 16,5°S-27,5°S	8
Fig. 2.	Morfologías volcánicas representativas de la Zona Volcánica Central	9
Fig. 3.	Productos volcánicos representativos de la Zona Volcánica Central.....	10
Fig. 4.	Esquema con ejemplos de conos de energía y parábolas aplicados al volcán Taapaca.....	25

MAPAS (fuera de texto)

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1. Peligros volcánicos proximales (5 hojas, escala 1:250.000)

Mapa 2. Peligro de caída de piroclastos (1 hoja, escala 1:3.000.000)

RESUMEN

El arco volcánico moderno (Pleistoceno-Holoceno), emplazado en la región sur de Perú, norte de Chile, oeste de Bolivia y noroeste de Argentina, forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (14°-28°S). Se origina producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana y se extiende de forma semicontinua en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. En este segmento se han identificado un total de 33 volcanes geológicamente activos, ubicados total o parcialmente en territorio chileno, definidos como aquellos donde se infiere actividad eruptiva durante el Holoceno o bien se observan signos medibles de actividad volcánica, ya sea desgasificación pasiva, anomalías térmicas, microsismicidad o deformación de su superficie. El centro eruptivo más activo del segmento corresponde al volcán Láscar (Región de Antofagasta), con más de una treintena de erupciones explosivas en los últimos dos siglos, la mayoría de tipo vulcanianas, y sitio de la mayor erupción ocurrida en el norte de Chile en tiempos históricos (19 y 20 de abril de 1993).

En este trabajo se presenta una evaluación objetiva del peligro volcánico a escala regional con dos focos de análisis: **1.** zonificación de peligros derivados de lavas, piroclastos balísticos, corrientes piroclásticas, lahares y avalanchas volcánicas en espacios de decenas de kilómetros en torno a los centros eruptivos y **2.** determinación de regiones susceptibles a acumular caída piroclástica en superficie derivada de columnas eruptivas vigorosas, superiores a 10 km de altura. En el primer caso, las áreas susceptibles de ser impactadas fueron estimadas en función de la movilidad esperada de los procesos volcánicos mencionados, mediante la modelación de superficies cónicas y parabólicas que mejor reproducen los datos de campo obtenidos específicamente para este estudio. La zonificación de peligros se presenta como tres demarcaciones anidadas (alta, moderada y baja), caracterizadas por distinta probabilidad relativa de ocurrencia. Por otra parte, la dispersión piroclástica en la atmósfera y su acumulación en superficie, fue estimada asignando un escenario eruptivo para cada volcán, definido desde un conjunto acotado de erupciones bien documentadas y en consideración a las condiciones de circulación atmosférica estacionales.

Los resultados de este trabajo se presentan en un mapa en 5 hojas de escala 1:250.000 (Peligros volcánicos proximales) y un mapa de escala 1:3.000.000 (Peligro de caída de piroclastos).

ABSTRACT

The Andean Central Volcanic Zone is located in southern Perú, northern Chile, western Bolivia and northwestern Argentina, where volcanism results from the subduction of the Nazca plate below the South American plate. Most of the Central Andes volcanoes are partially or fully located in Chile. In this segment 33 eruptive centers are considered active, which means either Holocene eruptive activity documented or volcanic unrest is present, such as quiescent degassing, thermal anomalies, microseismicity or surface deformation. The most active volcano is Láscar, where more than thirty eruptions have been recorded since the 19th century. In addition, the subplinian eruption occurred in April 1993 is considered the largest volcanic event in northern Chile in historical times.

This work addresses the identification of areas to prone to be affected by volcanic processes at regional scale, in particular: **1.** hazards associated with lava flows, domes emplacement, pyroclastic density currents, debris avalanches and lahars, and **2.** hazards derived from pyroclastic fallout in connection with strong eruptive plumes. In the former case, both conical and parabolic surfaces (related to the flow mobility) were used in order to delineate three hazard zones (high, moderate and low), according to field observations and relative recurrence probability. These results are shown in one 1:250.000 scale map, consisting of five sheets. In the latter case, both tephra dispersion and accumulation on the surface (1 cm thickness or more) are estimated for the most likely eruptive scenario for each volcano according to field evidence, considering well documented eruptions as patterns, and wind data. These results are shown in one 1:3.000.000 scale map, according seasonality.

INTRODUCCIÓN

La Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes corresponde a uno de los cuatro segmentos del arco volcánico andino actual, el cual se extiende desde el sureste de Perú (14°S) hasta el norte de Chile (27°S), incluyendo el noroeste argentino y el occidente boliviano. El volcanismo en esta provincia ha estado ligado a la subducción casi continua de corteza oceánica (placas Farallón y Nazca) bajo corteza continental (placa Sudamericana) desde al menos el Jurásico Inferior (Scheuber y Reutter, 1992). El ángulo de esta convergencia osciló desde 55° a 10° al dividirse la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca hace 26 Ma,

manteniéndose hasta los 20 Ma (Cande y Leslie, 1986; Pardo-Casas y Molnar, 1987; de Mets *et al.*, 1994; Somoza, 1998), para después variar a un ángulo de convergencia cercano a 20° (azimut placa de Nazca: 76°; azimut placa Sudamericana: 6°), lo cual ha persistido hasta el presente. En la actualidad, la placa de Nazca se aproxima al margen continental a una velocidad de 6,6 cm/año (Angermann *et al.*, 1999), introduciéndose bajo la placa Sudamericana con un ángulo estimado en 25° (Cahill e Isacks, 1992). El arco volcánico se ubica aproximadamente 120-150 km sobre la placa subducida y 260-340 km al este de la fosa Perú-Chile (Stern *et al.*, 2007). Tanto el extremo norte como el sur de este segmento limitan con zonas con ausencia de volcanismo moderno, denominadas zonas de subducción plana Peruana y Pampeana respectivamente (Isacks, 1988; Cahill e Isacks, 1992), las que son atribuidas a la subducción de las dorsales de Nazca, por el norte, y de Juan Fernández, por el sur (Pilger, 1984; Yáñez *et al.*, 2001), así como a interacciones complejas entre las placas Nazca y Sudamericana (Isacks, 1988). De manera similar, la zona de estudio se caracterizó por subducción plana y ausencia de actividad magmática, además de extensa deformación, entre los 38 y 27 Ma, asociada a la migración meridional de la dorsal de Juan Fernández (James y Sacks, 1999; Kay y Coira, 2009). El cese de esta etapa se correlaciona con el inicio de actividad volcánica en el arco y el trasarco (James y Sacks, 1999).

De este modo, intensa actividad volcánica tuvo lugar a lo largo de la cadena andina desde el Mioceno, en particular desde la latitud de Arica a la de Copiapó. Esta actividad se caracterizó por el emplazamiento de ignimbritas silíceas, en algunos casos con volúmenes superiores a los 1.000 km³, contemporánea con la formación de estratoconos andesíticos a dacíticos y complejos de domos. Entre los 21° y 24°S, destaca el evento denominado 'Altiplano-Puna flare-up', ocurrido desde los 11 Ma, con voluminosa actividad ignimbrítica concentrada en cuatro pulsos a los 10, 8, 6 y 4 Ma, seguido del emplazamiento de ignimbritas menores hasta cerca de los 2 Ma (de Silva, 1989; Salisbury *et al.*, 2011). La actividad eruptiva más reciente de este evento corresponde al emplazamiento de voluminosos domos silíceos durante el Pleistoceno, de características petroquímicas similares a las ignimbritas (de Silva *et al.*, 1994).

Por otra parte, los estratoconos y complejos de domos se encuentran restringidos al principal eje andino, controlados por un sistema de fallas de rumbo norte-sur, noroeste-sureste y noreste-suroeste (Lahsen, 1982) y su registro es continuo desde el Mioceno Medio hasta el presente (Gardeweg y Ramírez, 1985). Esta actividad volcánica se presenta como dos cinturones, uno del Mioceno y otro del Plioceno-Cuaternario, en los extremos norte y sur del área, mientras que en la sección media del segmento no ha variado su posición (Gardeweg y Ramírez, 1985).

Gran parte del arco volcánico actual, del Pleistoceno-Holoceno, en el norte de Chile, se desarrolla en el borde oeste de las unidades morfotectónicas denominadas Altiplano (15-23°S) y Puna (23-28°S), las cuales se caracterizan por un 'plateau' central de elevación entre 3.700 a 4.200 m s.n.m. y donde numerosas cimas superan los 6.000 m s.n.m. Los magmas emitidos en la ZVC muestran rangos composicionales intermedios y silíceos, resultando virtualmente ausentes composiciones menos evolucionadas, en particular basaltos (Stern *et al.*, 2007). Numerosos estudios petrológicos sugieren procesos de contaminación cortical en los magmas de la ZVC, lo que es coherente para magmas transportados y almacenados en una corteza excepcionalmente gruesa (ca. 70 km), junto a elevadas tasas de erosión por subducción (para una revisión detallada ver Coira *et al.*, 1993; Stern, 2004 y Stern *et al.*, 2007).

Un elevado número de centros volcánicos neógenos se observan medianamente a bien preservados, como consecuencia de la baja erosión en la región, característica de condiciones climáticas áridas a hiperáridas. En efecto, las tasas de erosión fluctúan entre 13-22 m/Ma y 7-9 m/Ma para los extremos norte y sur de la ZVC respectivamente (Karátson *et al.*, 2012). Estudios paleoclimáticos han constatado la persistencia de un clima árido desde los 2 Ma (Amundson *et al.*, 2012), aunque han existido variaciones climáticas en escalas de tiempo menores, por ejemplo condiciones húmedas entre los 14 y 9,5 ka, que migraron a condiciones extremadamente secas entre los 9 y 4 ka (Grosjean *et al.*, 2003). De este modo, se han identificado más de un millar de centros eruptivos a lo largo de la ZVC (de Silva y Francis, 1991; González-Ferrán, 1995).

En este segmento, y en territorio chileno, son objeto del presente estudio un total de 33 volcanes considerados geológicamente activos¹ (Tabla 1 en Anexo I). Este conjunto se define como aquellos centros que presentan actividad eruptiva durante el Holoceno (últimos 11,7 ka antes del Presente), o bien que exhiben

¹ Los volcanes catalogados como geológicamente activos para la zona son el resultado de la más actualizada recopilación de antecedentes; cualquier modificación a esta categoría requerirá de estudios de mayor detalle.

signos medibles de actividad volcánica, ya sea desgasificación pasiva, anomalías térmicas, microsismicidad o deformación de su superficie (Lara *et al.*, 2011). Estos centros eruptivos conforman una cadena semicontinua desde el volcán Tacora (17,7°S), en la región de Arica y Parinacota, en las cercanías del límite con Perú, hasta el volcán Ojos del Salado (27,1°S), en la región de Atacama, en el límite con Argentina (Fig. 1). La mayoría de estos centros se emplazan a lo largo del límite chileno con Bolivia y Argentina, aunque algunos se encuentran ubicados completamente en territorio chileno, como por ejemplo los volcanes Tacora, Taapaca, Aucanquilcha, San Pedro, Láscar y Púlar. Volcanes activos localizados en la ZVC, pero completamente en territorio boliviano (e.g., Tata Sabaya, Uturuncu) o en territorio argentino (e.g., Aracar, Antofagasta de la Sierra, Cerro El Cóndor, Peinado, Tipas) no han sido considerados en este estudio.

Los centros eruptivos activos que conforman la ZVC corresponden, principalmente, a estratovolcanes y cordones volcánicos, aunque existe un reducido número de domos aislados, así como conos piroclásticos y mares subordinados (de Silva y Francis, 1991). En este segmento destacan los volcanes activos más altos del planeta, como Ojos del Salado (6.887 m s.n.m.), Tres Cruces (6.748 m s.n.m.), Lulllaillaco (6.723 m s.n.m.), entre otros. Una serie de reportes sintetizados por Petit-Breuilh (2004), dan cuenta de actividad eruptiva histórica en numerosos centros volcánicos. No obstante, la mayoría de estos eventos no han sido confirmados o bien no existe evidencia geológica concluyente de su real ocurrencia. De acuerdo a este registro, el volcán Láscar corresponde al centro eruptivo más activo del norte de Chile, con más de una treintena de erupciones explosivas registradas desde el siglo XIX. Entre estas destaca la erupción subpliniana de abril de 1993, reconocida como la mayor erupción acaecida en el norte de Chile en tiempos históricos (Gardeweg y Medina, 1994). De acuerdo a los estudios geológicos realizados hasta la fecha, los centros que muestran evidencia de mayor actividad durante el Pleistoceno Superior-Holoceno corresponden, de norte a sur, a los volcanes Taapaca (Clavero y Sparks, 2005), Parinacota (Clavero *et al.*, 2012), Irruputuncu (Stern *et al.*, 2007), Ollagüe (Vezzoli *et al.*, 2008), San Pedro (O'Callaghan y Francis, 1986), Láscar (Gardeweg *et al.*, 2011), Socompa (Ramírez, 1988b) y Lastarria (Naranjo, 2010).

Lara *et al.* (2011) presentaron una cartografía de peligros volcánicos a escala nacional, en la cual se incluye la zona norte. No obstante, estudios de detalle sobre peligros volcánicos son escasos en la ZVC; en particular, solamente los volcanes Láscar (Gardeweg *et al.*, 1994; Gardeweg y Amigo, 2012) y el Complejo Volcánico Taapaca (Clavero *et al.*, 2004a; Clavero, 2007) han sido objeto de ese tipo de análisis. Adicionalmente, existen secciones breves sobre peligros volcánicos contenidas en estudios geológicos de detalle para los volcanes Parinacota (Clavero *et al.*, 2004b, 2012) y Lastarria (Naranjo, 2010).

Los fenómenos volcánicos más frecuentes en la ZVC corresponden a la emisión de lavas, lavas-domo y domos; muchas veces vinculados a la generación de flujos piroclásticos de bloques y cenizas y oleadas piroclásticas producto del colapso de domos y de frentes de lavas viscosas. Además, es común la emisión piroclástica durante eventos explosivos, ya sea como proyecciones balísticas o bien como dispersión atmosférica de columnas eruptivas de varios kilómetros de altura, lo que resulta en impactos adversos en regiones distantes a cientos e incluso miles de kilómetros de las fuentes. Asociados a inestabilidades en las columnas eruptivas, también se han generado flujos piroclásticos pumíceos y escoriáceos que han dado origen a depósitos ignimbríficos de variado volumen. Adicionalmente, fenómenos comunes en muchos centros de la ZVC son las avalanchas de detritos volcánicos, derivadas de colapsos parciales de edificios volcánicos, cuya ocurrencia no necesariamente se asocia a ciclos eruptivos. De manera más reducida, también se observa evidencia de flujos laháricos. Las figuras 2 y 3 muestran un resumen gráfico de morfologías y productos volcánicos representativos de la ZVC.

La finalidad de este estudio es la generación de un esquema zonificado de peligro volcánico para cada uno de los volcanes de la ZVC ubicados en territorio chileno, considerados de manera independiente, pero finalmente integrados en un mapa de síntesis. Este análisis corresponde a una aproximación de carácter regional en la evaluación de peligro volcánico, sustentado principalmente por **1.** recopilación de información disponible para la región, muchas veces escasa y sobre todo dispar a lo largo del segmento considerado, y **2.** observaciones de terreno realizadas por los autores en torno a los centros volcánicos. En conjunto, ambos aspectos permitieron evaluar de manera objetiva y reproducible áreas de influencia de distintos procesos volcánicos. Sobre esa base, una estrategia de modelación permitió la representación de los escenarios de

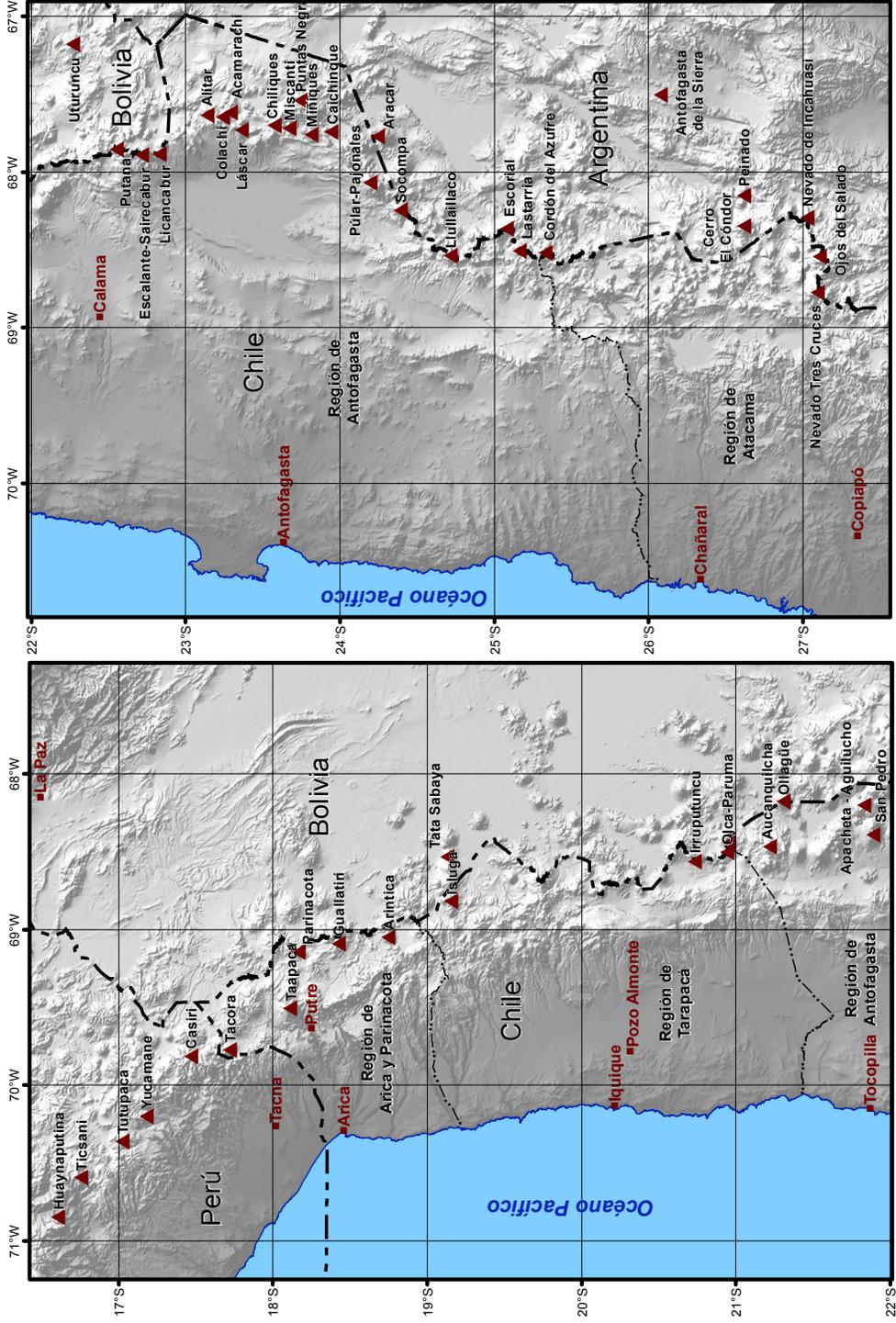


FIG. 1. Volcanes considerados geológicamente activos en la Zona Volcánica Central entre los 16.5°S-27.5°S.

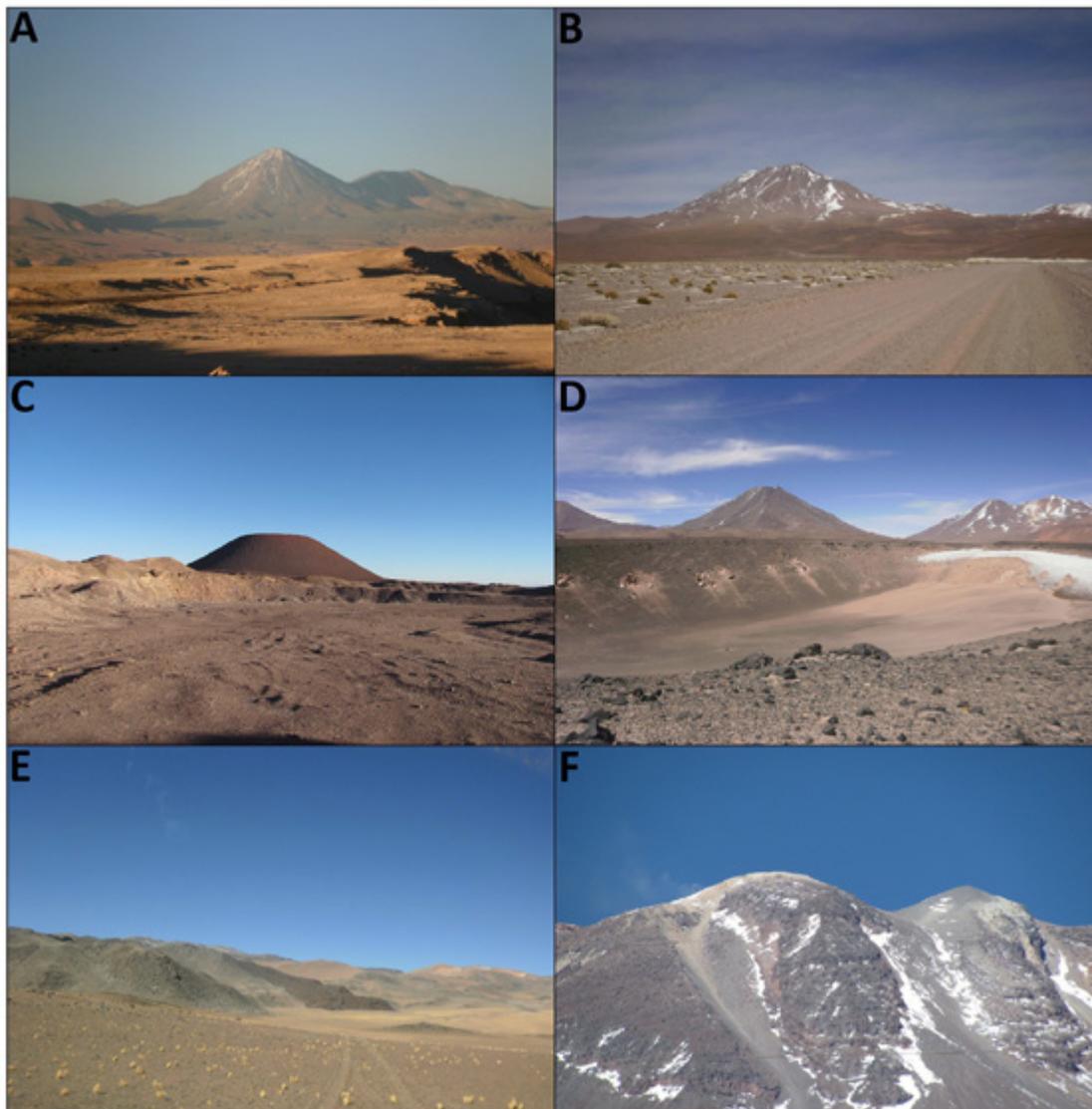


FIG. 2. Morfologías volcánicas representativas de la Zona Volcánica Central. **A.** Estratocono (volcán Licancabur); **B.** Volcán compuesto (Aucanquilcha); **C.** Cono piroclástico (La Poruña, volcán San Pedro); **D.** Cráter maárico (Overo, volcán Chilikues); **E.** Colada de lava (Cordón del Azufre); **F.** Lava-domo (volcán San Pedro).

peligro más probables. Finalmente, la presente evaluación resulta de utilidad para el diseño de medidas de mitigación, como la vigilancia instrumental, y entrega indicios de las zonas donde es necesario profundizar el análisis de peligros volcánicos a escalas de mayor detalle.

DESCRIPCIÓN DE LOS CENTROS ERUPTIVOS

Esta sección consta de una breve descripción, de norte a sur, de los 33 centros eruptivos considerados activos de la ZVC y que se ubican completa o parcialmente en territorio chileno. Se incluye información concerniente a morfología, evolución, depósitos volcánicos principales y registro de actividad eruptiva histó-

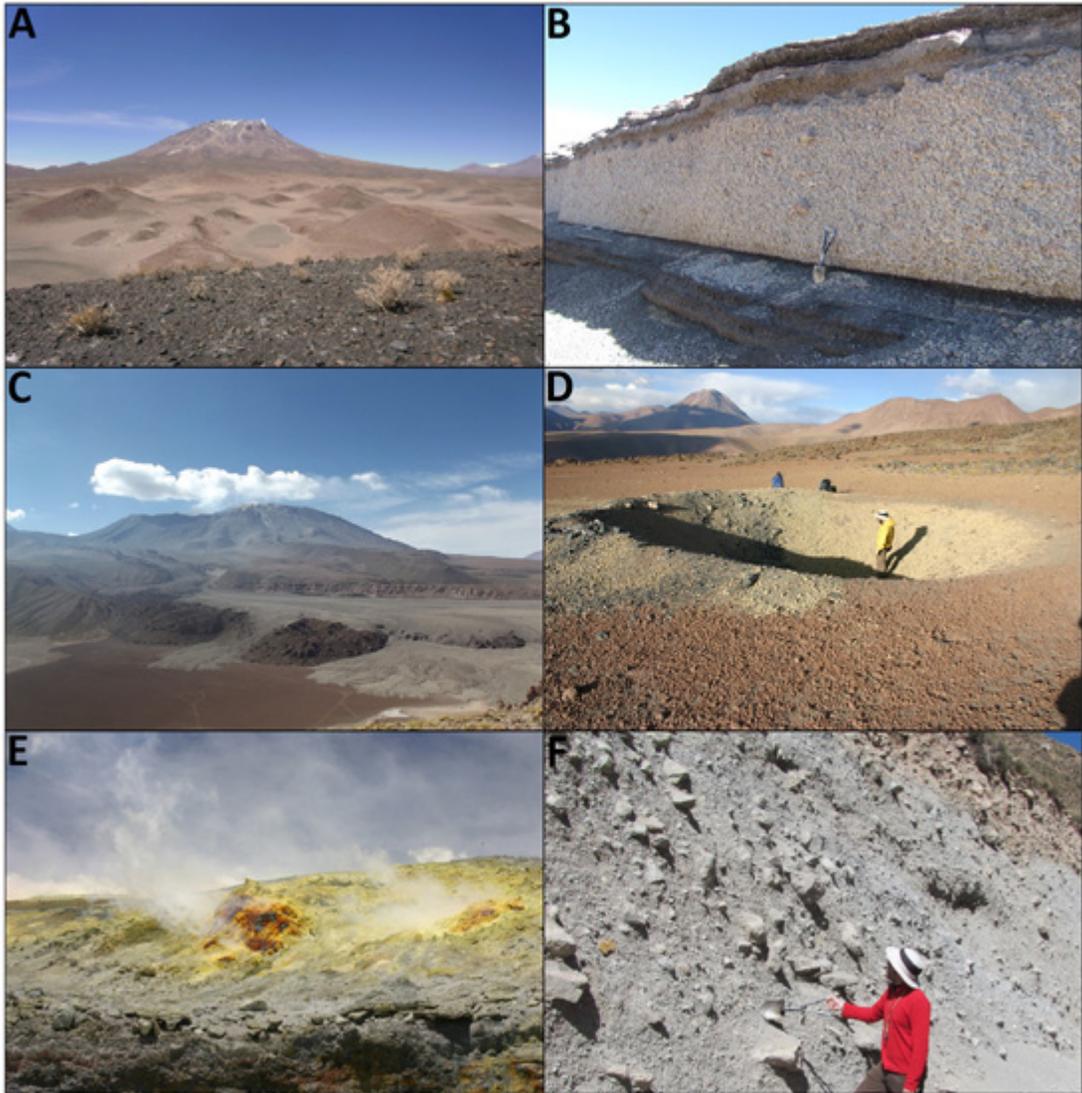


FIG. 3. Productos volcánicos representativos de la Zona Volcánica Central. **A.** Depósito de avalancha volcánica (volcán Ollagüe); **B.** Depósito de caída piroclástica (volcán San Pedro); **C.** Depósito de flujo piroclástico pumíceo, asociado a colapsos de columnas eruptivas (volcán Láscar); **D.** Cráter de impacto de bloque balístico (volcán Láscar); **E.** Campo fumarólico (volcán Lastarria); **F.** Depósito de flujo piroclástico de bloques y cenizas, asociado a colapsos de domos (volcán Taapaca).

rica, este último particularmente exiguo como consecuencia de la baja densidad poblacional en la zona. Se incorporan dataciones radiométricas publicadas, aunque las condiciones climáticas áridas implican escasez de material orgánico, que a su vez resulta en restricciones para la obtención de edades mediante isótopos de carbono. Al final de cada descripción se adiciona un breve análisis sobre el potencial impacto ante una reactivación volcánica. En la Tabla 2 (Anexo II) se resumen las observaciones de campo y se presentan las dataciones radiométricas disponibles.

VOLCÁN TACORA

Estratovolcán cónico compuesto por lavas y domos, intercalados con depósitos de flujo piroclástico, cuya composición química dominante corresponde a dacitas con andesitas subordinadas, típicamente porfídicas y

ricas en anfíbulas. Este volcán estaría activo al menos desde el Pleistoceno Medio (ca. 720 ka), mientras que lavas del flanco superior occidental han sido datadas en ca. 50 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, García *et al.*, 2012). El edificio se encuentra profundamente afectado por erosión glacial y no presenta un cráter central evidente, aunque se ha reportado un cráter de explosión en las inmediaciones de la cima hacia el noroeste (González-Ferrán, 1995). Un depósito de avalancha de detritos volcánicos se emplaza hacia el sur del volcán, y su ocurrencia estaría asociada a la formación de un anfiteatro de colapso. El volcán presenta desgasificación pasiva continua hacia el este del cráter en forma de un campo fumarólico de baja temperatura, consistente en vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y menor dióxido de azufre (SO_2), acompañada de microsismicidad (Clavero *et al.*, 2006). Capaccioni *et al.* (2011) sugirieron que la descarga fumarólica refleja la presencia de un reservorio hidrotermal que se encuentra fuertemente afectado por desgasificación magmática profunda. Reportes no confirmados señalan actividad eruptiva en 1930 y 1937 (Hantke, 1939) y en 1830, 1877, 1939 y 1950 (Petit-Breuilh, 2004). Una reactivación de este centro afectaría principalmente los flancos sur, este y oeste del volcán, en particular el poblado de Tacora. Caída piroclástica menor podría ocurrir hacia el este y oeste del volcán, y afectaría poblados como Visviri, distante unos 35 km.

VOLCÁN TAAPACA

Complejo volcánico formado por lavas, domos dacíticos y depósitos piroclásticos de bloques y cenizas. Los productos efusivos más silíceos son de textura porfídica, con cristales de hornblenda y biotita, además de característicos megacristales de sanidina (Clavero *et al.*, 2004a). Este complejo se encuentra activo desde el Pleistoceno Inferior y se estima que la actividad eruptiva ha migrado unos 4 a 5 km en dirección suroeste en los últimos 1,5 Ma, restringida a períodos cortos de actividad y separados por prolongadas etapas de quietud (Clavero *et al.*, 2004a; Clavero y Sparks, 2005). Se han reconocido frecuentes colapsos parciales del edificio, los que han generado avalanchas de detritos volcánicos, principalmente ligados a crecimiento de domos y explosiones dirigidas. En particular, durante el Pleistoceno Superior-Holoceno, han ocurrido a lo menos tres colapsos parciales de domos y flancos alterados por hidrotermalismo. Asimismo, depósitos holocenos derivados de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, avalanchas de detritos volcánicos, explosiones dirigidas y lahares se distribuyen predominantemente hacia el flanco SO (Clavero y Sparks, 2005), donde además un depósito piroclástico de caída ha sido datado en $2,27 \pm 0,06$ ka AP (^{14}C , Clavero *et al.*, 2004a). No obstante, se desconoce actividad eruptiva histórica. Una reactivación de este complejo podría estar relacionada con el crecimiento de domos y la generación de corrientes piroclásticas que afectarían con alta probabilidad el flanco SO del volcán, sector donde se localiza Putre (ca. 2.000 habitantes), capital provincial y principal centro poblado de la zona altiplánica de la Región de Arica y Parinacota, además de la ruta internacional CH-11.

VOLCÁN PARINACOTA

Estratovolcán cónico, caracterizado por un cráter bien definido de 500 m de diámetro y de unos 100 m de profundidad. Durante su etapa inicial (163-40 ka), fueron emplazadas lavas-domo andesítico-silíceas a riolíticas y depósitos de caída de composición similar. Se estima que entre 20-10 ka (Hora *et al.*, 2007), el edificio volcánico colapsó parcialmente hacia el oeste, y originó un depósito de avalancha de detritos con un volumen cercano a los 6 km^3 (Clavero *et al.*, 2002), unas tres veces mayor a la ocurrida en la erupción del Monte Santa Helena, EE.UU., en 1980. La fase evolutiva actual (< 8 ka) consiste en la emisión de lavas y la generación de flujos y caída piroclástica de composición andesítica, que conforman la mayor parte del cono actual, además del emplazamiento de depósitos laháricos (Clavero *et al.*, 2004b, 2012). La edad más reciente, obtenida en lavas del cono actual, es de $0,5 \pm 0,3$ ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Hora *et al.*, 2007). En forma contemporánea, se ha formado un conjunto de conos piroclásticos en los flancos suroeste y sur del cono principal, denominados volcanes de Ajata. Asociados a estos se reconocen lavas andesítico-basálticas, cuya edad para los flujos más recientes se estima entre 2,2-1,3 ka (^3He , Wörner *et al.*, 2000). Adicionalmente, una serie de depósitos de caída más reciente que 5,7 ka son asociados a los volcanes de Ajata por Sáez *et al.* (2007). El evento eruptivo más moderno para este volcán corresponde a un depósito de flujo piroclástico,

datado en menos de 200 años AP (^{14}C , Clavero *et al.*, 2004b). A pesar de lo anterior, no existe registro de actividad histórica, aunque algunas leyendas indígenas sí mencionan actividad en el Parinacota (Clavero *et al.*, 2004b). Es necesario destacar que este volcán corresponde a uno de los centros con mayor actividad en la ZVC durante el Holoceno. Una futura reactivación podría corresponder a una erupción de flanco en el sector sur-suroeste, con limitado impacto directo en la zona, o bien una erupción en el cono principal. En este último caso, emisiones de lava y corrientes piroclásticas podrían dirigirse en cualquier dirección, y afectarían directa o indirectamente a la población del área. En particular, las zonas aledañas a la ruta internacional CH-11 y a los lagos Chungará y Cotacotani, podrían ser vulnerables y, con menor probabilidad, poblados como Caquena, Parinacota y Chucuyo. Cabe señalar que la cubierta casi permanente de nieve y hielo sobre los 5.500 m s.n.m. advierte sobre la potencial generación de lahares, aunque su extensión dependerá tanto de la cantidad de nieve y hielo acumulada como de las características de la erupción. Por último, la emisión piroclástica en la atmósfera podría dispersarse hacia el oeste o el este, dependiendo de los vientos dominantes según la época del año.

VOLCÁN GUALLATIRI

Complejo volcánico constituido por la superposición de domos de composición andesítico-silíceo a dacítica, lavas-domo, depósitos piroclásticos de bloques y ceniza y depósitos de caída; activo desde el Pleistoceno Medio (ca. 710 ka; García *et al.*, 2004). En el edificio se destaca la presencia de domos silíceos y para uno de ellos se obtuvo una edad de $5,1 \pm 3,0$ ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Watts, 2002). Además, se han observado depósitos piroclásticos de caída, los que se distribuyen principalmente hacia el sur y este del volcán. A diferencia de otros volcanes en la ZVC, existen numerosos reportes de actividad eruptiva durante los últimos dos siglos. La última erupción, de dimensiones menores, ocurrió en 1960 (Casertano, 1963; Petit-Breuilh, 2004). En la actualidad, este volcán se caracteriza por desgasificación pasiva intensa, concentrada en numerosas fumarolas en las partes altas de los flancos oeste y sur, además de ocasionales enjambres microsísmicos (Global Volcanism Program, 1991a; Henderson *et al.*, 2012). Corresponde a un centro muy activo, pero no estudiado en detalle. Una reactivación podría estar asociada a la emisión de lava o domos, probablemente con una fase explosiva y, por lo tanto, afectar los flancos sur y oeste principalmente, donde se ubican los poblados de Guallatiri y Ancuta. Una erupción explosiva mayor es probable en este volcán, la que ocasionaría caída de material piroclástico pumíceo en zonas distantes incluso a cientos de kilómetros. La dispersión piroclástica dependerá estrechamente de los vientos dominantes según la época del año.

VOLCÁN ARINTICA

Estratovolcán compuesto principalmente por lavas andesíticas, cuyo cráter y flancos no se observan bien preservados. Forma parte de un complejo volcánico mayor compuesto por domos dacíticos y un estratovolcán aledaño andesítico-dacítico (de Silva y Francis, 1991; González-Ferrán, 1995). Wörner *et al.* (2000) obtuvieron una edad de 637 ± 19 ka (K-Ar) en un bloque andesítico ubicado en el flanco sur-suroeste. Se ha postulado que desde el borde sureste del cráter central se emitieron lavas andesíticas de probable edad holocena (de Silva y Francis, 1991), aunque estudios posteriores sostienen que dichas unidades corresponderían a glaciares de roca (Payne, 1998). No se conoce actividad eruptiva histórica. Una reactivación de este volcán sería probablemente de menor magnitud, por lo que sus efectos serían locales.

VOLCÁN ISLUGA

Corresponde a un complejo volcánico elongado en la dirección este-oeste, constituido por una sucesión de lavas andesíticas que sobreyacen domos dacíticos de un volcán más antiguo datado en 566 ± 17 ka (K-Ar, Wörner *et al.*, 2000). Forma parte del extremo oeste de una cadena volcánica de rumbo este-oeste y longitud aproximada 70 km. Desde el cráter central se produjo una erupción lateral hacia el sector NO formando un anfiteatro, el que fue rellenado parcialmente por flujos de lavas andesíticas. Anidado en este, se ubica el cráter actual, de unos 400 m de diámetro, rodeado por un anillo de escoria

andesítica que podría estar relacionado con actividad freatomagmática (de Silva y Francis, 1991; Wörner *et al.*, 2000). El volcán presenta numerosos flujos lávicos de morfología posglacial, hacia los flancos sur y norte. Además, se ha identificado evidencia de actividad explosiva, asociada a flujos, oleadas y caída piroclástica (Céspedes *et al.*, 2004). Existen reportes de erupciones menores ocurridas a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX (Sapper, 1917); sin embargo, la última actividad confirmada ocurrió en diciembre de 1960 (Petit-Breuilh, 2004). La actividad actual corresponde a manifestación fumarólica en el cráter central y actividad microsísmica débil (Henderson *et al.*, 2012). Una reactivación de este volcán podría estar relacionada con la emisión de lava y generación de corrientes piroclásticas hacia los flancos norte, oeste y sur, y podría afectar bofedales aledaños a Arabilla y Enquelga, y eventualmente al poblado de Enquelga. Ocasionales caídas piroclásticas podrían afectar los poblados de Isluga, Colchane y sectores de la ruta internacional CH-15.

VOLCÁN IRRUPUTUNCU

Corresponde a un pequeño cono, cuya actividad se remonta al Pleistoceno Superior (ca. 140 ka; Wörner *et al.*, 2000), compuesto por domos y lavas-domo dacíticos y andesítico-silíceos, además de depósitos piroclásticos de caída y flujos de bloques y cenizas, estos últimos muy bien desarrollados hacia los flancos sur y oeste. Se emplaza en el extremo norte de una compleja cadena volcánica de rumbo norte-sur y 35 km de longitud. Se identifican dos cráteres: el activo de estos, emplazado en el sector suroeste de un anfiteatro interpretado como el colapso de un cono pre-Holoceno (de Silva y Francis, 1991). Hacia el suroeste del volcán se extiende un depósito de avalancha, sobre el cual se observan bombas piroclásticas métricas, mientras que hacia el noroeste se emplazan dos potentes y cortos flujos de lava de morfología juvenil, el más antiguo de ellos cubierto por depósitos pumíceos de caída. Los flujos piroclásticos de bloques y cenizas son abundantes en el entorno del volcán y para uno de ellos se ha reportado una edad de $1,57 \pm 0,09$ ka AP (^{14}C , J. Clavero en Stern *et al.*, 2007). Este volcán presenta desgasificación pasiva continua, caracterizada por la emisión de H_2O y SO_2 , concentrada en su cráter activo, y actividad microsísmica débil (Henderson *et al.*, 2012). Tassi *et al.* (2011) sugirieron que la fuente dominante de fluidos corresponde a desgasificación magmática. Su actividad histórica es escasa, y solo se destacan posibles erupciones en diciembre de 1960, noviembre de 1989 (Petit-Breuilh, 2004) y una erupción freática en noviembre de 1995 (Global Volcanism Program, 1997). Este volcán presenta actividad eruptiva reciente, ya sea en forma de emisión de lavas y domos o bien de manera explosiva, asociada a caída piroclástica y generación de corrientes piroclásticas. Una reactivación afectaría principalmente los flancos noroeste y oeste del volcán; por otra parte, una erupción explosiva mayor es un escenario esperable, y la dirección de la dispersión piroclástica que se genere dependerá de la época del año. No existen poblados cercanos a este centro eruptivo; sin embargo, un importante movimiento industrial se desarrolla en las inmediaciones de su flanco oeste, vinculado con actividades de gran minería.

VOLCÁN OLCA-PARUMA

Corresponde a un complejo elongado, de unos 15 km de largo y de orientación este-oeste, consistente en lavas dacíticas y andesíticas de anfíbola y en depósitos piroclásticos; se encontraría activo desde el Pleistoceno (de Silva y Francis, 1991; Wörner *et al.*, 2000). Destacan dos centros eruptivos ubicados en los extremos oeste y este, denominados volcanes Olca y Paruma, respectivamente, los que se encuentran separados por 8 km. Entre estos, se reconocen al menos doce centros eruptivos, que en algunos casos presentan cráteres bien preservados. Desde el volcán Olca fueron emitidas lavas andesítico-dacíticas que se extienden hasta 5 km al oeste del cráter central, sobre las que se emplazan coladas de morfología reciente. Por otra parte, desde el volcán Paruma, numerosos flujos lávicos de composición probablemente básica fueron emitidos por casi 7 km tanto hacia el norte como hacia el sur. De Silva y Francis (1991) identificaron depósitos morrénicos en el flanco sur del volcán Paruma, anteriores a un flujo de lava dacítica emitida hacia el sector este de la cima principal. No está claro qué sector de este complejo volcánico se encuentra actualmente activo. Algunos autores sugieren al volcán Paruma como el centro de actividad más reciente, no obstante, registros no confirmados sugieren una erupción de flanco en el volcán Olca entre

1865 y 1867, además de un reporte eruptivo en 1990 (Brüggen, 1950; Global Volcanism Program, 1990a). El volcán Olca se caracteriza por actividad fumarólica débil desde al menos los últimos 60 años, la que se concentra en un pequeño domo dentro del cráter central (Casertano, 1963; Aguilera, 2010). Se estima que los gases emanados derivan de procesos de mezcla entre fluidos de origen magmático e hidrotermal (Tassi *et al.*, 2011), lo que indicaría que el edificio se mantiene activo. Una reactivación del complejo podría ocurrir en cualquier punto a lo largo de esta cadena y estaría principalmente asociada a la emisión de lavas y actividad explosiva menor.

VOLCÁN AUCANQUILCHA

Complejo volcánico elongado en dirección este-oeste de casi 10 km de longitud, compuesto esencialmente por lavas dacíticas ricas en biotita y anfíbola, cuya actividad más temprana habría ocurrido en el Pleistoceno Inferior (*ca.* 1 Ma; Klemetti y Grunder, 2008). Dentro de este complejo destacan a lo menos seis centros eruptivos, algunos con cráteres muy bien preservados. Durante las etapas tempranas de su evolución (0,95-0,50 Ma), tuvo lugar una avalancha de detritos hacia el este y un flujo piroclástico mayor hacia el NO (Klemetti y Grunder, 2008). Estos autores sugirieron que el volcán Aucanquilcha presenta períodos de actividad de duración entre 50 y 100 ka, seguidos por períodos de reposo de hasta 250 ka. No existe evidencia de actividad histórica, aunque en la actualidad presenta actividad fumarólica débil, la que es más notoria dentro de trincheras someras excavadas durante labores de extracción de azufre. Una reactivación de este centro estaría asociada probablemente a la emisión de lava y actividad explosiva menor, con efectos concentrados en el entorno del edificio volcánico.

VOLCÁN OLLAGÜE

Corresponde a un estratovolcán compuesto, caracterizado por domos silíceos, lavas andesíticas, dacíticas y andesítico-basálticas, además de depósitos piroclásticos de tipo flujo y oleada. Los productos más tempranos se remontarían al Pleistoceno Inferior (*ca.* 1,2 Ma; Feeley *et al.*, 1993). Asimismo, numerosos depósitos piroclásticos de caída se han reconocido hacia el SO del volcán, aunque se desconoce la edad de los eventos que los produjeron. La evolución estructural del volcán ha estado controlada por un sistema regional de fallas extensionales de rumbo NO, que bisectan el edificio. Dada esta condición, sumado a la intrusión somera de cuerpos magmáticos, la ocurrencia de colapsos laterales ha sido recurrente (Tibaldi *et al.*, 2006; Vezzoli *et al.*, 2008). En particular, destaca un voluminoso depósito de avalancha de detritos de volumen estimado en 1 km³ y edad de emplazamiento cercana a 0,3 Ma. Este depósito se extiende hacia el oeste del volcán, cubre parte del salar de Carcote, y su anfiteatro de colapso, abierto hacia el SO, ha sido parcialmente rellenado por domos y lavas (Clavero *et al.*, 2004c; Vezzoli *et al.*, 2008). En zonas aledañas al volcán se presentan algunos centros monogenéticos andesítico-basálticos, entre los que destaca el cono piroclástico La Poruña (0,68-0,42 Ma; Wörner *et al.*, 2000). Existen registros de actividad histórica en 1879, 1887 y octubre de 1927 (Petit-Breuilh, 2004), mientras que su actividad actual consiste en desgasificación pasiva persistente en la parte alta de un domo ubicado en el flanco sur, además de microsismicidad débil (Clavero *et al.*, 2006; Henderson *et al.*, 2012). Una reactivación de este volcán estaría, con alta probabilidad, ligada a la extrusión de domos o lavas viscosas, con la posible generación de corrientes piroclásticas principalmente dirigidas hacia el flanco oeste, donde se ubica la ruta internacional CH-21 y transita el ferrocarril hacia Bolivia. Una erupción mayor, de baja probabilidad de ocurrencia, podría afectar el poblado de Ollagüe. No se descarta que sucedan erupciones menores asociadas a la formación de centros monogenéticos en las inmediaciones del salar de Carcote.

VOLCÁN APACHETA-AGUILUCHO

Compleja cadena volcánica de rumbo NO-SE y casi 50 km de longitud, en la cual la actividad más reciente estaría concentrada en los volcanes Aguilucho y Apacheta (de Silva y Francis, 1991; Ahumada y Mercado, 2008; Aguilera, 2010), específicamente con la extrusión de dos domos dacíticos, en uno de los

cuales se obtuvo una edad de 50 ± 10 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Urzúa *et al.*, 2002). En dicho sector se presentan diversas secuencias de lavas y flujos piroclásticos de composición andesítica-riolítica de edad pleistocena inferior (ca. 1,5 Ma; Francis y Rundle, 1976; Ahumada y Mercado, 2008). La ubicación de esta cadena volcánica estaría controlada por el lineamiento Inacaliri, reflejo de una estructura tipo 'graben' de 3 a 5 km de ancho y 17 km de longitud, en cuyo borde NE se habrían emplazado los domos dacíticos más recientes (Aguilera *et al.*, 2008; Aguilera, 2010). Un depósito de avalancha de detritos se emplaza al este del complejo Apacheta-Aguilucho (Aguilera *et al.*, 2008; Godoy *et al.*, 2008). Aguilera (2010) reconoce dos pozos burbujeantes de fango, diversas fumarolas y una gran fumarola tipo 'jet' en una reducida zona en el flanco este del volcán Apacheta. Adicionalmente, estudios geoquímicos sugieren que los gases reflejan la evidencia de un sistema magmático profundo aún activo en la zona (Aguilera *et al.*, 2008; Tassi *et al.*, 2010). Una reactivación de este centro podría corresponder a una erupción menor, probablemente de tipo freática, con impacto local.

VOLCÁN SAN PEDRO

Estratovolcán ubicado en el extremo occidental de una cadena volcánica de orientación este-oeste y 20 km de largo, cuyo extremo opuesto corresponde al inactivo volcán San Pablo, lo que evidencia una migración de la actividad magmática desde el Plioceno hasta el presente (O'Callaghan y Francis, 1986). Se compone de potentes lavas andesíticas, domos dacíticos y, en proporción menor, de andesitas basálticas, además de abundantes depósitos piroclásticos, en su mayoría silíceos, e incluye numerosos depósitos de caída hacia el SE. Este volcán consiste en dos unidades estructuralmente distintas, dadas por un estratocono más antiguo al este y otro reciente al oeste. El primero de estos colapsó, y generó un voluminoso depósito de avalancha de detritos hacia el norte, noroeste y oeste, probablemente seguido de una erupción de tipo pliniana (Francis *et al.*, 1974). Por otra parte, lavas y domos que conforman el estratocono reciente se han edificado dentro del anfiteatro dejado por la avalancha, colapsando sucesivamente debido a la alta pendiente, con la consecuente formación de extensos abanicos piroclásticos de bloques y cenizas. Hacia el oeste del estratocono reciente, destaca el cono piroclástico La Poruña, centro desde el cual fue emitida una lava andesítico-basáltica de 8 km de longitud y de edad $103 \pm 1,1$ ka (^3He , Wörner *et al.*, 2000). Numerosos reportes indican eventos eruptivos durante los siglos XIX y XX, de los cuales el más reciente corresponde a diciembre de 1960 (Casertano, 1962; Petit-Breuilh, 2004). En la actualidad, se caracteriza por actividad fumarólica continua y ocasionales sismos de baja magnitud. El volcán San Pedro ha sido un volcán con una alta tasa de actividad efusiva y explosiva durante el Holoceno y, por lo tanto, una reactivación podría presentar ambas características. Las zonas más expuestas corresponden a los flancos oeste, noroeste y norte del volcán, en donde se localiza la ruta internacional CH-21 y el ferrocarril hacia Bolivia. Este sector podría ser afectado por corrientes piroclásticas posiblemente del tipo bloques y cenizas y por oleadas piroclásticas. Una erupción mayor es un escenario factible, el que estaría asociado a columnas eruptivas altas y caída piroclástica pumícea en grandes extensiones. Las zonas de mayor impacto por caída piroclástica se ubicarían hacia el sur y sureste del volcán, aunque en verano aumenta la probabilidad de dispersión hacia el oeste. Esto implica que, aunque no existen pueblos cercanos al volcán, centros poblados distantes, como San Pedro de Atacama y Calama, podrían acumular cierto volumen de material piroclástico en función de la magnitud eruptiva. Por último, cabe destacar que este volcán presenta una elevada altura de su edificio volcánico, lo que lo hace susceptible de colapsos parciales.

VOLCÁN PUTANA

Estratovolcán constituido por numerosos flujos de lavas y lavas-domo superpuestos y escasos depósitos piroclásticos de composición andesítico-basálticos, andesíticos y dacíticos, que en su conjunto cubren domos de edad pleistocena (Lahsen y Munizaga, 1983; Marinovic y Lahsen, 1984). Las lavas más jóvenes son potentes y no exceden los 3 km de longitud, lo que sugiere una composición posiblemente dacítica. Su cumbre posee un cráter elipsoidal, de 500 por 300 m de diámetro, con cráteres menores en su interior, en cuyas inmediaciones se han reconocido depósitos piroclásticos de probable origen vulcaniano. Presenta actividad fumarólica permanente, concentrada en los bordes opuestos de un cráter anidado en el sector

NE, en el borde NO del cráter principal y sobre un flujo de lava emitido desde el extremo sur del mismo cráter (Aguilera, 2010). Esta actividad ha generado amplios depósitos de azufre, los que fueron explotados hasta mediados del siglo XX (González-Ferrán, 1995). Existen reportes inciertos de actividad histórica y/o actividad fumarólica intensa en 1810, 1886, 1888, 1960 y 1972 (Casertano, 1963; Petit-Breuilh, 2004; Siebert *et al.* 2010). Su actividad actual corresponde a desgasificación pasiva, para la cual estudios geoquímicos de gases sugieren que la fuente de fluidos dominante es magmática (Tassi *et al.*, 2011). Además, se ha reportado microsismicidad (Soler y Amigo, 2012) y pulsos discretos de deformación superficial con tasas de hasta 5 cm/año (Henderson *et al.*, 2012). Una reactivación de este centro estaría seguramente ligada a la emisión de lavas viscosas con una reducida generación de material piroclástico, cuyas zonas de impacto se restringirían o quedarían restringidas a las inmediaciones del edificio volcánico.

CORDÓN ESCALANTE-SAIRECABUR

Corresponde a una cadena volcánica de orientación norte-sur y alrededor de 22 km de extensión, edificada sobre un conjunto de lavas-domo dacíticas. Comprende al menos 10 centros eruptivos que presentan productos de morfologías posglaciales, entre los que destacan, de norte a sur, Escalante, Cerro Colorado, Curiquinca y Sairecabur, todos caracterizados por lavas andesíticas porfídicas de piroxeno con dacitas subordinadas (Déruelle, 1978; Harmon *et al.*, 1984). En particular, predomina una extensa lava emitida desde el centro del cordón hacia el oeste-suroeste, la que ha sido datada en menos de 1 Ma (Marinovic y Lahsen, 1984). Los productos eruptivos más recientes de esta cadena se reconocen en el volcán Sairecabur, construido en el borde norte de una caldera preholocena de 4,5 km de diámetro, que comprende un domo y flujos de lava que se extienden por casi 3 km hacia el NO. Actualmente no existe actividad fumarólica; sin embargo, esta parece haber sido intensa en el pasado debido a la presencia de rocas alteradas en la vertiente este y a la existencia de abundantes depósitos de azufre (González-Ferrán, 1995). Una reactivación de este complejo podría ocurrir en cualquier punto del cordón, aunque con mayor probabilidad en el entorno del volcán Sairecabur, la que estaría principalmente relacionada con la emisión de lavas o con la construcción de un domo, con impacto local.

VOLCÁN LICANCABUR

Estratovolcán cónico constituido por lavas andesíticas y dacíticas distribuidas radialmente en torno a su cráter central, las que se encuentran intercaladas con depósitos piroclásticos de igual composición. La mayor parte del edificio volcánico, construido sobre flujos ignimbríticos riolodacíticos y lavas-domo dacíticas, habría sido edificada durante el Pleistoceno Superior-Holoceno (Marinovic y Lahsen, 1984; Figueroa *et al.*, 2009). En concordancia con lo anterior, el volcán no presenta erosión glacial y exhibe un cráter central bien preservado. Potentes lavas andesíticas de bloques, con 'levées' prominentes, se extienden hasta 6 km del cráter, mientras que las lavas más antiguas alcanzan hasta 15 km de longitud y se encuentran cubiertas por depósitos de flujos piroclásticos. Figueroa y Déruelle (1996) postularon que las lavas más antiguas del Licancabur son geoquímicamente similares a las lavas más antiguas del volcán Sairecabur, y que se caracterizan por ser más básicas que las lavas más recientes. Una pequeña laguna de aproximadamente 80 m de diámetro se encuentra en el centro del cráter, para la cual Leach (1986) reportó unos 4 m de profundidad y una temperatura en su base de 6°C, valor anormalmente elevado para la altura en la que se encuentra (ca. 5.910 m s.n.m.); en consecuencia, se propone la existencia de un flujo calórico relacionado con el último ciclo eruptivo. No obstante, tanto en la cumbre como en la cercanía de la laguna, se han descrito ruinas arqueológicas incaicas, lo que indicaría la inexistencia de erupciones en el último milenio (Rudolph, 1955). Además, la actividad más reciente del volcán parece estar vinculada con flujos de lava de flanco. Una reactivación de este centro estaría relacionada a la emisión de lavas desde el cráter central o en sus flancos, con la posible generación de corrientes piroclásticas hacia el flanco oeste. Sin embargo, la zona de influencia se estima alejada de los centros poblados como San Pedro de Atacama. En cuanto a la dispersión atmosférica de piroclastos, esta se considera de reducido impacto.

CRÁTER ALÍ TAR

Corresponde a un cráter activo con actividad solfatárica y sublimación de azufre, de estructura circular (400 a 450 m de diámetro), emplazado en la Ignimbrita Atana (Ramírez y Gardeweg, 1982) y en la base del flanco occidental del cerro Alítar, el que corresponde a un volcán erosionado, de edad pleistocena, constituido por lavas de composición andesítica a dacítica (Ramírez y Gardeweg, 1982). En los márgenes del cráter y hasta 400 m al NO del mismo, se observan numerosas fumarolas en las que se deposita azufre nativo por sublimación directa, lo que origina un depósito con una concentración de 67% en peso de azufre, explotado hasta la década de 1950 (Ramírez y Gardeweg, 1982). Unos 200 m al oeste del cráter, se presentan seis pozos que descargan gas y aguas termales (Aguilera, 2010). Estudios geoquímicos en las fumarolas indican que estas derivan de procesos de mezcla entre fluidos magmáticos e hidrotermales, y que estos últimos son dominantes (Tassi *et al.*, 2011). Una reactivación de este centro estaría probablemente relacionada con un evento del tipo freático y tendría solo impacto local.

VOLCÁN COLACHI

Estratovolcán simétrico de edad pleistocena-holocena, constituido por lavas dacíticas y andesíticas porfídicas de piroxeno y hornblenda-biotita, y construido sobre un bloque elevado de basamento ignimbrito (Ramírez y Gardeweg, 1982). Se reconocen tres domos, dos ubicados en los flancos inferiores del volcán y uno menor emplazado dentro de un cráter en su cumbre (M. Gardeweg, comunicación escrita, 2012). Los domos de los flancos inferiores corresponden a 'coulées', también conocidos como domos torta, se caracterizan por su baja razón de aspecto, frentes abruptos, bordes irregulares y superficies relativamente planas. El domo más pequeño, ubicado en su flanco inferior noroccidental, alcanza 2 km de diámetro, un área de 3 km² y un espesor máximo de 200 m. El domo de mayor tamaño, ubicado en el flanco sur, está elongado en dirección NE-SO, con una extensión máxima de 4,5 km, un área de 7 km² y menos de 100 m de espesor. Ambos tienen por una superficie rugosa, la presencia de estrías de flujo muy marcadas y frentes abruptos con depósitos de talud en sus bases. El domo de la cumbre se emplaza en la base del cráter, alcanza 200 a 250 m de diámetro y podría representar el evento terminal efusivo de una fase explosiva, de la cual no se tiene registro. El volcán Colachi ha sido catalogado de edad pleistocena-holocena (Ramírez y Gardeweg, 1982), aunque sin evidencia de erupciones históricas. Una reactivación de este volcán estaría principalmente asociada a la emisión de lavas o a la construcción de un domo, cuyo impacto abarcaría solo zonas aledañas.

VOLCÁN ACAMARACHI

Estratovolcán de estructura cónica simple, constituido por lavas prácticamente idénticas en composición y en edad a las emitidas por su vecino volcán Colachi (Ramírez y Gardeweg, 1982). El cráter central contiene un lago de 10 a 15 m de diámetro, el cual, a pesar de la altura (6.046 m s.n.m.), permanece en estado líquido, y sugiere, así, la posible existencia de un flujo calórico magmático remanente (Aguilera, 2010). Para este volcán se ha estimado una edad pleistocena-holocena (Ramírez y Gardeweg, 1982), aunque no hay evidencia de erupciones históricas. Adicionalmente, en su cumbre existen ruinas de un centro ceremonial incaico, cuya preservación podría indicar la ausencia de actividad volcánica en el último milenio (González-Ferrán, 1995). Una reactivación de este volcán estaría principalmente asociada a la emisión de lavas o a la construcción de un domo, cuyo impacto se restringiría solo a zonas aledañas.

VOLCÁN LÁSCAR

Estratovolcán compuesto, elongado en dirección este-oeste, activo desde hace unos 240 ka (Gardeweg *et al.*, 2011). Está constituido por lavas andesíticas, que alcanzan más de 10 km de longitud, y por potentes lavas dacíticas que se extienden hasta 5 km y fueron emitidas desde los flancos NO a SO. Por otra parte, se observan numerosos depósitos piroclásticos de flujo andesítico-basálticos, primordialmente emitidos en

etapas tempranas de su evolución, y depósitos de caída andesíticos y dacíticos, relacionados con erupciones plinianas y subplinianas. En la cima de este volcán se observan seis cráteres, algunos anidados, y el central de estos se encuentra activo. El principal evento eruptivo durante su evolución se denomina Ignimbrita Soncor (ca. 27 ka, Gardeweg *et al.*, 1998a), compuesta por depósitos piroclásticos de caída, reconocidos principalmente hacia el SE, además de potentes depósitos de flujo que rellenan quebradas hasta 27 km al oeste del volcán y con un volumen estimado cercano a los 10 km³ (Calder *et al.*, 2000). La actividad eruptiva histórica se ha caracterizado esencialmente por erupciones de tipo vulcanianas de corta duración, con emisión de ceniza fina y proyecciones balísticas en un radio de 5 km (Gardeweg *et al.*, 1994; Aguilera *et al.*, 2003). El último evento de este tipo ocurrió entre los años 2005 y 2006 (Global Volcanism Program, 2005, 2006), con una leve reactivación el año 2007 (Global Volcanism Program, 2007a). Sin embargo, destaca la erupción subpliniana del 19-20 de abril de 1993, correspondiente al mayor evento eruptivo ocurrido en el norte de Chile en tiempos históricos (Global Volcanism Program, 1993a; Gardeweg y Medina, 1994; Déruelle *et al.*, 1996). Asociado a este, se generó un depósito de caída piroclástica compuesto de pómez y líticos, el que se extendió hasta el NO argentino donde alcanzó espesores inferiores a 1 cm. Además, múltiples flujos piroclásticos pumíceos, relacionados con colapsos parciales de la columna eruptiva, se dispersaron hasta 10 km hacia el norte, noroeste y sureste del volcán. En términos de su actividad efusiva, se estima que la última emisión de lava ocurrió en el Holoceno medio (ca. 7 ka, ³He, Wörner *et al.*, 2000), aunque se observó más de un domo de lava en el interior del cráter activo entre las décadas de 1980 y 1990 (Matthews *et al.*, 1997). La actividad actual se caracteriza por la persistente emisión de gases desde el cráter central, con un preponderante componente magmático (Tassi *et al.*, 2009), y ocasionales explosiones menores de ceniza fina. El volcán Láscar corresponde al centro eruptivo más activo del norte de Chile y, por lo tanto, son esperables eventos eruptivos de diversa magnitud en el corto y mediano plazo. Las zonas más expuestas corresponden a los flancos norte, oeste y sur del volcán, susceptibles de ser impactadas por corrientes piroclásticas y proyecciones balísticas. Un evento de muy alta magnitud, aunque de baja probabilidad, podría afectar el poblado de Talabre. La dispersión atmosférica de material piroclástico pumíceo estaría mayoritariamente dirigida hacia el este y sureste del volcán, con acumulación variable hacia el Paso Huaytiquina y a lo largo de las rutas internacionales CH-27 y CH-23, en las cercanías de los Pasos de Jama y Sico respectivamente. No obstante, columnas eruptivas altas durante los meses de verano, podrían dispersar piroclastos hacia centros poblados ubicados al oeste del volcán, como Toconao, Talabre, Camar, Peine y Socaire.

VOLCÁN CHILIQUES

Estratovolcán cónico de edad pleistocena-holocena, constituido por potentes lavas-domo dacíticas y flujos de lava andesíticas de piroxeno, de las cuales la más extensa alcanza 8 km hacia el norte y la más reciente se extiende 3,5 km hacia el noroeste (Ramírez y Gardeweg, 1982). La última etapa de su evolución estaría relacionada con una actividad eruptiva parásita monogenética ubicada 8 km hacia el NNE, correspondiente a un cráter de explosión freatomagmática, denominado cráter Overo, constituido por una estructura tipo maar de 550 m de diámetro y un depósito de caída piroclástica proximal de composición andesítico-basáltica (Ramírez y Gardeweg, 1982; González-Ferrán, 1995); no obstante, se ha propuesto que el cráter Overo no tendría relación con el sistema volcánico Chiliques (comunicación personal, M. Gardeweg, 2012). Este volcán ha sido catalogado previamente como 'durmiente' por de Silva y Francis (1991). Sin embargo, el 6 de enero de 2002, una imagen satelital nocturna en infrarrojo termal mostró 'hot spots' en su cráter central y en los flancos superiores, los que no fueron detectados en una imagen similar tomada en el año 2000 (Global Volcanism Program, 2002; Pieri y Abrams, 2004). Poco tiempo después de reportada dicha anomalía, una expedición ascendió al cráter, y no encontró evidencia de algún evento volcánico subsecuente ni tampoco temperaturas anómalas en el lago alojado en el cráter central (comunicación personal, J.G. Viramonte, 2012). Pieri y Abrams (2004) postularon que la anomalía habría sido de corta vida, causada probablemente por la intrusión de magma somero. Adicionalmente, Jay *et al.* (en prensa) sugieren que la presencia de 'hot spots' en el volcán Chiliques es variable en el tiempo. Una reactivación de este volcán estaría principalmente vinculada con la emisión de lavas, cuyo impacto potencial se concentraría en zonas aledañas. No obstante,

las rutas que unen Socaire con la Laguna Lejía y aquella hacia el Paso Huaytiquina, podrían ser afectadas si el evento eruptivo fuese de intensidad media a alta.

VOLCÁN MISCANTI

Estratovolcán compuesto por depósitos piroclásticos, lavas-domo y coladas con erosión moderada de composición andesítica-dacítica. Habría sufrido un evento de colapso hacia el flanco oeste, cubierto un área de unos 38 km² y dejado al descubierto la zona interna y alterada del edificio. La actividad posterior formó un cono en el sector más occidental del escarpe remanente, desde el cual fluyeron lavas-domo parcialmente colapsadas. Volcán extinto según González-Ferrán (1995), pero catalogado de edad pleistocena-holocena por Ramírez y Gardeweg (1982). Una reactivación de este volcán estaría principalmente relacionada con la emisión de lavas, cuyo impacto estaría restringido a zonas aledañas, a excepción de la ribera norte de la laguna Miscanti.

CORDÓN PUNTAS NEGRAS

Corresponde a un cordón volcánico de orientación NO-SE y 25 km de longitud, el que es intersectado por el Cordón Chalviri, de orientación aproximada norte-sur y 13 km de longitud. El cordón volcánico se emplaza en el sistema de falla Calama-Olacapato-El Toro (Matteini *et al.*, 2002a,b; Petrinovic *et al.*, 2006; Acocella *et al.*, 2007), el cual corresponde a lineamientos de orientación NO-SE. Este sistema representa una de las estructuras regionales más prominentes en la ZVC y controlaría el emplazamiento de diversos complejos volcánicos, cuerpos intrusivos y calderas (Viramonte y Petrinovic, 1990). La cima más alta del cordón corresponde al volcán Puntas Negras, conformado por varios centros eruptivos que han generado un enjambre de domos y potentes flujos de lavas dacíticas, coronadas por un cráter de 500 m de diámetro (Déruelle, 1994), además de un posible flujo piroclástico hacia el norte con una extensión de ca. 13 km. Las lavas del cordón son andesitas porfídicas de piroxeno, y dacitas y andesitas de hornblenda y biotita, de edad máxima pliocena (Ramírez y Gardeweg, 1982). Ambos cordones son el resultado de estilos diferentes de actividad, coexistiendo pequeños conos piroclásticos, lavas-domo, flujos de lava, mares y cráteres de explosión, los que cubren un área de ca. 575 km² y contienen al menos 25 centros de emisión (de Silva y Francis, 1991). Además del volcán Puntas Negras, destacan los centros eruptivos Cerro Cenizas, Aguas Calientes, Laguna Escondida y Chinchilla. Hacia el oeste del volcán Puntas Negras se localiza un domo dacítico que cubre un área de 13 km², de probable edad holocena (de Silva y Francis, 1991). El cordón Puntas Negras ha sido catalogado de edad pleistocena-holocena (Ramírez y Gardeweg, 1982; de Silva y Francis, 1991), e incluso González-Ferrán (1995) no descarta actividad eruptiva en tiempos históricos, en particular a lo largo del cordón Chalviri. A pesar del escaso conocimiento volcánico en la zona, que en un principio podría sugerir reactivaciones eruptivas en cualquier sector de ambos cordones, la evidencia de campo indica que la zona más probable para una reactivación futura se concentraría en el volcán Puntas Negras, por lo que en ese caso, zonas aledañas al campamento minero El Laco y al retén homónimo serían susceptibles de ser afectadas, al igual que sectores de la ruta internacional CH-23.

VOLCÁN MIÑIQUES

Complejo volcánico constituido por cuatro centros eruptivos principales, los que han generado estratoconos y lavas-domo que se traslapan y engranan en una sola estructura. Las unidades basales están constituidas por depósitos piroclásticos, lavas-domo y flujos de lava andesítica de piroxeno, edificados durante el Plioceno (Ramírez y Gardeweg, 1982). Sobre ellas se ha construido una secuencia superior, constituida por lavas andesíticas, dacíticas y andesítico-basálticas, de piroxeno y hornblenda, de edad plio-pleistocena (Ramírez y Gardeweg, 1982). En la cima de la secuencia superior se localizan tres cráteres superpuestos orientados este-oeste. Un extenso flujo de lava, ligado a etapas tempranas del volcán, se extiende hacia el sector NO, y habría separado a las lagunas Miscanti y Miñiques. Es un volcán de posible edad holocena, aunque sin

evidencia de erupciones históricas (González-Ferrán, 1995). Una reactivación de este volcán estaría asociada a la emisión de lavas, con limitado impacto en zonas pobladas, a excepción de los alrededores de la laguna Miñiques y sectores de la ruta internacional CH-23.

VOLCÁN CAICHINQUE

Pequeño complejo volcánico de edad pleistocena-holocena, compuesto por lavas de composiciones basálticas, andesíticas y dacíticas, construido sobre un basamento de ignimbritas riódacíticas (Ramírez y Gardeweg, 1982). Se reconocen al menos dos centros eruptivos, cuyos flujos de lavas han separado el salar de Capur del salar de Talar (Ramírez y Gardeweg, 1982). Se ha catalogado como un volcán de posible edad holocena, sin evidencia de erupciones históricas (González-Ferrán, 1995). Una reactivación de este volcán estaría asociada a la emisión de lavas, con impacto solo en zonas aledañas y en algunos sectores de la ruta internacional CH-23.

VOLCÁN PÚLAR-PAJONALES

Corresponde a un pequeño cordón volcánico de 12 km de largo y orientación N50°E, cuyo extremo NE lo constituye el volcán Púlar y su extremo opuesto el cerro Pajonales Sur, los que han emitido lavas andesíticas y dacíticas (Ramírez, 1988a). En esta cadena es posible identificar al menos 10 cráteres, tres de ellos en el volcán Púlar y otros tres en el cerro Pajonales Sur, donde algunos presentan lagunas interiores (de Silva y Francis, 1991). Este cordón es esencialmente plioceno (3,9 Ma; Ramírez, 1988a), aunque ciertos sectores parecen evidenciar actividad más reciente (<1,8 Ma, K-Ar; Ramírez, 1988a), como por ejemplo una extensa lava andesítica de unos 10 km emitida hacia el NO. Trabajadores del campamento minero El Laco, ubicado 75 km al NE del volcán, reportaron una pequeña explosión en el cordón el 24 de abril de 1990, la que produjo una breve columna eruptiva de color oscuro (Global Volcanism Program, 1990b), aunque dicha información no fue confirmada por personal de compañías mineras ubicadas hacia el SO (Global Volcanism Program, 1991b). Una reactivación podría ocurrir en cualquier sector de este cordón, la que estaría asociada a la emisión de lavas y a corrientes piroclásticas extensas; sin embargo, estas no afectarían poblados ni rutas importantes dado lo remoto de la zona.

VOLCÁN SOCOMPA

Es el miembro más occidental y más joven de una cadena de volcanes de orientación NE-SO. Sus lavas corresponden principalmente a dacitas y andesitas subordinadas, ambas de textura porfídica (Déruelle, 1978; Ramírez, 1988b). Su característica más relevante es un gigantesco depósito de avalancha de detritos (Francis *et al.*, 1985; Francis y Wells, 1988; Ramírez, 1988b; Wadge *et al.*, 1995; Van Wyk de Vries *et al.*, 2001), el cual posee un volumen de ca. 36 km³, se extiende 40 km hacia el NNO y cubre un área de unos 600 km². Este evento generó un anfiteatro de colapso abierto hacia el NO, relleno parcialmente por lavas que construyeron el cono actual, aunque las cicatrices de colapso aún son evidentes. En un principio se asumió que el colapso fue producido por una explosión dirigida tipo Monte Santa Helena, EE.UU. (Ramírez, 1988b), sin embargo, una evidencia posterior sugiere que habría sido provocado por ruptura del sustrato bajo el edificio volcánico debido a extensión gravitacional (Francis y Self, 1985; Wadge *et al.*, 1995; Van Wyk de Vries *et al.*, 2001), desencadenando una oleada piroclástica que pudo ser datada en ca. 7,2 ka (¹⁴C, Ramírez, 1988b; Wadge *et al.*, 1995). Este evento representa uno de los colapsos volcánicos de mayores dimensiones y de mejor exposición a escala planetaria. Destaca, además, un extenso y potente depósito de caída piroclástica de carácter pliniano, el cual cubre el edificio preavalancha. La ausencia de morrenas indicaría que se trata de un volcán con actividad relativamente reciente, cuyas últimas manifestaciones parecen ser cinco pequeños cráteres de explosión ubicados en los centros de extrusión de las lavas-domo dacíticas, en la cumbre del volcán (Wadge *et al.*, 1995). Ramírez (1988b) y González-Ferrán (1995) lo catalogaron como un volcán holoceno, pero sin actividad histórica conocida, aunque con emanaciones esporádicas de gases ricos en azufre en los alrededores

de la cumbre. El volcán Socompa presenta eminente actividad efusiva y explosiva durante el Holoceno y, por lo tanto, una reactivación podría implicar actividad eruptiva de diversa magnitud. El volcán se ubica en un sector remoto y mayoritariamente despoblado, con excepción del retén Estación Socompa en el flanco sur del volcán y de campamentos mineros hacia el oeste. Erupciones explosivas de alta magnitud podrían dispersar material piroclástico a zonas distantes del volcán, aunque principalmente ubicadas hacia el este; no obstante, durante los meses de verano la probabilidad de dispersión hacia el oeste aumenta considerablemente.

VOLCÁN LLULLAILLACO

Corresponde a uno de los volcanes activos más altos del mundo, con una altura de 6.723 m s.n.m. Consiste en un edificio cónico medianamente preservado, compuesto por lavas-domo y depósitos de bloques y cenizas, construido sobre dos conos parcialmente erosionados de $1,5 \pm 0,4$ Ma, sobre los cuales fluyeron coladas dacíticas de hasta 20 km de longitud hacia el oeste (Gardeweg *et al.*, 1984). Los flujos de lava más sobresalientes y mejor preservados se extendieron por cerca de 5 km hacia el norte y sur de la cima del volcán, y se destacan por una composición más diferenciada. No obstante su apariencia reciente, se reportó una edad de 48 ± 12 ka para uno de ellos ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Richards y Villeneuve, 2001). Hacia el flanco sur se ha reconocido un depósito de avalancha de alta temperatura de hasta 3 km de longitud. También destaca un extenso depósito de avalancha de detritos en el flanco este, el que alcanza 22 km desde el volcán, y cubre un área de ca. 137 km², datado en 150 ka (Francis y Wells, 1988; Richards y Villeneuve, 2001). Petit-Breuilh (2004) menciona erupciones históricas en febrero de 1854, septiembre de 1868, mayo de 1877 y durante los años 1920, 1931, 1936 y 1960. Una reactivación de este volcán estaría asociada a la emisión de lavas viscosas y a la generación de corrientes piroclásticas. Sin embargo, supone un limitado a nulo impacto en zonas pobladas, dada su ubicación remota.

VOLCÁN ESCORIAL

Corresponde al extremo oriental de un cordón volcánico de tendencia NO-SE y 70 km de longitud conocido como 'Corrida de Cori' (Naranjo y Cornejo, 1992). El cráter más reciente se ubica 4 km al NNO de una intensa zona de alteración hidrotermal. Este alcanza ca. 1 km de diámetro y se encuentra asociado a flujos de lavas andesíticas de morfología 'aa' y de bloques, que se extendieron hasta 2 km al oeste (Naranjo y Cornejo, 1992). Dentro de la zona se observa una colada más extensa también emitida hacia el oeste, conformada por lavas andesíticas de bloques. Ambas lavas son morfológicamente recientes (de Silva y Francis, 1991), aunque se ha reportado una edad de 342 ± 25 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Richards y Villeneuve, 2002). Este centro ha sido catalogado de edad pleistocena-holocena, aunque no existe evidencia de erupciones históricas. Una reactivación de este volcán estaría asociada a la emisión de lavas, con nulo impacto en zonas pobladas y en rutas de relevancia dada su ubicación remota.

VOLCÁN LASTARRIA

Este volcán es parte de una compleja estructura poligenética de rumbo NNO, caracterizada, en general, por la emisión de lavas y flujos piroclásticos andesíticos y dacíticos, lavas-domo y flujos de avalanchas de alta temperatura (Naranjo, 1986, 1992). Las lavas más antiguas presentan edades de $0,6 \pm 0,3$ Ma (K-Ar, Naranjo y Cornejo, 1992), mientras que lavas recientes se han datado en 34 ± 18 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Naranjo, 2010). El edificio principal contiene cinco cráteres anidados en dirección NO-SE, donde el más septentrional presenta una lava-domo en su borde. En su flanco norte afloran extensos depósitos piroclásticos de bloques y cenizas y de colapso de columna, los que alcanzan el margen SE del salar de Aguas Calientes. Para uno de ellos se obtuvo una edad de $2,46 \pm 0,06$ ka (^{14}C , Naranjo, 2010). En el flanco SE, por otra parte, se ha reconocido un depósito de avalancha de detritos (Naranjo y Francis, 1987; Francis y Wells, 1988). Este volcán presenta abundantes manifestaciones fumarólicas y solfatáricas permanentes (Global Volcanism Program, 2007b), algunas relacionadas con depósitos de azufre cristalino, además de coladas de azufre resultantes

de la fusión de dichos depósitos (Naranjo, 1985; Aguilera, 2010). Análisis de emisiones de gases indican la presencia de un sistema acuífero somero discontinuo, el que se vaporiza fuertemente producto del aporte de fluidos de origen magmático (Aguilera *et al.*, 2012). González-Ferrán (1995) señaló la posible ocurrencia de una erupción importante en tiempos históricos, aunque no reportada en detalle debido al aislamiento de la zona. Este volcán ha sido foco de interés de la comunidad científica internacional, como consecuencia de recientes estudios de interferometría de radar de apertura sintética (InSAR), los que sugieren deformación superficial desde 1997 en la región comprendida entre el volcán Lastarria y el Cordón del Azufre, en un área de influencia estimada entre 1.000 y 2.000 km² y asociada a una tasa de deformación de hasta 3 cm/año (Pritchard y Simons, 2002; Froger *et al.*, 2007; Ruch *et al.*, 2008, 2009; Anderssohn *et al.*, 2009). Esta señal de deformación se relacionaría con una cámara magmática en crecimiento localizada a unos 10 km de profundidad (Froger *et al.*, 2007; Ruch y Walter, 2010). Finalmente, Budach *et al.* (2011), mediante prospección magnetotélúrica, sugirieron la presencia de magmas en proceso de ascenso desde la cuña astenosférica, los que alimentarían un potencial reservorio magmático. Una reactivación en el volcán Lastarria estaría probablemente ligada a actividad explosiva con dispersión de material piroclástico y generación de corrientes piroclásticas, aunque de limitado a nulo impacto en zonas pobladas. Un escenario asociado a una erupción de muy alta magnitud es aún incierto.

CORDÓN DEL AZUFRE

Corresponde a un pequeño complejo volcánico, constituido por varios estratovolcanes y centros eruptivos monogenéticos edificados sobre un antiguo estratovolcán a lo largo de una fractura de orientación norte-sur y de unos 6 km de longitud (de Silva y Francis, 1991). El cráter central del antiguo estratovolcán ha sido en gran parte recubierto por lavas andesíticas provenientes de los centros monogenéticos, cuyas lavas más extensas se dataron en menos de 0,6 Ma (K-Ar, Naranjo y Cornejo, 1992). Dentro del complejo es posible observar una migración de la actividad volcánica de sur a norte, donde el centro eruptivo más reciente corresponde a un cono asociado a flujos de lavas andesíticas porfídicas que escurrieron 3 km hacia el este y 7 km hacia el oeste (Naranjo y Cornejo, 1992); dicho cono se encuentra parcialmente cubierto por un pequeño depósito piroclástico en su flanco este, el cual se ha vinculado con una erupción probablemente ocurrida en tiempos históricos (González-Ferrán, 1995). En territorio argentino destaca un cúmulo de flujos de lava provenientes de distintas fuentes que cubren un área de ca. 25 km² (de Silva y Francis, 1991). Una reactivación de este volcán estaría asociada a la emisión de lavas y menor emisión piroclástica, con nulo impacto en zonas pobladas y rutas de relevancia dado lo remoto de la zona.

NEVADO DE INCAHUASI

Corresponde a dos estratovolcanes con cráteres superpuestos, edificados sobre una caldera de ca. 3,5 km de diámetro, los que emitieron hacia el oeste y suroeste voluminosos flujos de lavas-domo dacíticas, y en los que se reportó una edad de $0,71 \pm 0,08$ Ma (K-Ar, Baker *et al.*, 1987). Un ciclo eruptivo, posiblemente holoceno, generó un nuevo estratocono con un cráter de ca. 1 km de diámetro, desde el cual han escurrido radialmente numerosos flujos de lava dacítica (Baker *et al.*, 1987). Unos 5,5 km hacia el NE, en territorio argentino, se emplaza un conjunto de cuatro conos piroclásticos asociados a cortos flujos de lavas andesítico-basálticas que cubren un área cercana a 10 km². Dada la posición stratigráfica y características morfológicas de estos conos, corresponderían a la última actividad eruptiva en la zona, cuya edad se estima holocena (González-Ferrán, 1995). Una reactivación de este volcán estaría ligada a la emisión de lavas y menor emisión piroclástica, con limitado a nulo impacto en zonas pobladas, aunque podría afectar la ruta internacional CH-31.

NEVADO TRES CRUCES

Este centro forma parte de una cadena este-oeste de volcanes pleistocenos y holocenos. Está conformado por tres conos coalescentes alineados en dirección norte-sur y por una serie de lavas dacíticas a riodacíticas, domos, cráteres de explosión, flujos y oleadas piroclásticas de pequeño volumen y depósitos piroclásticos de

caída (Gardeweg *et al.*, 1997, 1999, 2000). Destacan al menos dos eventos explosivos, ambos generadores de depósitos de flujo y caída piroclástica, de composición dacítica. El primero de estos, datado en $1,56 \pm 0,15$ Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Gardeweg *et al.*, 2000), descendió por el flanco oeste, mientras que el segundo, datado en 67 ± 9 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Gardeweg *et al.*, 2000), está relacionado con el emplazamiento de flujos piroclásticos hacia el este y sureste del volcán, los que exhiben depósitos de oleadas y caída piroclástica, y cubren parcialmente los sectores aledaños. No existe registro de actividad histórica, aunque una lava dacítica del cono meridional arrojó una edad de 28 ± 11 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Gardeweg *et al.*, 2000). Una reactivación podría estar relacionada con actividad explosiva con dispersión de material piroclástico y generación de corrientes piroclásticas, aunque de limitado impacto en zonas pobladas. La ruta internacional CH-31 podría ser afectada, dependiendo de la magnitud eruptiva.

VOLCÁN OJOS DEL SALADO

Considerado el volcán activo más alto del mundo (6.887 m s.n.m.), corresponde a un complejo volcánico construido sobre numerosos volcanes pequeños y superpuestos, que han emitido principalmente lavas cortas y potentes, lavas-domos y domos, agrupadas en una cadena este-oeste (Baker *et al.*, 1987; Gardeweg *et al.*, 1997, 1998b). Está cubierto en gran parte por depósitos piroclásticos de caída originados en el Nevado Tres Cruces. Sus productos más tempranos son de composición andesítica y se estiman del Pleistoceno Inferior (ca. 1,5 Ma; Baker *et al.*, 1987). Sobre ellos se han emitido flujos dacíticos de dos piroxenos y hornblenda, de corta extensión, pero potentes. Durante la etapa tardía del complejo, caracterizada por dacitas de hornblenda y biotita, se construyeron dos edificios coalescentes de orientación este-oeste, entre los que se emplaza el actual cráter activo (Gardeweg *et al.*, 1998b). Un domo del sector superior del flanco norte del volcán fue datado en ca. 35 ka ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Gardeweg *et al.*, 1997, 1999). Este centro posee actividad fumarólica intermitente (Gardeweg *et al.*, 1998b; Jay *et al.*, en prensa) y su última actividad eruptiva reportada corresponde a emisión menor de cenizas en noviembre de 1993 (Global Volcanism Program, 1993b). Una reactivación podría estar relacionada con actividad explosiva menor y emisión de lava o construcción de domos, asociados a posibles corrientes piroclásticas. Los efectos derivados se estiman restringidos a las inmediaciones del edificio volcánico y, en casos excepcionales, podrían afectar a la ruta internacional CH-31.

METODOLOGÍA

La extensión de las zonas de impacto, derivada de los distintos fenómenos volcánicos, varía en órdenes de magnitud, debido a los diversos eventos involucrados y, por lo tanto, resulta complejo de sintetizar en una representación cartográfica. No obstante, por medio de la aplicación de métodos y relaciones numéricas simples, y en concordancia con un control basado en observaciones geológicas de campo, es posible establecer una zonificación del impacto relativo de cada centro eruptivo ante una posible reactivación futura. Se considera la actividad eruptiva característica de cada volcán como aquella documentada desde el Pleistoceno Superior (últimos 126 ka; Ogg *et al.*, 2008).

Para cada volcán el análisis se ha centrado en dos demarcaciones: **1)** zona de peligro volcánico proximal, donde se define una zonificación del impacto de procesos volcánicos con un alcance máximo de decenas de kilómetros en torno a los centros eruptivos. Usualmente, tales procesos son letales y en varios casos requieren de la evacuación de la población potencialmente amenazada; **2)** zona de peligro volcánico distal, susceptible de recibir material piroclástico de caída, el cual es eyectado a la atmósfera por medio de columnas eruptivas mayores a 10 km de altura. La extensión que pueden alcanzar estas zonas es del orden de cientos a miles de kilómetros en torno a los centros eruptivos. Por lo general, la caída piroclástica no es letal, aunque puede alterar de manera significativa la aeronavegación y la agricultura, además de afectar territorios donde la población no se encuentra habituada a los peligros volcánicos. Sus efectos pueden ser mitigados mediante información y planes adecuados, como por ejemplo alerta temprana a la población.

PELIGRO VOLCÁNICO PROXIMAL
(Mapa 1, dividido en 5 hojas, fuera de texto)

Engloba zonas de peligro, asociadas a procesos eruptivos que afectan radios de kilómetros a decenas de kilómetros alrededor de los edificios volcánicos y cuya extensión es en función de las características topográficas del entorno y de la movilidad inherente a cada fenómeno volcánico, dado que son conducidos por gravedad. En este análisis se incluyen fenómenos vinculados directamente a erupciones volcánicas, tales como flujos de lava, piroclastos balísticos y corrientes piroclásticas (de flujo, de oleada y de bloques y cenizas), además de procesos secundarios como avalanchas volcánicas. Fenómenos volcánicos donde un medio acuoso es crucial en la dinámica de transporte, como por ejemplo flujos de detritos e hiperconcentrados (lahares), son igualmente considerados en esta categoría.

Para cada centro eruptivo se definieron conos o líneas de energía basados en el concepto de Malin y Sheridan (1982), cuya aplicación a la cartografía de peligros volcánicos nacional se describe en Lara *et al.* (2011). Complementariamente, en algunos casos, las zonas de impacto más lejanas se delinearon mediante el uso de superficies de sección transversal parabólica en lugar de sección transversal recta, porque las primeras representan, por ejemplo, de manera más adecuada el encauzamiento en los cursos fluviales de procesos tales como flujos de detritos e hiperconcentrados, y se logra así reducir la sobrestimación de las áreas susceptibles de ser impactadas por fenómenos volcánicos en zonas más lejanas, en particular aquellas regiones más elevadas (Fig. 4). Se emplearon superficies parabólicas para representar avalanchas de detritos en los volcanes Tacora, Parinacota, Socompa, Llullaillaco y Lastarria, y para representar flujos piroclásticos distales en los volcanes Taapaca, Láscar y Puntas Negras. La elección de parábolas se fundamentó en la gran extensión de tales fenómenos para estos volcanes. En efecto, de haber considerado conos rectos, se hubiera sobrestimado el alcance en términos topográficos.

Los parámetros que determinan tanto superficies cónicas como parabólicas se especifican en la Tabla 1 (Anexo I). Estos valores se escogieron de acuerdo a la distribución espacial de productos volcánicos, resultantes del levantamiento de información geológica de campo.

Tal como se describió en Lara *et al.* (2011), los parámetros que definen la construcción de un cono de energía son los siguientes: **1)** la diferencia de altura entre el centro de emisión de un volcán y el sector donde se reconoce el máximo alcance de un determinado proceso volcánico (H), y **2)** la distancia horizontal entre ambos puntos (L). El cono de energía H/L viene dado, por lo tanto, por un sólido de revolución que resulta de rotar en 360° un triángulo rectángulo de catetos H y L y cuyo vértice superior se ubica en el centro de emisión del volcán respectivo. La tangente del ángulo que forma la hipotenusa con la horizontal está vinculada con la resistencia al transporte, la cual depende de las propiedades mecánicas del material (Sheridan y Malin, 1983). Finalmente, la superficie que define la intersección de este cono con la topografía (en este caso, un modelo digital de terreno derivado del proyecto global ASTER-GDEM), delimita el área susceptible de ser afectada por un proceso volcánico de movilidad similar. En ciertos casos se considera una altura adicional al centro de emisión (h_c), ya sea para aplicar de mejor manera este método en conos truncados o bien para representar alturas de colapso, las que tienen por objetivo modelar corrientes piroclásticas derivadas de colapsos de columnas eruptivas (Alberico *et al.*, 2002; Felpeto *et al.*, 2007). Esta altura adicional alcanza algunas centenas de metros y típicamente corresponde al fin de la zona de chorro e inicio de la región dominada por ascenso convectivo dentro de una columna eruptiva (Sheridan y Malin, 1983).

Por otra parte, las superficies parabólicas se definen como la rotación en 360° de una parábola, cuyo vértice se ubica en el centro de emisión del volcán. El aspecto de la parábola queda definido por un parámetro (p), que regula su escala y controla su apariencia más dilatada o estrecha. La superficie parabólica, por lo tanto, depende solo de la distancia horizontal al vértice, y se acerca a la superficie definida por la topografía a medida que dicha distancia aumenta, pero a una tasa menor que la definida por los conos de energía, lo que permite la extensión de las áreas susceptibles de ser afectadas por procesos, tales como flujos de detritos, en zonas deprimidas topográficamente.

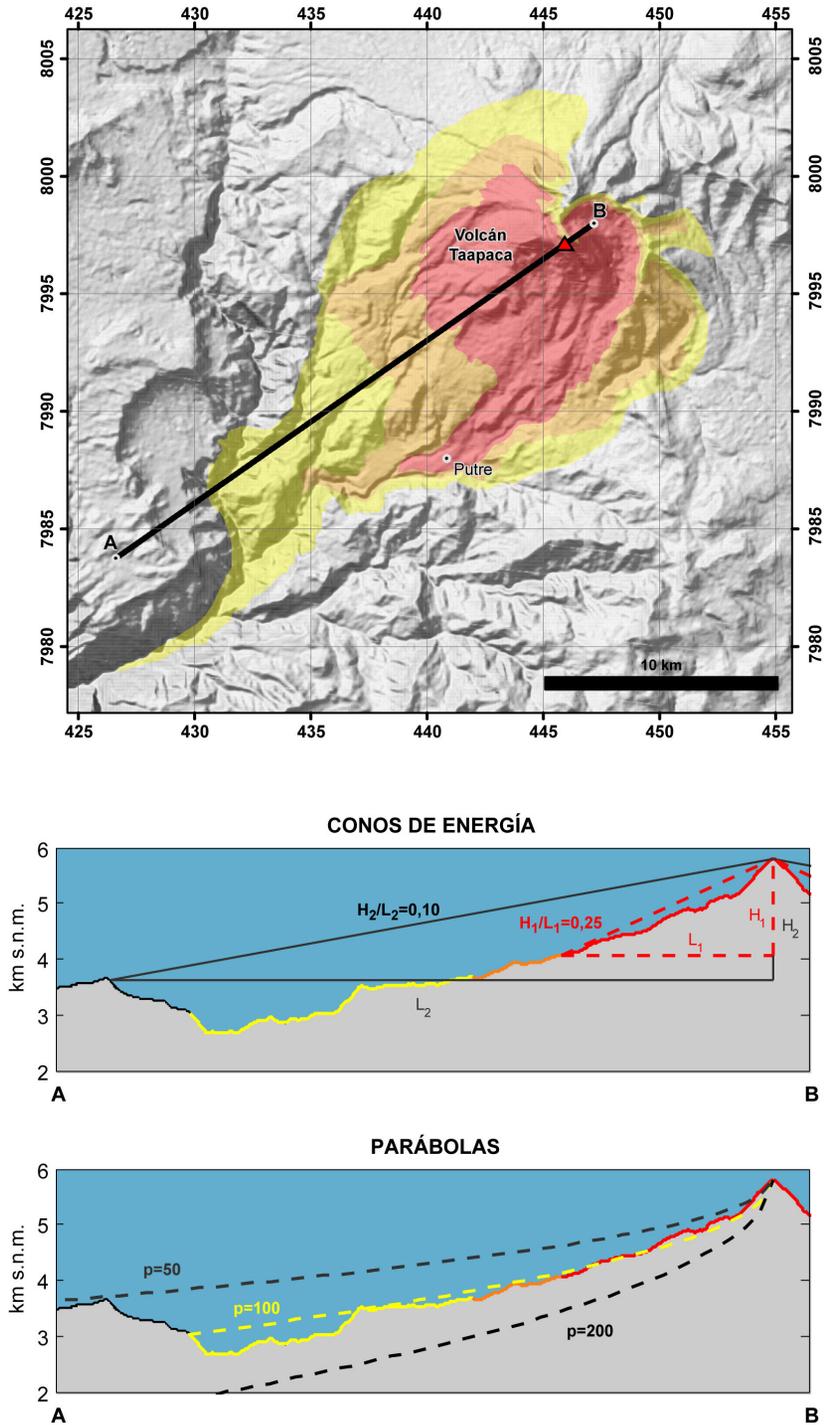


FIG. 4. Esquema con ejemplos de conos de energía y parábolas aplicados al volcán Taapaca. El panel superior muestra la traza de un perfil (A-B) que cruza distintas zonas de peligro en dicho volcán. El panel inferior muestra la sección transversal del perfil A-B sobre la que se han construido conos de energía en función de la extensión horizontal de los depósitos (L) y la diferencia en cota con el centro de emisión (H). En este caso H_1 y L_1 son representativos para depósitos de flujos de bloques y cenizas. Además, se muestran parábolas con vértice en el volcán y su variación en función de un parámetro de escala p . Se observa claramente que un cono de energía de pendiente $H_2/L_2 = 0,10$ sobrestima zonas distales, en cambio las parábolas se concentran en regiones de menor cota, acorde con la distribución de depósitos.

PELIGRO VOLCÁNICO DISTAL ASOCIADO A CAÍDA DE PIROCLASTOS

(Mapa 2, fuera de texto)

La dispersión y caída en superficie de piroclastos dependen esencialmente de los parámetros eruptivos (particularmente intensidad y magnitud) así como de las condiciones meteorológicas imperantes durante la erupción. En este estudio, el método empleado para evaluar zonas susceptibles de recibir material piroclástico corresponde a una aproximación numérica en consideración a los parámetros mencionados. De este modo, con la intención de caracterizar tanto la dispersión como la acumulación piroclástica en superficie desde columnas eruptivas vigorosas, se realizó un conjunto de simulaciones numéricas bajo condiciones meteorológicas representativas para los Andes Centrales. En función de los antecedentes geológicos recopilados a la fecha, se asignó un escenario eruptivo máximo para cada volcán (Tabla 1, Anexo I), siguiendo la nomenclatura propuesta por Mastin *et al.* (2009) y modificada para territorio chileno por Lara *et al.* (2011). Esta categorización incluye alturas de columna eruptiva, masa emitida y granulometría, las que a su vez son representativas de distintos índices de explosividad volcánica (IEV), en concordancia con la clasificación propuesta por Newhall y Self (1982). En efecto, los escenarios eruptivos considerados corresponden a una erupción subpliniana menor (S1, IEV 2-3), con una altura de columna de 10 km y masa emitida de 5×10^{10} kg, similar a la erupción del volcán Láscar en el año 2000 (Aguilera *et al.*, 2003); una erupción subpliniana mayor (S2, IEV 3-4), con una altura de columna de 15 km y masa emitida de 5×10^{11} kg, similar a la erupción del volcán Láscar en 1993 (Gardeweg y Medina, 1994; Déruelle *et al.*, 1996); y finalmente una erupción pliniana (S3, IEV 4-5), con una altura de columna de 20 km y masa emitida de 5×10^{12} kg, de tamaño similar a la erupción del volcán Hudson, Andes del Sur, en 1991 (Naranjo *et al.*, 1993; Scasso *et al.*, 1994). Un evento eruptivo de dimensión similar a este último no ha sido observado en tiempos históricos en los centros volcánicos abarcados en el presente estudio, aunque la evidencia geológica conocida hasta ahora sugiere la ocurrencia de tales eventos en los volcanes Guallatiri, Irruputuncu, San Pedro, Láscar, Socompa, Lastarria y Tres Cruces. Cabe destacar que la erupción pliniana del volcán Huaynaputina (sur de Perú), ocurrida en el año 1600, supera en un orden de magnitud al mayor de los escenarios eruptivos considerados en este estudio (Adams *et al.*, 2001).

La utilización de datos de vientos representativos para la región es crucial para el estudio del transporte de piroclastos en la atmósfera. Dada la escasez de información meteorológica en la zona, en particular en altura, esta se obtuvo desde campos de vientos globales (proyecto Reanálisis II; Kanamitsu *et al.*, 2002). Estos campos consisten en una grilla equiespaciada de $2,5^\circ$ de latitud/longitud, con 17 niveles de presión atmosférica desde la superficie hasta 10 hPa (ca. 31 km s.n.m.) y cuya resolución temporal máxima es de cuatro datos por día. Con el objeto de obtener información representativa para cada centro eruptivo, se realizó una interpolación espacial según la posición del volcán con respecto a los puntos de grilla. Adicionalmente, se calculó la altura equivalente a cada nivel de presión, para luego obtener datos de viento cada un kilómetro sobre la superficie. Estudios recientes de dispersión y acumulación piroclástica han destacado la utilidad de construir un año sintético, usualmente denominado año típico, que capture la variabilidad atmosférica de una región determinada (e.g., Scaini *et al.*, 2012), y así reducir de forma considerable el número de simulaciones numéricas por efectuar. Un año típico, por lo tanto, consiste en la elección de meses representativos seleccionados desde una base de datos meteorológica en función de ciertos parámetros de interés, que en este caso corresponden a velocidad y dirección de viento. Siguiendo la estrategia propuesta por Scaini *et al.* (2012), se aplicó el método de Finkelstein-Schäfer descrito en Janjai y Deeyai (2009) para obtener años típicos en tres niveles atmosféricos diferentes para la latitud central de la ZVC (Tabla 3, Anexo III).

Una vez definidos los escenarios eruptivos y las condiciones meteorológicas representativas, se procedió a simular la caída piroclástica mediante el modelo de advección-difusión Tephra2 (Bonadonna *et al.*, 2005), utilizado y validado para la región por Amigo (2011). Posteriormente, se generó un conjunto de mapas probabilísticos de acumulación piroclástica en la superficie, con el objeto de identificar regiones susceptibles de recibir depósitos de espesor mayor o igual a 1 cm. Cabe destacar que este umbral se considera representativo del daño potencial de este tipo de peligro volcánico (Blong, 1984).

RESULTADOS

Los resultados generados en este trabajo se sintetizan en un mapa de 5 hojas escala 1:250.000, donde se delimitan tres zonas anidadas de peligro proximal (Mapa 1, fuera de texto), además de un mapa escala 1:3.000.000, donde se especifican tres zonas de peligro distal (Mapa 2, fuera de texto).

Respecto a los peligros proximales, se definió una zona de alto peligro que representa el sector más susceptible de ser dañado/perjudicado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico. Estos procesos corresponden a flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, independientes de la magnitud eruptiva, los que en general poseen una extensión menor a 5 km en torno a los centros eruptivos. En paralelo, se determinó una zona de peligro medio, la cual representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud. Por último, se delimitó una zona de bajo peligro, la que representa el sector más susceptible de ser alterado solo por procesos eruptivos derivados casi en forma exclusiva por erupciones de alta magnitud en el edificio principal, e incorpora regiones alejadas hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos.

Con respecto a los peligros distales asociados a caída piroclástica, la representación cartográfica de los resultados considera las áreas cuya probabilidad de acumulación piroclástica mayor o igual a 1 cm de espesor se estima superior a 0,50 (peligro alto), entre 0,25 y 0,50 (peligro medio) y entre 0,125 y 0,25 (peligro bajo). Los cálculos probabilísticos se consideran trimestralmente como una forma de destacar las variaciones estacionales de circulación atmosférica en los Andes Centrales (e.g., Garreaud, 2009) y se exhiben en cuatro paneles representativos para cada estación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio representa un análisis de peligro volcánico a escala regional para los 33 volcanes considerados geológicamente activos de la Zona Volcánica Central de los Andes, los que se ubican parcial o completamente en territorio chileno.

Se analizaron peligros volcánicos proximales, cuyas extensiones alcanzan hasta decenas de kilómetros en torno a los centros eruptivos. Para estos se asigna una zonificación de peligro (alto, medio y bajo) en términos cualitativos (Mapa 1, fuera de texto). Esta zonificación muestra que las regiones consideradas de alto peligro se encuentran restringidas a los edificios volcánicos, con superficies que rara vez exceden los 100 km², habitualmente lejos de los centros poblados. En el otro extremo, las zonas de bajo peligro corresponden a los sectores más alejados de los centros eruptivos, que en general representan zonas topográficamente deprimidas, cuyas superficies pueden superar los 200 km².

Se ubican en zonas de bajo peligro, los poblados de Parinacota, Chucuyo, Guallatiri, Ancuta, Ollagüe y Talabre, en tanto que en zonas de medio peligro queda emplazado el poblado de Enquelga y en zonas de alto peligro, a su vez, se localiza el poblado de Putre, cuya situación sensible ha sido mencionada en trabajos anteriores (Clavero *et al.*, 2004a, 2007).

Para la evaluación de peligros distales, se identificaron las zonas capaces de recibir material piroclástico de caída desde columnas eruptivas vigorosas, y se consideró el escenario eruptivo más probable por volcán. Este resultado se muestra en un mapa probabilístico de escala 1:3.000.000 (Mapa 2, fuera de texto), con umbral de acumulación igual o superior a 1 cm, donde se han especificado distintas probabilidades de acumulación para todas las estaciones del año. Estas zonas de influencia pueden alcanzar extensiones de decenas a cientos de kilómetros y destaca la condición de circulación atmosférica, con vientos desde el este al oeste, durante las estaciones de primavera y verano en la región septentrional del área de estudio. Esta condición ocasionaría dispersión y transporte atmosférico de piroclastos hacia el oeste de los centros eruptivos, y afectaría principalmente las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá. En concordancia con este resultado, durante la erupción del volcán Huaynaputina en el sur de Perú, ocurrida durante febrero-marzo

de 1600, se observó dispersión piroclástica hacia el oeste. Por otra parte, durante las estaciones de otoño e invierno, y en particular para columnas eruptivas menores a 15 km de altura, las condiciones atmosféricas favorecerían el transporte de material piroclástico hacia el este de los centros volcánicos, tal como ha sido observado durante erupciones recientes en los Andes Centrales.

Por último, cabe destacar que el presente estudio corresponde a una aproximación de carácter regional a la evaluación de peligros volcánicos y constituye un marco para estudios futuros de mayor detalle en las regiones volcánicas consideradas más peligrosas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a los editores M. Gardeweg (Aurum Consultores), F. Aguilera (Universidad de Atacama), H. Delgado-Granados (Universidad Nacional Autónoma de México, México) y J.G. Viramonte (Universidad Nacional de Salta, Argentina), quienes efectuaron valiosos comentarios que permitieron mejorar este trabajo en forma y fondo. L.E. Lara incentivó la materialización de este proyecto como una extensión de la evaluación de peligros volcánicos a escala nacional y editó un texto preliminar que ayudó a dar forma al presente documento. Se agradece además a los Sres. A. Díaz, R. Santibáñez, H. Rojo, E. Rogel y R. Flores por el apoyo prestado en numerosas campañas de terreno. La implementación computacional de conos y parábolas de energía se realizó modificando un código facilitado por S. Schilling (USGS, EE.UU.). El modelo Tephra2 se obtuvo desde el sitio web <http://vhub.org>, mientras que datos de viento provienen del proyecto Reanálisis II de la NOAA (EE.UU.) en el sitio web <http://www.esrl.noaa.gov/psd>. La información de topografía digital se obtuvo del proyecto ASTER-GDEM en el sitio web <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>. Esta es una contribución del Programa de Riesgo Volcánico, integrante de la Red Nacional de Vigilancia Volcánica de SERNAGEOMIN.

REFERENCIAS

- Acocella, V.; Vezzoli, L.; Omarini, R.; Matteini, M.; Mazzuoli, R. 2007. Kinematic variations across Eastern Cordillera at 24°S (Central Andes): Tectonic and magmatic implications. *Tectonophysics* 434: 81-92.
- Adams, N.K.; de Silva, S.L.; Self, S.; Salas, G.; Schubring, S.; Permenter, J.L.; Arbesman, K. 2001. The physical volcanology of the 1600 eruption of Huaynaputina, southern Peru. *Bulletin of Volcanology* 62: 493-518.
- Aguilera, F. 2010. Sobre el origen, naturaleza y evolución de los fluidos en volcanes, campos geotérmicos y fuentes termales de la Zona Volcánica Central (ZVC) en el norte de Chile (17°43'S-25°10'S). Concurso Bicentenario, Tesis Doctoral 2008, Vol. I: 161-468, Andros Impresores S.A., Santiago. ISBN: 978-956-7892-31-0.
- Aguilera, F.; Martínez, C.; Tassi, F.; Viramonte, J.; Medina, E.; Vargas, H. 2003. Actividad del volcán Láscar en el período 2000-2002. *In Congreso Geológico Chileno, No. 10, Actas (CD-ROM)*. Concepción.
- Aguilera, F.; Ahumada, S.; Mercado, J.; Piscaglia, F.; Renzulli, A.; Tassi, F. 2008. Geological survey, petrology and fluid geochemistry of the Apacheta-Aguilucho volcanoes (Andean Central Volcanic Zone, northern Chile) and their geothermal system. *Grupo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Sessione 1.2*: 55-57.
- Aguilera, F.; Tassi, F.; Darrah, T.; Moune, S.; Vaselli, O. 2012. Geochemical model of a magmatic-hydrothermal system at the Lastarria volcano, northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 74: 119-134.
- Ahumada, S.; Mercado, J.L. 2008. Origen y evolución geológica-estructural del sector Pampa Apacheta, II Región de Antofagasta. Tesis para optar al título de geólogo (Inédita), Universidad Católica del Norte: 92 p. Antofagasta.
- Alberico, I.; Lirer, L.; Petrosino, R.; Scandone, R. 2002. A methodology for the evaluation of long-term volcanic risk from pyroclastic flows in Campi Flegrei (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 116: 63-78.
- Amigo, A. 2011. Modeling pyroclast transport and sedimentation in the Andean Central and Southern Volcanic Zones. Ph.D. thesis (Unpublished), School of Earth Sciences, University of Bristol: 134 p. United Kingdom.
- Amundson, R.; Dietrich, W.; Bellugi, D.; Ewing, S.; Nishiizumi, K.; Chong, G.; Owen, J.; Finkel, R.; Heimsath, A.; Stewart, B.; Caffee, M. 2012. Geomorphologic evidence for the late Pliocene onset of hyperaridity in the Atacama Desert. *Geological Society of America Bulletin* 124 (7-8): 1048-1070.

- Anderssohn, J.; Motagh, M.; Walter, T.R.; Rosenau, M.; Kaufmann, H.; Oncken, O. 2009. Surface deformation time series and source modeling for a volcanic complex system based on satellite wide swath and image mode interferometry: the Lazufre system, central Andes. *Remote Sensing of Environment* 113: 2062-2075.
- Angermann, D.; Klotz, J.; Reigber, Ch. 1999. Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters* 171 (3): 329-334.
- Baker, P.E.; González-Ferrán, O.; Rex, D. 1987. Geology and Geochemistry of the Ojos del Salado Volcanic Region, Chile. *Journal of the Geological Society of London* 144: 85-96.
- Blong, R.J. 1984. *Volcanic Hazards, a source book on the effects of eruptions*. Academic Press: 424 p. Sydney
- Bonadonna, C.; Connor, C.B.; Houghton, B.F.; Connor, L.J.; Byrne, M.; Laing, A.; Hincks, T.K. 2005. Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Journal of Geophysical Research* 110 (B3): B03203. doi: 10.1029/2003JB002896.
- Brüggen, J. 1950. *Fundamentos de la geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar: 374 p. Santiago.
- Budach, I.; Brasse, H.; Díaz, D. 2011. Imaging of conductivity anomalies at Lazufre volcanic complex, Northern Chile, through 3-D inversion of magnetotelluric data. *In* Protokoll über das 24. Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung: 27-34.
- Cahill, T.; Isacks, B.L. 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate. *Journal of Geophysical Research* 97: 17503-17529.
- Calder, E.S.; Sparks, R.S.J.; Gardeweg, M. 2000. Erosion, transport and segregation of pumice and lithic clasts in pyroclastic flows inferred from ignimbrites at Láscar Volcano, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104: 201-235.
- Cande, S.C.; Leslie, R.B. 1986. Late Cenozoic tectonics of the Southern Chile Trench. *Journal of Geophysical Research* 91 (B1): 471-496.
- Capaccioni, B.; Aguilera, F.; Tassi, F.; Darrah, T.; Poreda, R.J.; Vaselli, O. 2011. Geochemical and isotopic evidences of magmatic inputs in the hydrothermal reservoir feeding the fumarolic discharges of Tacora volcano (northern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 208 (3-4): 77-85.
- Casertano, L. 1962. General characteristics of the active Andean volcanoes and a summary of their activities during recent centuries. *Bulletin of the Seismological Society of America* 53: 1415-1433.
- Casertano, L. 1963. Catalogue of the Active Volcanoes and Solfataras Fields of the Chilean Continent. *International Volcanological Association, Naples Part XV: 1-55*.
- Céspedes, L.; Clavero, J.; Cayupí, J. 2004. Hazard management at Isluga volcano, northern Chile: preliminary results. *International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) General Assembly 6, Symposium 05, Poster 5a, No. 107. Pucón, Chile*.
- Clavero, J.E. 2007. Peligros del Complejo Volcánico Taapaca, Región de Arica y Parinacota, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 10, 1 mapa escala 1:50.000.
- Clavero, J.E.; Sparks, R.S.J. 2005. Geología del Complejo Volcánico Taapaca, Región de Tarapacá, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 93: 23 p., 1 mapa escala 1:50.000.
- Clavero, J.E.; Sparks, R.S.J.; Huppert, H.E.; Dade, W.B. 2002. Geological constraints on the emplacement mechanism of the Parinacota debris avalanche, northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 64: 40-54.
- Clavero, J.E.; Sparks, R.S.J.; Pringle, M.; Polanco, E.; Gardeweg, M. 2004a. Evolution and volcanic hazards of Taapaca Volcanic Complex, Central Andes of Northern Chile. *Journal of the Geological Society of London* 161: 603-618.
- Clavero, J.E.; Sparks, R.S.J.; Polanco, E.; Pringle, M. 2004b. Evolution of Parinacota volcano, Central Andes, northern Chile. *Revista Geológica de Chile* 31 (2): 317-347.
- Clavero, J.E.; Polanco, E.; Godoy, E.; Aguilar, G.; Sparks, R.S.J.; van Wyk de Vries, B.; Pérez de Arce, C.; Matthews, S. 2004c. Substrata influence in the transport and emplacement mechanism of the Ollagüe debris avalanche (northern Chile). *Acta Vulcanológica* 16: 59-76.
- Clavero, J.E.; Soler, V.; Amigo, A. 2006. Caracterización preliminar de la actividad sísmica y de desgasificación pasiva de volcanes activos en los Andes Centrales del norte de Chile. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 11, Actas 2:443-446. Antofagasta.
- Clavero, J.E.; Sparks, R.S.J.; Polanco, E. 2012. Geología del Volcán Parinacota, Región de Arica y Parinacota (versión corregida). Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 132: 31 p., 1 mapa escala 1:50.000.
- Coira, B.; Kay, S.M.; Viramonte, J.G. 1993. Upper Cenozoic magmatic evolution of the Argentina Puna. A model for changing subduction geometry. *International Geology Review* 35: 677-720.
- Déruelle, B., 1978. Calc-alkaline and shoshonitic lavas from five Andean volcanoes (between latitudes 21°45' and 24°30') and the distribution of the Plio-Quaternary volcanism of the south-central and southern Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 3: 281-298.
- Déruelle, B. 1994. Volcán Puntas Negras and Cordón Puntas Negras (Northern Chile: petrology and geochemistry of minor eruptive centres. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas 2: 1029-1033. Concepción.

- Déruelle, B.; Figueroa, O.; Medina, E.; Viramonte, J.; Maragno, M. 1996. Petrology of pumice of April 1993 eruption of Láscar (Atacama, Chile). *Terra Nova* 8: 191-199.
- de Mets, C.; Gordon, R.G.; Argus, D.F.; Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters* 21 (20): 2191-2194.
- de Silva, S.L. 1989. Altiplano-Puna volcanic complex of the Central Andes. *Geology* 17: 1102-1106.
- de Silva, S.L.; Francis, P. W. 1991. *Volcanoes of the Central Andes*. Springer-Verlag: 216 p. Berlín.
- de Silva, S.L.; Self, S.; Francis, P.W.; Drake, R.E.; Ramírez, C.F. 1994. Effusive silicic volcanism in the Central Andes: The Chao dacite and other young lavas of the Altiplano-Puna volcanic complex. *Journal of Geophysical Research* 99: 17805-17825.
- Feeley, T.C.; Davidson, J.P.; Armendia, A. 1993. The volcanic and magmatic evolution of Volcán Ollagüe, a high-K, late Quaternary stratovolcano in the Andean Central Volcanic Zone. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54: 221-245.
- Felpeto, A.; Martí, J.; Ortiz, R. 2007. Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 166: 106-116.
- Figueroa, O.; Déruelle, B. 1996. Licancabur, an andesitic volcano of the south-central Andes. *In* Third International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG): 563-566. St. Malo, France.
- Figueroa, O.; Déruelle, B.; Demaiffe, D. 2009. Genesis of adakite-like lavas of Licancabur volcano (Chile-Bolivia Central Andes). *Comptes Rendus Geosciences* 341: 310-318.
- Francis, P.W.; Rundle, C. 1976. Rates of production of the main magma types in the Central Andes. *Geological Society of America Bulletin* 97: 474-480.
- Francis, P.W.; Self, S. 1985. Collapsing volcanoes. *Scientific American* 255: 90-97.
- Francis, P.W.; Wells, G.L. 1988. Landsat thematic mapper of debris avalanche deposits in the Central Andes. *Bulletin of Volcanology* 50: 258-278.
- Francis, P.W.; Roobol, M.J.; Walker, G.P.L.; Cobbold, P.R.; Coward, M. 1974. The San Pedro and San Pablo volcanoes of northern Chile and their hot avalanche deposits. *Geologische Rundschau* 63: 338-357.
- Francis, P.W.; Gardeweg, M.; Ramírez, C.F.; Rothery, D.A. 1985. Catastrophic debris avalanche deposit of Socoma volcano, northern Chile. *Geology* 13: 600-603.
- Froger, J.L.; Remy, D.; Bonvalot, S.; Legrand, D. 2007. Two scales of inflation at Lastarria-Cordón del Azufre volcanic complex, central Andes, revealed from ASAR-ENVISAT interferometric data. *Earth and Planetary Science Letters* 255 (1-2): 148-163.
- García, M.; Gardeweg, M.; Clavero, J.; Hérail, G. 2004. Mapa Geológico de la Hoja Arica, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 84: 150 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- García, M.; Clavero, J.; Gardeweg, M. 2012. Cartas Visviri y Villa Industrial. Región de Arica y Parinacota. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 135-136: 42 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Gardeweg, M.C.; Amigo, Á. 2012. Peligros del Volcán Láscar, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, 1 mapa escala 1:50.000.
- Gardeweg, M.C.; Ramírez, C.F. 1985. Volcanismo Cenozoico Superior del norte de Chile: Características, edades y distribución. *Comunicaciones* 35: 93-96.
- Gardeweg, M.C.; Medina, E. 1994. La erupción subpliniana del 19-20 Abril de 1993 del Volcán Láscar, Norte de Chile. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas 1: 299-304. Concepción.
- Gardeweg, M.C.; Cornejo, P.; Davidson, J. 1984. Geología del Volcán Lullailaco, Altiplano de Antofagasta, Chile (Andes Centrales). *Revista Geológica de Chile* 23: 21-37.
- Gardeweg, M.C.; Fuentealba, G.; Murillo, M.; Petit-Breuilh, M.E.; Espinoza, A.; Moreno, M.; Sparks, R.S.J.; Matthews, S.J. 1994. Volcán Láscar: Geología y Evaluación del Riesgo Volcánico-Altiplano II Región. Informe Registrado IR-1994-3, Servicio Nacional de Geología y Minería: 169 p. (*)
- Gardeweg, M.C.; Mpodozis, C.; Clavero, J.; Cuitiño, L. 1997. Mapa Geológico de la Hoja Nevado Ojos del Salado, versión preliminar. Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:100.000. (*)
- Gardeweg, M.C.; Sparks, R.S.J.; Matthews, S.J. 1998a. Evolution of Láscar Volcano, Northern Chile. *Journal of the Geological Society of London* 155: 89-104.
- Gardeweg, M.C.; Mpodozis, C.; Clavero, J.E. 1998b. The Ojos del Salado complex: the highest active volcano of the world, Central Andes. *Proceedings IAVCEI. In abstracts on Magmatic Diversity, Volcanoes and their roots*: 21 p.
- Gardeweg, M.C.; Clavero, J.; Mpodozis, C.; Villeneuve, M.; Pérez de Arce, C. 1999. Volcanismo Cuaternario en la región sur de la Zona Volcánica de los Andes Centrales (26° y 28°S): Geocronología K-Ar y ³⁹Ar/⁴⁰Ar e implicancias regionales. *In* Congreso Geológico Argentino, No. 14, Proceedings Actas 1: 96 p. Salta.
- Gardeweg, M.C.; Clavero, J.; Mpodozis, C.; Pérez de Arce, C.; Villeneuve, M. 2000. El Macizo Tres Cruces: un complejo volcánico longevo y potencialmente activo en la alta cordillera de Copiapó, Chile. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 9, Actas 2: 291-295. Puerto Varas.

- Gardeweg, M.C.; Amigo, A.; Matthews, S.J.; Sparks, R.S.J.; Clavero, J. 2011. Geología del volcán Láscar, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 131: 43 p., 1 mapa escala 1:50.000.
- Garreaud, R.D. 2009. The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences* 7:1-9.
- Global Volcanism Program (GVP). 1990a. Olca-Paruma: Fumarolic activity and minor seismicity. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 15 (03). <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-05=&volpage=var> (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1990b. Pular: Ash emission. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 15 (06). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-107&volpage=var#bgvn_1506 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1991a. Guallatiri: Strong fumarolic activity. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 16 (05). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-02=&volpage=var#bgvn_1605 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1991b. Púlar: April eruption reports probably false. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 16 (01). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-107&volpage=var#bgvn_1601 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1993a. Láscar: Eruption sends ash above 25 km altitude; pyroclastic flows travel 7.5 km. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 18 (04). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-10=&volpage=var#bgvn_1804 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1993b. Nevado Ojos del Salado: Intermittent vapor-and-gas column observed for 3 hours. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 18 (11). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-13=&volpage=var#bgvn_1811 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 1997. Irruputuncu: Minor, late-1995 eruption; the first unambiguous modern report. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 22 (01). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-04=&volpage=var#bgvn_2201 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 2002. Chilikues: Signs of awakening despite recent dormancy. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 27 (06). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-098&volpage=var#bgvn_2706 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 2005. Láscar: 4 may 2005 eruption sends ash over 1.000 km SE, ¼ of the way to Buenos Aires. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 30 (04). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-10=&volpage=var#bgvn_3004 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 2006. Láscar: Five-day eruption sequence in April 2006; plume seen 220 km away. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 31 (04). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-10=&volpage=var#bgvn_3104 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 2007a. Láscar: Occasional aviation reports of ash plumes during November 2006 - July 2007. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 32 (09). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-10=&volpage=var#bgvn_3209 (consultado el 01/12/2012).
- Global Volcanism Program (GVP). 2007b. Lastarria: Intense fumarolic emissions typical of activity since at least 1940. *Bulletin of the Global Volcanism Network*. Informe (Inédito), 32 (02). http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-12=&volpage=var#bgvn_3202 (consultado el 01/12/2012).
- Godoy, B.; Aguilera, F.; Ahumada, S.; Mercado, J.L.; Medina, E. 2008. The debris-avalanche deposit (DAD) of Aguilucho - Apacheta Volcanic Complex, Northern Chile. *In* 4th Alexander von Humboldt International Conference, No. 4: The Andes: Challenge for Geosciences, Actas: 82p. Santiago, Chile.
- González-Ferrán, O. 1995. *Volcanes de Chile*. Instituto Geográfico Militar: 640 p. Santiago.
- Grosjean, M.; Cartajena, I.; Geyh, M.A.; Núñez, L. 2003. From Proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 247-258.
- Hantke, G. 1939. Übersicht über die vulkanische tätigkeit vom April bis dezember 1938. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gessellschaft* 91: 757-765.
- Harmon, R.S.; Barreiro, B.A.; Moorbath, S.; Hoefs, J.; Francis, P.W.; Thorpe, R.S.; Déruelle, B.; McHugh, J.; Viglino, J.A. 1984. Regional O-, Sr- and Pb-isotope relationships in late Cenozoic calc-alkaline lavas of the Andean Cordillera. *Journal of the Geological Society of London* 141: 803-822.
- Henderson, S.T.; Pritchard, M.E.; Jay, J.A.; Welch, M.; Mares, P.J.; Mnich, M.E.; Melkonian, A.K.; Aguilera, F.; Naranjo, J.A.; Clavero, J.; Minaya, E.; Sunagua, M.; Glass, B.; Barrientos, S. 2012. Searching for activity in the Andean Central Volcanic Zone: Thermal Anomalies, Seismicity and Deformation over a timespan of 1-20 years. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 13, Actas: 588-590. Antofagasta.
- Hora, J.M.; Singer, B.S.; Wörner, G. 2007. Volcano evolution and eruptive flux on the thick crust of the Andean Central Volcanic Zone: ⁴⁰Ar/³⁹Ar constraints from Volcán Parínacota, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 119: 343-362.

- Isacks, B.L. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research* 93: 3211-3231.
- Janjai, S.; Deeyai, P. 2009. Comparison of methods for generating typical meteorological year using meteorological data from a tropical environment. *Applied Energy* 86: 528-537.
- James, D.E.; Sacks, S. 1999. Cenozoic formation of the Central Andes: A geophysical perspective. *In* *Geology and Mineral Deposits of Central Andes* (Skinner, B.; editor). Society of Economic Geology, Special Publication 7: 1-25. London.
- Jay, J.A.; Welch, M.; Pritchard, M.E.; Mares, P.J.; Mnich, M.E.; Melkonian, A.K.; Aguilera, F.; Naranjo, J.; Sunagua, M.; Clavero, J.E. En prensa. Volcanic hotspots of the Central and Southern Andes as seen from space by ASTER and MODVOLC between the years 2000-2011. Geological Society of London Special Publication.
- Kay, S.M.; Coira, B.L. 2009. Shallowing and steepening subduction zones, continental lithospheric loss, magmatism and crustal flow under the central Andean Altiplano-Puna plateau. *In* *Backbone of the Americas: Shallow subduction, plateau uplift and ridge and terrane collision* (Kay, S.M.; Ramos, V.A.; Dickinson, W.R.; editors). Geological Society of America Memoir 204: 229-259.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang, S.K.; Hnilo, J.J.; Fiorino, M.; Potter, G.L. 2002. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society* 83 (11): 1631-1643.
- Karátson, D.; Telbisz, T.; Wörner, G. 2012. Erosion rates and erosion patterns of Neogene to Quaternary stratovolcanoes in the Western Cordillera of the Central Andes: An SRTM DEM based analysis. *Geomorphology* 139-140: 122-135.
- Klemetti, E.W.; Grunder, A.L. 2008. Volcanic Evolution of Volcán Aucanquilcha: a long-lived dacite volcano in the Central Andes of Northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 70 (5): 633-650.
- Lahsen, A. 1982. Upper cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of northern Chile. *Earth-Science Reviews* 18: 285-302.
- Lahsen, A.; Munizaga, F. 1983. *Geología de los cuadrángulos Putana, Licancabur, Cerros de Guayaques y Ayquina: Hoja Calama*. Servicio Nacional de Geología y Minería-Universidad de Chile: 95 p., 1 cuadro, 9 figs., 1 tabla, Santiago.
- Lara, L.E.; Orozco, G.; Amigo, A.; Silva, C. 2011. Peligros Volcánicos de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 13: 34 p., 1 mapa escala 1:2.000.000. Santiago.
- Leach, J.W.P. 1986. Andean high altitude expedition. *Underwater Technology* 12 (1): 27-31.
- Malin, M.C.; Sheridan, M.F. 1982. Computed-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science* 217: 637-639.
- Marinovic, N.; Lahsen, A. 1984. Hoja Calama: Región de Antofagasta, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile 58: 140 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- Mastin, L.G.; Guffanti, M.; Servranckx, R.; Webley, P.; Barsotti, S.; Dean, K.; Durant, A.; Ewert, J.W.; Neri, A.; Rose, W.I.; Schneider, D.; Siebert, L.; Stunder, B.; Swanson, G.; Tupper, A.; Volentik, A.; Waythomas, C.F. 2009. A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186: 10-21.
- Matteini, M.; Mazzuoli, R.; Omarini, R.; Cas, R.; Maas, R. 2002a. The geochemical variations of the upper Cenozoic volcanism along the Calama-Olapato-El Toro transversal fault system in central Andes (24°S): petrogenetic and geodynamic implications. *Tectonophysics* 345: 211-227.
- Matteini, M.; Mazzuoli, R.; Omarini, R.; Cas, R.; Maas, R. 2002b. Geodynamical evolution of the central Andes at 24°S as inferred by magma composition along the Calama-Olapato-El Toro transversal volcanic belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 118: 225-228.
- Matthews, S.; Gardeweg, M.; Sparks, R. 1997. The 1984 to 1996 cycling activity of Láscar Volcano, northern Chile: cycles of dome growth, dome subsidence, degassing and explosive eruptions. *Bulletin of Volcanology* 59: 72-82.
- Naranjo, J.A. 1985. Sulphur flows at Lastarria volcano in the North north Chilean Andes. *Nature* 313: 778-780.
- Naranjo, J.A. 1986. *Geology and evolution of the Lastarria volcanic complex, north Chilean Andes*. M. Phil. Thesis (Unpublished), The Open University, Milton Keynes: 157 p. United Kingdom.
- Naranjo, J.A.; Francis, P.W. 1987. High velocity debris avalanche deposit at Lastarria volcano in the North Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 49: 509-514.
- Naranjo, J.A. 1992. Chemistry and petrological evolution of the Lastarria volcanic complex in the North Chilean Andes. *Geological Magazine* 129 (6): 723-740.
- Naranjo, J.A.; Cornejo, P. 1992. Hoja Salar de la Isla, escala: 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 72, 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- Naranjo, J.A.; Moreno, H.; Banks, N.G. 1993. La erupción del Volcán Hudson en 1991 (46°S), Región XI, Aysén, Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín* 44: 50 p. Santiago.
- Naranjo, J.A. 2010. *Geología del Complejo Volcánico Lastarria, Región de Antofagasta*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 123: 33 p., 1 mapa escala 1:25.000. Santiago.
- Newhall, C.G.; Self, S. 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research* 87: 1231-1238.

- O'Callaghan, L.J.; Francis, P.W. 1986. Volcanological and petrological evolution of San Pedro volcano, Provincia El Loa, North Chile. *Journal of the Geological Society of London* 143: 275-286.
- Ogg, J.G.; Ogg, G.; Gradstein, F.M. 2008. *The concise geologic time scale*. Cambridge University Press, New York.
- Pardo-Casas, F.; Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since Late Cretaceous times. *Tectonics* 6: 233-248.
- Payne, D. 1998. Climatic implications of rock glaciers in the arid Western Cordillera of the Central Andes. *Glacial Geology and Geomorphology*, rp03/1998: 11 p. <http://ggg.qub.ac.uk/ggg/papers/full/1998/rp031998/rp03.htm> (consultado el 01/12/2012).
- Petit-Breuilh, M.E. 2004. *La historia eruptiva de los volcanes hispanoamericanos (Siglos XVI al XX)*. Servicio de Publicaciones del Exmo. Cabildo Insular de Lanzarote-Casa de los volcanes: 431 p.
- Petrinovic, I.A.; Riller, U.; Brod, A.; Alvarado, G.; Armosio, J.M. 2006. Bimodal volcanism in a tectonic transfer zone: Evidence for tectonically controlled magmatism in the southern Central Andes, NW Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 152: 240-252.
- Pieri, D.; Abrams, M. 2004. ASTER watches the world's volcanoes: a new paradigm for volcanological observations from orbit. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 135 (1-2): 13-28.
- Pilger, R.H., Jr. 1984. Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes. *Journal of the Geological Society of London* 141: 793-802.
- Pritchard, M.E.; Simons, M. 2002. A satellite geodetic survey of large-scale deformation of volcanic centres in the central Andes. *Nature* 418 (6894): 167-171.
- Ramírez, C.F.; Gardeweg, M. 1982. *Geología de la Hoja Toconao, Región de Antofagasta, escala 1:250.000*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile 54: 122, 1 mapa. Santiago.
- Ramírez, C.F. 1988a. Evidencias de glaciación en el macizo de los volcanes Púlar y Pajonales, Región de Antofagasta. *In Congreso Geológico Chileno, No. 5, actas 2: D143-D157*. Santiago.
- Ramírez, C.F. 1988b. *The Geology of Socompa volcano and its debris avalanche deposit, northern Chile*. MPhil Thesis (Unpublished), Open University, Milton Keynes: 232 p. United Kingdom.
- Richards, J.P.; Villeneuve, M. 2001. The Lullaillaco volcano, northwest Argentina: construction by Pleistocene volcanism and destruction by edifice collapse. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 105: 77-105.
- Richards, J.P.; Villeneuve, M. 2002. Characteristics of the late Cenozoic volcanism along the Archibarca lineament from Cerro Lullaillaco to Corrida de Cori, northwest Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 116: 161-200.
- Ruch, J.; Walter, T.R. 2010. Relationship between the InSAR-measured uplift, the structural framework, and the present-day stress field at Lazufre volcanic area, central Central Andes. *Tectonophysics* 492: 133-140.
- Ruch, J.; Anderssohn, J.; Walter, T.R.; Motagh, M. 2008. Caldera-scale inflation of the Lazufre volcanic area, South America: evidence from InSAR. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 174 (4): 337-344.
- Ruch, J.; Manconi, A.; Zeni, G.; Solaro, G.; Pepe, A.; Shirzaei, M.; Walter, T.R.; Lanari, R. 2009. Stress transfer in the Lazufre volcanic area, central Andes. *Geophysical Research Letters* 36 (L22303): 6 p.
- Rudolph, W.E. 1955. Licancabur: Mountain of the Atacameños. *Geographical Review* 45: 151-171.
- Sáez, A.; Valero-Garcés, B.L.; Moreno, A.; Bao, R.; Pueyo, J.J.; González-Sampériz, P.; Giral, S.; Taberner, C.; Herrera, C.; Gibert, R.O. 2007. Lacustrine sedimentation in active volcanic settings: the Late Quaternary depositional evolution of Lake Chungará (northern Chile). *Sedimentology* 54 (5): 1191-1222.
- Salisbury, M.J.; Jicha, B.R.; de Silva, S.L.; Singer, B.S.; Jiménez, N.C.; Ort, M.H. 2011. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronostratigraphy of Altiplano-Puna volcanic complex ignimbrites reveals the development of major magmatic province. *Geological Society of America Bulletin* 123: 821-840.
- Sapper, K. 1917. *Katalog der geschichtlichen Vulkanausbrüche*. Strassburg: 284-295.
- Scaini, C.; Folch, A.; Navarro, M. 2012. Tephra hazard assessment at Concepción volcano, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 219-220: 41-51.
- Scasso, R.A.; Corbella, H.; Tiberi, P. 1994. Sedimentological analysis of the tephra from the 12-15 August 1991 eruption of Hudson volcano. *Bulletin of Volcanology* 56: 121-132.
- Scheuber, E.; Reutter, K.J. 1992. Magmatic arc tectonic in the central Andes between 21° and 25°S. *Tectonophysics* 205: 127-140.
- Sheridan, M.F.; Malin, M.C. 1983. Application of computer-assisted mapping to volcanic hazard evaluation of surge eruptions: Vulcano, Lipari, Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 17: 187-202.
- Siebert, L.; Simkin, T.; Kimberly, P. 2010. *Volcanoes of the World, 3rd Edition*. University of California Press, Berkeley: 558 p.
- Soler, V.; Amigo, A. 2012. *Nota informativa sobre la actividad microsísmica del volcán Putana. Andes centrales del norte de Chile. Período Septiembre 2009-Febrero 2011*. (Inédito), Ministerio de Ciencia e Innovación: 16 p. España.
- Somoza, R. 1998. Updated Nazca (Farallon)-South America relative motion during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean regime. *Journal of South American Earth Sciences* 11: 211-215.

- Stern, C.R. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile* 31 (2): 161-206.
- Stern, R.S.; Moreno, H.; López-Escobar, L.; Clavero, J.; Lara, L.; Naranjo, J.A.; Parada, M.A.; Skewes, M.A. 2007. Chilean volcanoes. In *Geology of Chile* (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors.). The Geological Society of London: 147-178.
- Tassi, F.; Aguilera, F.; Vaselli, O.; Medina, E.; Tedesco, D.; Delgado-Huertas, A.; Poreda, R.; Kojima, S. 2009. The magmatic- and hydrothermal-dominated fumarolic system at the Active Crater of Láscar volcano, northern Chile. *Bulletin of Volcanology* 71: 171-183.
- Tassi, F.; Aguilera, F.; Vaselli, O.; Darrah, T.; Vaselli, O.; Capaccioni, B.; Poreda, R.J.; Delgado-Huertas, A. 2010. Fluid geochemistry of hydrothermal systems in the Arica-Parinacota, Tarapacá and Antofagasta regions (northern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 192 (1-2): 1-15.
- Tassi, F.; Aguilera, F.; Vaselli, O.; Darrah, T.; Medina, E. 2011. Gas discharges from four remote volcanoes (Putana, Olca, Irruputuncu and Alftár) in northern Chile: a geochemical and isotopic survey. *Annals of Geophysics* 54 (2): doi: 10.4401/ag-5173
- Tibaldi, A.; Bistacchi, A.; Pasquare, F.A.; Vezzoli, L. 2006. Extensional tectonics and volcano lateral collapses: insights from Ollagüe volcano (Chile-Bolivia) and analogue modeling. *Terra Nova* 18 (4): 282-289.
- Urzúa, L.; Powell, T.; Cuming, W.B.; Dobson, P. 2002. Apacheta, a new geothermal prospect in Northern Chile. *Geothermal Resources Council* 26: 10 p. Reno, Nevada.
- van Wyk de Vries, B.; Self, S.; Francis, P.W.; Keszthelyi, L. 2001. A gravitational spreading origin for the Socompa debris avalanche. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 105: 225-247.
- Vezzoli, L.; Tibaldi, A.; Renzulli, A.; Menna, M.; Flude, S. 2008. Faulting-assisted lateral collapses and influence on shallow magma feeding system at Ollagüe volcano (Central Volcanic Zone, Chile-Bolivia Andes). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 171 (1-2): 137-159.
- Viramonte, J.G.; Petrinovic, I.A. 1990. Calderas asociadas a megafacturas transcurrentes en los Andes Centrales del Sur. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 11, Actas 2: 369-372. San Juan.
- Wadge, G.; Francis, P.W.; Ramírez, C.F. 1995. The Socompa collapse and avalanche event. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 66: 309-336.
- Watts, R.B. 2002. The emplacement of crystal-rich intermediate lavas. Ph.D. thesis (Unpublished), School of Earth Sciences, University of Bristol: 192 p. United Kingdom.
- Wörner, G.; Hammerschmidt, K.; Henjes-Kunst, F.; Lezaun, J.; Wilke, H. 2000. Geochronology (Ar-Ar, K-Ar and He-exposure ages) of Cenozoic magmatic rocks from northern Chile (18-22°S): implications for magmatism and tectonic evolution of the central Andes. *Revista Geológica de Chile* 27 (2): 205-240.
- Yáñez, G.; Ranero, C.; von Huene, R.; Díaz, J. 2001. Magnetic anomaly interpretation across the southern Central Andes (32°-33.5°S): the role of the Juan Fernández ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research* 106: 6325-6345.

(*) Documento inédito disponible en la Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.

ANEXOS

Anexo I. Tabla 1. Escenarios eruptivos y parámetros de modelación.

Anexo II. Tabla 2. Observaciones de campo, edades radiométricas relevantes y últimos reportes históricos.

Anexo III. Tabla 3. Año meteorológico típico para distintas alturas atmosféricas.

Anexo IV. Glosario.

TABLA 1. ESCENARIOS ERUPTIVOS Y PARÁMETROS DE MODELACIÓN.

Ubicación	Peligros Volcánicos											
							Distales		Proximales			
							Caída de piroclastos		Conos de energía			Parábolas
Volcán	Longitud °O	Latitud °S	Altura m s.n.m.	Diámetro basal (km)	Volumen (km ³)	Escenario eruptivo	H/L (Peligro Alto)	H/L (Peligro Medio)	H/L (Peligro Bajo)	Altura adicional h _c	P (Peligro Bajo)	
1 Tacora	69,773	17,721	5.980	14,4	38	S1	0,25	0,17	-	-	55	
2 Taapaca	69,508	18,112	5.861	15,1	73	S2	0,25	0,20	-	-	100	
3 Parinacota	69,143	18,163	6.350	14,6	44	S2	0,25	0,20	-	200	55	
4 Guallatiri	69,090	18,423	6.060	19,3	86	S3	0,20	0,16	0,13	-	-	
5 Arintica	69,048	18,745	5.597	12,8	27	S1	0,25	0,20	0,15	-	-	
6 Isluga	68,820	19,155	5.530	16,3	61	S1	0,20	0,17	0,15	-	-	
7 Irruputuncu	68,560	20,732	5.165	7,4	12	S3	0,25	0,17	0,13	-	-	
8 Olca-Paruma	68,504	20,942	5.407	16,8	74	S1	0,17	0,15	0,12	-	-	
9 Aucanquilcha	68,469	21,221	6.176	21,7	175	S1	0,30	0,25	0,20	-	-	
10 Ollagüe	68,180	21,306	5.863	18,2	91	S2	0,27	0,20	0,14	-	-	
11 Apacheta-Aguilucho	68,203	21,829	5.846	12,9	67	S1	0,30	0,25	0,20	-	-	
12 San Pedro	68,392	21,888	6.145	20,9	141	S3	0,20	0,18	0,16	-	-	
13 Putana	67,853	22,557	5.890	13,2	53	S1	0,25	0,20	0,17	-	-	
14 Cordón Escalante-Sairecabur	67,891	22,719	5.970	25,6	150	S1	0,25	0,20	0,17	-	-	
15 Licancabur	67,884	22,834	5.916	10,6	44	S1	0,35	0,30	0,25	-	-	
16 Alítar	67,638	23,144	5.346	7,5	8	S1	0,25	0,20	0,17	-	-	
17 Colachi	67,646	23,241	5.631	9,8	17	S1	0,30	0,25	0,20	-	-	
18 Acamarachi	67,618	23,292	6.046	10,1	23	S1	0,35	0,30	0,25	-	-	
19 Lásçar	67,731	23,363	5.592	8,9	29	S3	0,25	0,18	-	200	70	
20 Chiliques	67,704	23,578	5.778	8,6	14	S1	0,40	0,30	0,25	-	-	
21 Miscanti	67,717	23,673	5.613	9,8	21	S1	0,40	0,30	0,20	-	-	
22 Cordón Puntas Negras	67,538	23,745	5.852	27,0	391	S1	0,25	0,16	-	-	40	
23 Miñiques	67,758	23,816	5.910	12,2	48	S1	0,30	0,23	0,20	-	-	
24 Caichínque	67,740	23,949	4.450	8,3	5	S1	0,17	0,12	0,10	-	-	
25 Púlar-Pajonales	68,066	24,200	6.233	23,0	245	S2	0,20	0,17	0,15	-	-	
26 Socompa	68,246	24,396	6.051	19,5	144	S3	0,27	0,17	-	-	85	
27 Llullaillaco	68,537	24,719	6.723	20,4	111	S2	0,30	0,22	-	-	105	
28 Escorial	68,366	25,082	5.447	8,3	6	S1	0,16	0,14	0,12	-	-	
29 Lastarria	68,508	25,168	5.700	14,1	75	S3	0,20	0,16	-	-	45	
30 Cordón del Azufre	68,522	25,336	5.480	13,3	46	S1	0,18	0,15	0,13	-	-	
31 Nevado de Incahuasi	68,296	27,033	6.621	21,0	93	S1	0,30	0,25	0,20	-	-	
32 Nevado Tres Cruces	68,778	27,098	6.748	14,6	227	S3	0,35	0,22	0,17	-	-	
33 Ojos del Salado	68,541	27,110	6.887	18,3	107	S2	0,24	0,20	0,16	-	-	

Se indica razón H/L para superficies cónicas, y parámetro P para superficies parabólicas, según metodología empleada.

S1: Erupción explosiva menor (IEV 2-3). Altura de columna eruptiva 10 km s.n.m. y masa emitida 5×10^{10} kg (similar a la erupción de julio de 2000 en el volcán Lásçar; Aguilera *et al.*, 2003); **S2:** Erupción subpliniana (IEV 3-4). Altura de columna eruptiva 15 km s.n.m. y masa emitida 5×10^{11} kg (basada en la erupción del volcán Lásçar de 1993; Gardeweg y Medina, 1994; Déruelle *et al.*, 1996); **S3:** Erupción pliniana (IEV 4-5). Altura de columna eruptiva 20 km s.n.m. y masa emitida 5×10^{12} kg (basada en la erupción del volcán Hudson de 1991; Naranjo *et al.*, 1993; Scasso *et al.*, 1994).

TABLA 2. OBSERVACIONES DE CAMPO, EDADES RADIOMÉTRICAS RELEVANTES Y ÚLTIMOS REPORTES HISTÓRICOS.

Volcán	Depósitos				Lavas	Otros		Última erupción histórica	Evento eruptivo datado más reciente	Referencias
	Corrientes piroclásticas	Lahares	Avalancha de detritos	Caída	Posglaciales	Centros adventicios	Fumarolas			
1 Tacora	observado	observado	observado	n/o	n/o	n/o	observado	1950 (1)	50 ka (†)	Clavero <i>et al.</i> (2006b)
2 Taapaca	observado	observado	observado	n/o	observado	n/o	n/o	s/i	2270±60 AP (‡)	Clavero <i>et al.</i> (2004a)
3 Parinacota	observado	observado	observado	observado	observado	observado	n/o	s/i	<150 AP (‡)	Clavero <i>et al.</i> (2004b)
4 Guallatiri	observado	observado	n/o	observado	observado	n/o	observado	1960-1985 (?) (2)	5,1±3,0 ka (†)	Watts (2002)
5 Arintica	n/o	n/o	n/o	n/o	n/o	n/o	n/o	s/i	637±19 ka (•)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
6 Isluga	observado	n/o	n/o	observado	n/o	n/o	observado	1913-1960 (?) (2)	96±6 ka (•)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
7 Irruputuncu	observado	n/o	observado	observado	observado	n/o	observado	1995 (2)	1570±90 AP (‡)	Stem <i>et al.</i> (2007)
8 Olca-Paruma	n/o	n/o	n/o	n/o	observado	n/o	observado	1867 (2)	80±40 ka (•)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
9 Aucanquilcha	observado	n/o	observado	n/o	n/o	n/o	observado	s/i	450±70 ka (†)	Klemetti y Grunder (2008)
10 Ollagüe	observado	n/o	observado	observado	observado	observado	observado	1927 (1)	130±40 ka (•)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
11 Apacheta-Aguilucho	observado	s/i	observado	s/i	s/i	observado	observado	s/i	50±10 ka (•)	Urzúa <i>et al.</i> (2002)
12 San Pedro	observado	n/o	observado	observado	observado	observado	observado	1960 (2)	103±1,1 ka (Ω)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
13 Putana	observado	n/o	n/o	n/o	observado	observado	observado	1810-1972 (?) (2)	s/i	s/i
14 Cordón Escalante-Sairecabur	n/o	n/o	observado	n/o	observado	n/o	n/o	s/i	<1 Ma (•)	Marinovic y Lahsen (1984)
15 Licancabur	observado	observado	n/o	n/o	observado	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
16 Alítar	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	observado	observado	s/i	s/i	s/i
17 Colachi	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
18 Acamarachi	n/o	n/o	n/o	n/o	observado	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
19 Láscar	observado	observado	n/o	observado	observado	n/o	observado	2007 (2)	7,17±1,25 ka (Ω)	Wörner <i>et al.</i> (2000)
20 Chilikues	n/o	n/o	n/o	n/o	observado	observado	n/o	s/i	s/i	s/i
21 Miscanti	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
22 Cordón Puntas Negras	observado	n/o	n/o	n/o	observado	observado	n/o	s/i	s/i	s/i
23 Miñiques	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
24 Caichinque	s/i	s/i	s/i	s/i	observado	n/o	n/o	s/i	s/i	s/i
25 Púlar-Pajonales	n/o	n/o	n/o	n/o	observado	n/o	n/o	1990 (?) (2)	1,8 Ma (•)	Ramírez (1988a)
26 Socompa	observado	n/o	observado	observado	observado	n/o	n/o	s/i	7222±100 AP (‡)	Ramírez (1988b)
27 Lullllaico	s/i	s/i	observado	s/i	observado	n/o	n/o	1960 (1)	48±12 ka (†)	Richards y Villeneuve (2001)
28 Escorial	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	n/o	n/o	s/i	342±25 ka (†)	Richards y Villeneuve (2002)
29 Lastarria	observado	s/i	observado	observado	observado	n/o	observado	s/i	2460±40 AP (‡)	Naranjo (2010)
30 Cordón del Azufre	s/i	s/i	s/i	observado	observado	n/o	n/o	s/i	<600 ka (•)	Naranjo y Comejo (1992)
31 Nevado de Incahuasi	s/i	s/i	s/i	s/i	observado	observado	n/o	s/i	710±80 ka (•)	Baker <i>et al.</i> (1987)
32 Nevado Tres Cruces	observado	s/i	s/i	observado	observado	n/o	n/o	s/i	28±11 ka (†)	Gardeweg <i>et al.</i> (2000)
33 Ojos del Salado	s/i	s/i	s/i	s/i	observado	n/o	observado	1993 (?) (2)	35 ka (†)	Gardeweg <i>et al.</i> (1997)

(†): ⁴⁰Ar/³⁹Ar; (‡): ¹⁴C; (•): K-Ar; (Ω): ³He; (1): Petit-Breuilh, 2004; (2) Global Volcanism Program; n/o: no observado; s/i: sin información.

ANEXO III

TABLA 3. AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO PARA DISTINTAS ALTURAS ATMOSFÉRICAS.

Mes	15 km s.n.m. (S1)	20 km s.n.m. (S2)	25 km s.n.m. (S3)
Enero	1995	1999	1999
Febrero	1992	2000	1995
Marzo	2003	2000	2000
Abril	2006	2004	1999
Mayo	2005	2005	2003
Junio	1999	2000	1998
Julio	2001	2005	2005
Agosto	2000	2002	2000
Septiembre	2000	2000	2003
Octubre	1998	1999	1991
Noviembre	1995	1998	2000
Diciembre	1999	2004	2005

Niveles de altura representativos de los escenarios eruptivos considerados. Los parámetros referenciales corresponden a velocidad y dirección del viento. Datos originales obtenidos del proyecto Reanálisis II (Kanamitsu *et al.*, 2002) entre 1990 y 2010, centrado en latitud 22,5°S y longitud 67,5°O.

GLOSARIO

AP: Años antes del Presente (Presente = 1950 d.C.)

Actividad fumarólica: Actividad volcánica caracterizada por la emanación de vapor de agua y gases desde cráteres y/o flancos de un volcán. Las fumarolas descargan a la atmósfera compuestos químicos, tales como H₂O, CO₂, SO₂, H₂S, HCl, HF. Dependiendo de su concentración, algunos de estos compuestos pueden alcanzar niveles tóxicos.

Amenaza ('Threat', ingl.): Combinación de factores asociados con el peligro intrínseco que representa cada volcán ('hazard') y la exposición (vulnerabilidad) del territorio potencialmente afectado. En algunos países sudamericanos, la palabra 'amenaza' se utiliza como sinónimo de 'peligro'.

Avalancha de detritos: Flujo de detritos volcánicos, formado por el colapso parcial o total de un edificio volcánico. Se desplaza por las laderas de un volcán a velocidades que pueden alcanzar varios cientos de kilómetros por hora y arrastra bloques de hasta varias toneladas y de varias decenas de metros de diámetro.

Caída de piroclastos: Lluvia de piroclastos sobre la superficie desde columnas eruptivas y penachos volcánicos. El depósito resultante puede provocar caída de techos y daños severos a la flora y fauna en localidades cercanas, así como efectos en la agricultura y aeronavegación en zonas alejadas. La ceniza más fina puede ascender a las capas superiores de la atmósfera y ser transportada miles de kilómetros. En el caso de grandes erupciones explosivas, puede eventualmente producirse enfriamiento de la superficie terrestre (por la interacción de aerosoles volcánicos y radiación solar) y forzar cambios en el sistema climático.

Caldera: Depresión volcánica más o menos circular o elongada de diámetro mucho mayor que los cráteres, formada por el colapso vertical en un estratovolcán o complejo volcánico, durante una erupción de gran magnitud.

Centro adventicio, centro parásito: Centro de emisión de piroclastos y/o lava ubicado en el flanco de un volcán. Suele compartir la misma fuente alimentadora de magma que el volcán.

Colada o flujo de lava: Material incandescente, de alta temperatura (700-1.200°C), que se forma cuando el magma sale a la superficie de forma tranquila y pasiva (no explosiva), fluye por gravedad y forma flujos fluidos a viscosos que escurren a velocidades entre 1 km/día a 10 km/h.

Columna eruptiva, penacho volcánico: Mezcla de piroclastos y gases de alta temperatura, formada durante erupciones explosivas, que asciende sobre el cráter y se eyecta a la atmósfera hasta alcanzar un nivel de equilibrio. Puede ser dispersada lateralmente según la dirección de los vientos predominantes en el nivel de equilibrio de la columna y por difusión atmosférica, formando un penacho volcánico.

Complejo volcánico: Conjunto de centros de emisión formados por diferentes estructuras volcánicas yuxtapuestas, que comparten un sistema alimentador y que pueden considerarse genéticamente relacionados.

Composición magmática: Es la composición química de un magma. Una escala ampliamente usada se basa en los contenidos de sílice y álcalis, y se definen composiciones basálticas, andesíticas, dacíticas y riolíticas.

Cono de piroclastos: Pequeño volcán generalmente monogenético construido típicamente durante erupciones estrombolianas subaéreas. Suelen tener sección aproximadamente circular en planta, pendientes fuertes (aprox. 33°) y un cráter central con forma de bol o cuenco. Un **cono de escorias** es un cono de piroclastos, formado principalmente por piroclastos porosos grises a oscuros de composición basáltica o andesítico-basáltica.

Cordón: Complejo volcánico elongado caracterizado por una migración de la actividad eruptiva, usualmente a largo de un lineamiento estructural.

Corriente piroclástica: Flujo de gases y partículas afectados por la gravedad, originados durante erupciones volcánicas. Engloban como miembros extremos a los flujos y oleadas piroclásticas.

'Coulées': Coladas domo, de composición típicamente dacítica a riolítica.

Cráter: Depresión, abertura u orificio, usualmente circular, por donde son emitidos los piroclastos, gases y/o lava durante una erupción volcánica.

Cráter de impacto: Depresión topográfica resultante de la caída a la superficie de un proyectil volcánico expulsado de manera balística desde el centro emisor.

Depósito piroclástico: Acumulación de piroclastos sobre la superficie terrestre.

Domo: Estructura volcánica originada a partir de un magma muy viscoso que prácticamente no fluye cuando alcanza la superficie. Puede llegar a tener varios cientos de metros de altura y algunos kilómetros de diámetro basal. Durante su emplazamiento se caracterizan por ser cuerpos inestables, con frecuentes colapsos parciales.

Erupción efusiva: Actividad volcánica de baja explosividad, dominada por emisión de lavas, domos y/o lavas-domo.

Erupción explosiva: Actividad volcánica dominada por la expulsión violenta de material piroclástico y gases.

Erupción estromboliana: Erupción levemente explosiva de magmas de composición basáltica o similar, durante la cual es eyectada abundante escoria la que se acumula alrededor del centro de emisión y suele formar un cono de escorias. Estas erupciones están a menudo acompañadas de la efusión simultánea de lava. Los conductos de salida pueden ser fisuras o conductos simples.

Explosión lateral ('blast'): Explosión dirigida generalmente hacia un flanco del volcán, generada por una sobrepresión inducida por un magma viscoso, rico en gases, cuando se acerca a la superficie. Como resultado se genera una nube piroclástica diluida (oleada) que se transporta a grandes velocidades y generalmente a altas temperaturas, y traslada fragmentos de tamaño variable, desde ceniza hasta bloques de varios metros de diámetro.

Erupción subpliniana: Erupción volcánica explosiva moderada a grande (magnitud aproximada entre 10^{10} y 10^{11} kg), caracterizada por la formación de una columna eruptiva convectiva igual o menor a 20 km de altura que eyecta piroclastos a la atmósfera que se dispersan por los vientos, formando depósitos de caída en áreas ubicadas a cientos de kilómetros del volcán.

Erupción pliniana: Erupción explosiva mayor, usualmente caracterizada por magmas de alta viscosidad (por lo general andesíticos a riolíticos, o fonolíticos y traquíticos), con columnas eruptivas altas (>20 km) y la eyección de importantes volúmenes de pómez y ceniza que forman extensos depósitos de caída. Estas erupciones son capaces de afectar áreas ubicadas a cientos y miles de kilómetros del volcán.

Erupción vulcaniana: Erupción explosiva violenta y breve (segundos a pocos minutos) y de pequeña magnitud (típicamente menor a 10^{10} kg). Generalmente se presentan como una serie de explosiones discretas de corta duración.

Erupción volcánica: Emisión de material volcánico (lava, piroclastos) por un cráter o fisura. La emisión puede ser tranquila (efusiva) o violenta (explosiva), dependiendo de diversos factores como composición del magma, contenido de gases, tasa de emisión (volumen de magma por unidad de tiempo), interacción con cuerpos de agua, entre otros.

Escoria: Piroclasto usualmente de color oscuro, que se forma durante erupciones explosivas, por la fragmentación de un magma con pobre a intermedia composición de sílice.

Escoriáceo: Que contiene escoria.

Estratocono: Edificio volcánico construido por erupciones sucesivas de lavas y depósitos piroclásticos.

Estratovolcán: Edificio volcánico mayor, formado por una alternancia de lavas y depósitos piroclásticos emitidos durante erupciones sucesivas.

Estratovolcán compuesto: Está formado desde dos o más centros de emisión principales.

Félsico: Término que describe las rocas ígneas que presentan un alto contenido de minerales de colores claros (cuarzo, feldespatos).

Flujo de detritos: Ver lahar.

Flujo hiperconcentrado: Ver lahar.

Flujo de bloque y ceniza: Ver flujo piroclástico.

Flujo piroclástico: Nube o corriente densa formada por piroclastos (de tamaño variable, de milímetros a varios metros) y gases, que se desplaza por gravedad por las laderas de un volcán principalmente a lo

largo de depresiones. Se caracteriza por su alta temperatura (decenas a centenas de °C) y alta velocidad (100-500 km/h), y es altamente destructiva. La mayoría se origina por el colapso de una columna eruptiva explosiva, densa y cargada de partículas incandescentes, pero también por colapso y/o explosión de domos o lavas viscosas, los que se denominan flujos de bloques y ceniza.

Graben: Depresión geológica formada por un bloque hundido limitado por fallas normales.

Grupo volcánico: Está constituido por dos o más centros monogenéticos espacialmente asociados y geográficamente separados de los estratovolcanes vecinos.

Holoceno: Época geológica que se extiende entre los 11.700 años hasta la actualidad (Ogg *et al.*, 2008).

ka: 1.000 años.

Índice de Explosividad Volcánica (Volcanic Explosivity Index, VEI): Estimador de la magnitud de una erupción volcánica (*sensu* Newhall y Self, 1982) definido por factores tales como altura de la columna eruptiva y volumen emitido. Se estructura sobre la base de una escala empírica de 8 grados donde el volumen crece exponencialmente. Existen otros indicadores de la envergadura de una erupción volcánica como la magnitud, valor que es función de la masa emitida.

Lahar: Flujo constituido por una gran descarga de fragmentos volcánicos frescos, cuyo agente de transporte es el agua. Se puede formar por fusión repentina de hielo y/o nieve durante una erupción o por el arrastre de material no consolidado en las laderas de un volcán durante lluvias torrenciales. Se desplaza por los cauces que descienden de un edificio volcánico, a velocidades que pueden alcanzar los 80 km/h. Cuando el comportamiento del flujo es dominado por el agua, se denomina flujo hiperconcentrado; por otra parte, cuando el comportamiento del flujo es dominado por la carga de sedimentos, se denomina flujo de detritos. Depósito lahárico: Acumulación de material volcánico producida por un lahar.

Lava aa: Flujo lávico de lento avance, caracterizado por su superficie irregular.

Lava de bloques: Flujo de lava viscosa que consiste en un conjunto de bloques formados por el enfriamiento de la superficie debido al contacto con el aire.

Lava-domo: Lava viscosa de mayor movilidad que un domo.

‘Levéé’: Promontorio topográfico generado en los bordes laterales de un flujo, debido a una diferencia de velocidades entre la sección central y la sección lateral. Es común en los flujos lávicos y en los lahares.

Ma: 1.000.000 de años.

Maar: Cráter volcánico de bordes bajos, formado por erupción de agua subterránea que entró en contacto con material fundido.

Máfico: Término que describe las rocas ígneas que presentan un alto contenido de minerales ferromagnesianos (minerales ricos en Fe y Mg).

Magma: Roca fundida a alta temperatura (700-1.300°C) formada por una mezcla (con distintas proporciones) de líquidos, gases y cristales. Se genera a profundidades variables en la corteza o manto superior, y cuando alcanza la superficie forma diversos productos derivados de los procesos volcánicos.

Oleada piroclástica: Corriente diluida con alto contenido de gases, que se desplaza como una nube turbulenta a alta velocidad (100-400 km/h) y alta temperatura (decenas a centenas de °C), con la capacidad de sobrepasar barreras topográficas.

Peligro volcánico (‘Hazard’, ingl.): Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno volcánico de una intensidad dada, en un sector determinado, en un período de tiempo dado.

Piroclasto: Fragmento volcánico eyectado a la atmósfera de forma violenta durante una erupción explosiva. De acuerdo al tamaño, se clasifican en: **bloques o bombas** (>64 mm de diámetro; los bloques son angulosos y las bombas son esféricas o con forma aerodinámica), **lapilli** (entre 2 y 64 mm) y **ceniza** (menor a 2 mm). Debido a su pequeño diámetro y, por ende, a su escaso peso, las partículas de ceniza son fácilmente transportadas por el viento.

Piroclasto balístico: Piroclasto de caída que sigue la trayectoria de un proyectil.

Pleistoceno: Época geológica que se extiende entre los 2,588 millones de años y los 11.700 años (Ogg *et al.*, 2008).

‘Plateau’: Meseta topográfica.

Pómez: Piroclasto liviano, altamente poroso y usualmente de color claro, que se forma durante erupciones explosivas por la fragmentación de un magma viscoso de rica a intermedia composición de sílice.

Pumíceo: Que contiene pómez.

Razón de aspecto: Proporción entre la extensión y la altura de un determinado producto; se emplea de forma común para flujos lávicos.

Riesgo ('Risk', ingl.): Valor de las pérdidas asociadas a un proceso natural determinado y generalmente se conceptualiza como el producto del peligro y la vulnerabilidad.

Tefra: Término colectivo para todos los depósitos piroclásticos o como el término particular que describe los depósitos de caída de piroclastos no consolidados.

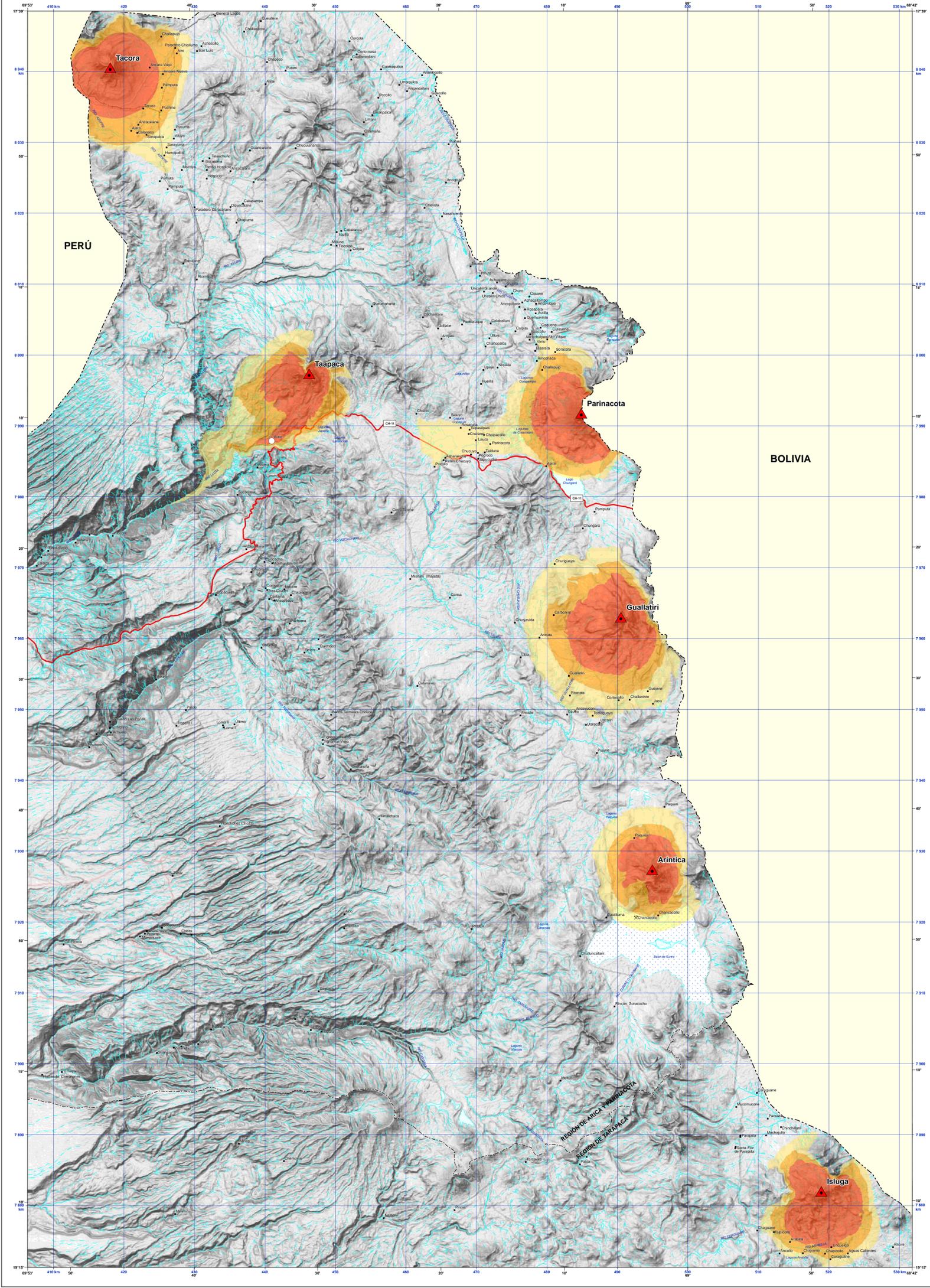
Volcán activo: Un volcán es geológicamente activo cuando ha tenido, al menos, una erupción en los últimos 11 mil años (Holoceno) o bien cuando, sin certeza de esto último, presenta signos cuantificables de actividad presente como desgasificación, sismicidad o deformación del terreno. Esta es la definición operativa adoptada por el Programa de Riesgo Volcánico y según ella, el territorio continental de Chile presenta 95 volcanes geológicamente activos. De estos, 33 se ubican en la Zona Volcánica Central de los Andes.

Volcán de escudo: Tipo de volcán de base amplia, circular a elíptica, y flancos de baja pendiente ($<10^\circ$), formado a partir de erupciones frecuentes de lavas fluidas desde conductos de salida centrales o en sus flancos.

Volcán monogenético: Volcán construido por los productos de una erupción o una fase eruptiva. Esta puede durar desde semanas hasta varios años, pero es esencialmente una erupción prolongada, que involucra un tipo de magma, y que suele ocurrir a través de un único conducto de salida a partir de un sistema de conductos de magma simple. Por lo general, estos centros corresponden a conos, anillos o depresiones de dimensiones pequeñas y pueden tener asociados flujos de lava.

Volcán poligenético: Volcán construido por los productos de muchas erupciones, separadas por períodos relativamente largos y que a menudo involucran diferentes tipos de magma. Estas erupciones suelen ocurrir a través de múltiples conductos de salida o centros eruptivos a partir de un sistema de conductos de magma complicado e intrincado, utilizados repetidas veces. Habitualmente, estos centros corresponden a volcanes de dimensiones importantes y de formas variables.

Vulnerabilidad ('Vulnerability'; 'Exposure', ingl.): Susceptibilidad de los elementos a ser dañados por un impacto.

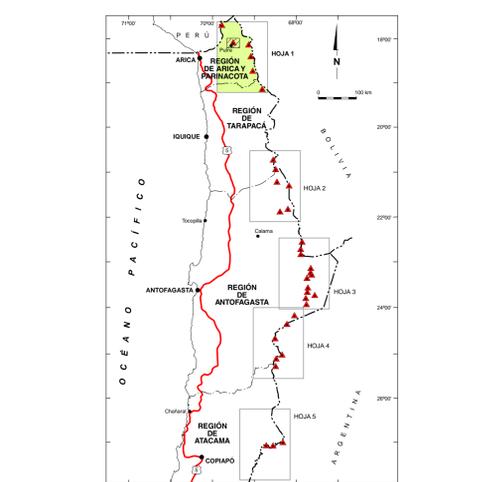


LEYENDA

- PROCESOS ERUPTIVOS EN ZONAS PROXIMALES**
- Alto Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, como flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, de forma independiente de la magnitud eruptiva. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de las emisiones de lava postglaciales, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico asociados a colapsos de columnas eruptivas (flujos de escorias o de pómez) y a colapsos de domos (flujos de bloques y ceniza), además de zonas proximales de flujos de detritos (lahares).
 - Moderado Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal, como corrientes piroclásticas, avalanchas de detritos volcánicos y flujos de detritos. En general, comprende zonas ubicadas en un radio menor a 5 km en torno a la base de los edificios volcánicos. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de emisiones de lavas postglaciales, los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujo de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas volcánicas y las zonas de inundación por flujos de detritos.
 - Bajo Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados casi exclusivamente de erupciones de magnitud alta en el edificio principal, tales como avalanchas de detritos volcánicos, corrientes piroclásticas mayores y facas distales de flujos de detritos. Incorpora regiones distantes hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos. Respecto al registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos.

- SIMBOLOGÍA**
- ▲ Volcán geológicamente activo
 - Capital provincial
 - ✕ Mina
 - Localidad
 - Ruta internacional pavimentada
 - Camino pavimentado
 - Camino estabilizado, sin pavimento
 - Línea férrea
 - - - Límite internacional
 - - - Límite regional
 - Quebrada seca o curso intermitente
 - Río
 - Lago, laguna, embalse
 - Salar

TRABAJOS ANTERIORES



Lara et al (2011), escala 1:2.000.000
 Clavero (2007), escala 1:50.000

Referencia bibliográfica
 Amigo, A., Bertin, D., Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 17: 45 p., 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

ISSN 0717-7305
 Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
 Director Nacional (S): Julio Poblete C.
 Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.

Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
 Jefa Comis. Editor: Renate Wall Z.
 Corres. Editor: Felipe Espinoza G., Anibal Gajardo C., Luis Lira P., Andrew Tomlinson.
 Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moyna Gardeweg P., José G. Viramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Sonya Amar N.
 Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (SIG): Paulina Gana F.

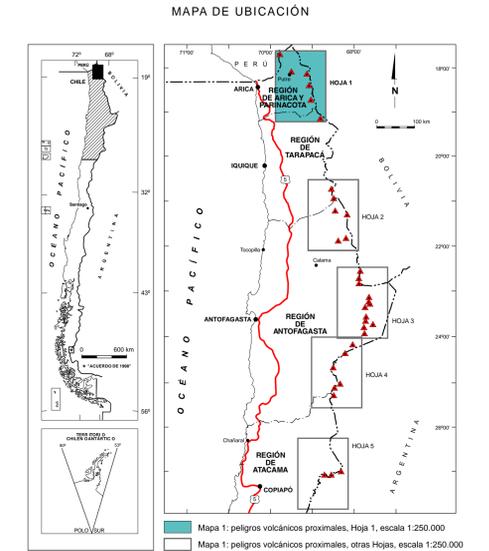
Basis Topográfica
 Cartas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificados; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

Referencia geodésica
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

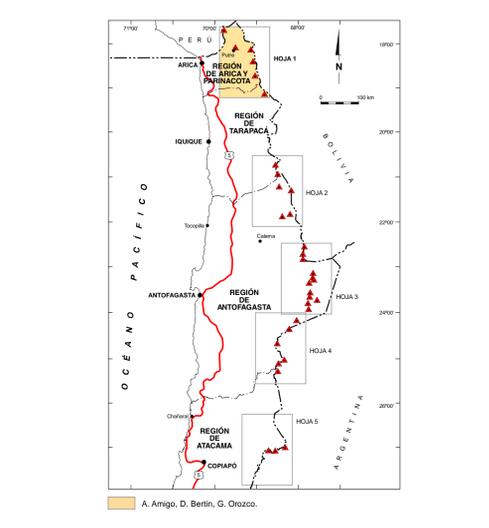
Apoyo científico y técnico
 Producción digital: Rodrigo Calderón B., Gabriel Orozco L., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
 Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Autorizada su circulación, en cuanto a los mapas y datos que contiene esta obra, referidos o relacionados con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Externa No. 560 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas o cartográficas que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No. 2, letra g) del DFL No. 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.



FUENTE DE LA INFORMACIÓN



ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1: Peligros volcánicos proximales

Hoja 1 de 5
 17° 39' - 19° 15' S

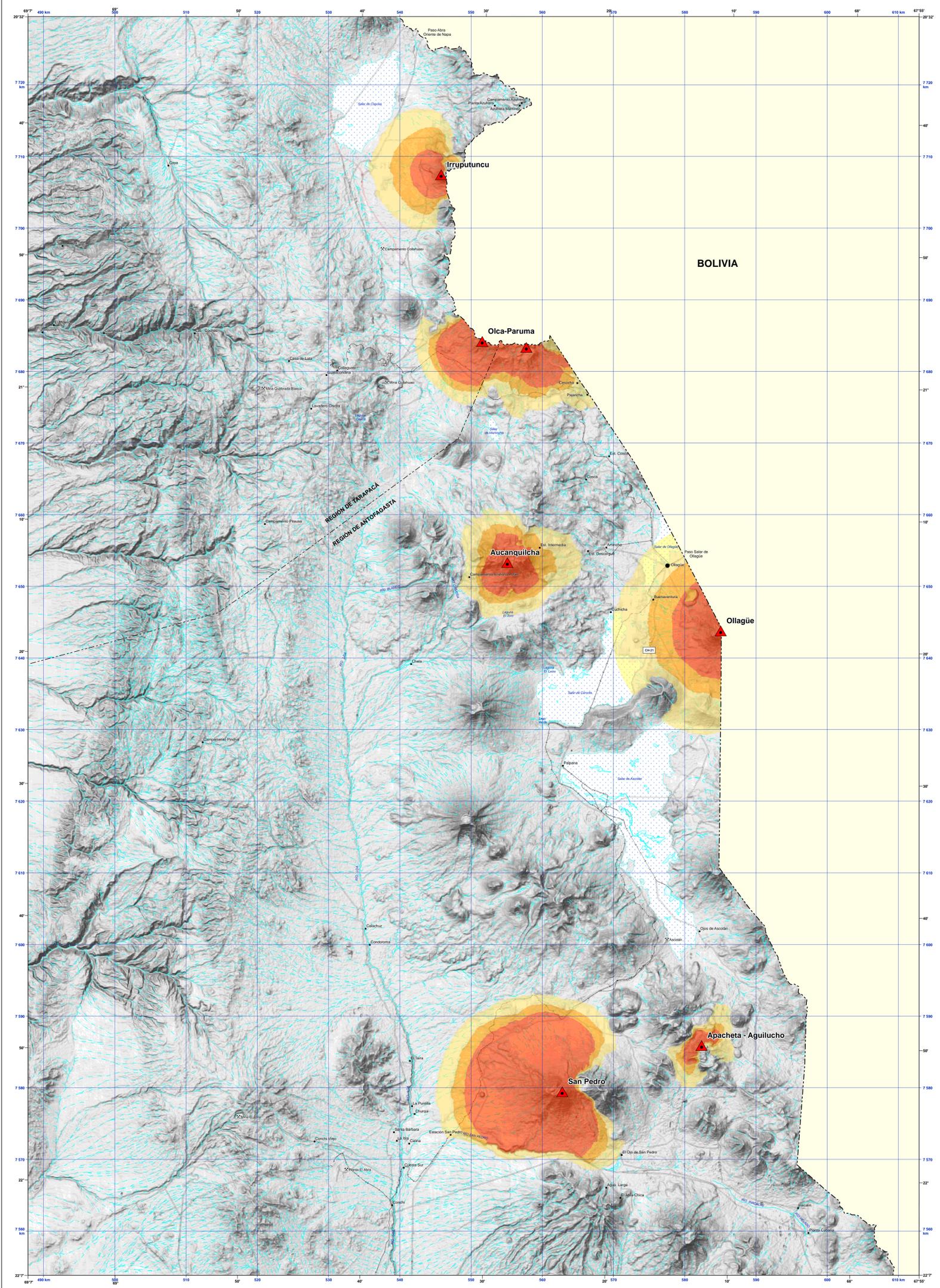
Álvaro Amigo R.
 Daniel Bertin U.
 Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
 SERIE GEOLOGICA AMBIENTAL

No. 17

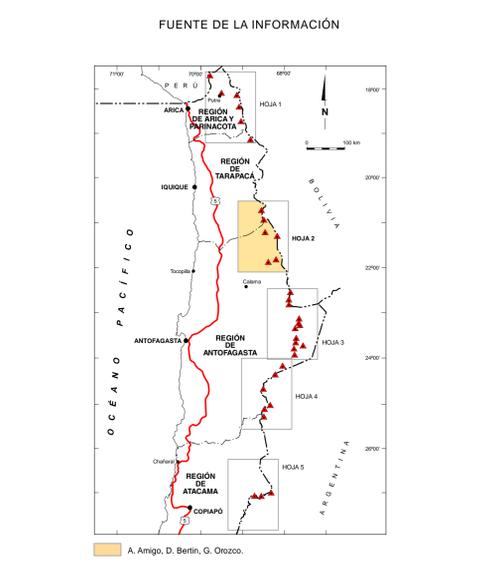
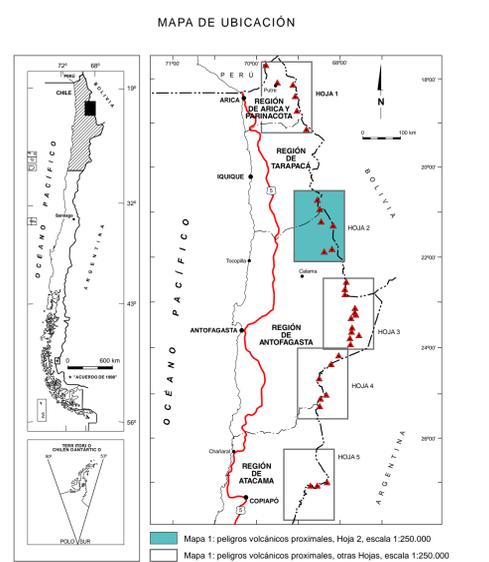
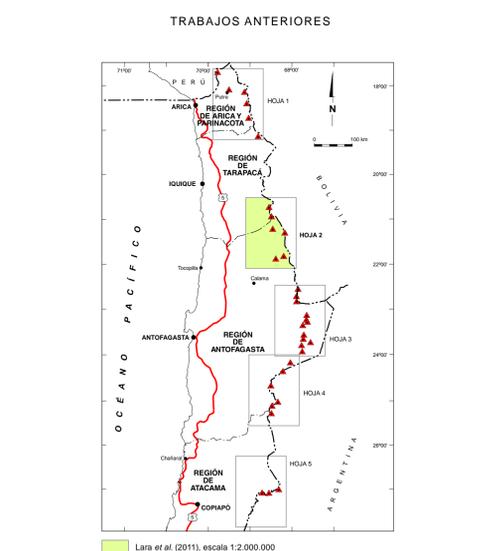
2012

Escala 1:250.000



- LEYENDA**
- PROCESOS ERUPTIVOS EN ZONAS PROXIMALES**
- Alto Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, como flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, de forma independiente de la magnitud eruptiva. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de las emisiones de lavas postglaciales, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico asociados a colapsos de columnas eruptivas (flujos de escorias o de pómez) y a colapso de domos (flujos de bloques y cenizas), además de zonas proximales de flujos de detritos (lahares).
 - Moderado Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal, como corrientes piroclásticas, avalanchas de detritos volcánicos y flujos de detritos. En general, comprende zonas ubicadas en un radio menor a 5 km en torno a la base de los edificios volcánicos. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de emisiones de lavas postglaciales, los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujo de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas volcánicas y las zonas de inundación por flujos de detritos.
 - Bajo Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados casi exclusivamente de erupciones de magnitud alta en el edificio principal, tales como avalanchas de detritos volcánicos, corrientes piroclásticas mayores y facies distales de flujos de detritos. Incorpora regiones distantes hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos. Respecto al registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos.

- SIMBOLOGÍA**
- ▲ Volcán geológicamente activo
 - Capital comunal
 - × Mina
 - Localidad
 - CH 21 Ruta internacional sin pavimento
 - Camino pavimentado
 - Camino estabilizado, sin pavimento
 - Línea férrea
 - - - Límite internacional
 - - - Límite regional
 - Quebrada seca o curso intermitente
 - Río
 - Lago, laguna, embalse
 - Salar



Referencia bibliográfica
Amigo, A.; Bertin, D.; Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental 17. 45 p., 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

ISSN 0717-7305
Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
Director Nacional (S): Julio Poblete C.
Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.

Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.
Comité Editor: Felipe Espinoza G., Aníbal Gajardo C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.
Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moyna Gardeweg P., José G. Viamonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.
Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (USIG): Paulina García F.

Bases Topográficas
Cartas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificadas; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

Referencia geodésica
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

Apoyo científico y técnico
Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.
Producción digital: Rodrigo Calderón B., Gabriel Orozco L., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Autorización de circulación, en cuanto a los mapas y citas que contiene este otro, referentes o relacionados con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Exenta No. 560 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas u otros impresos o documentos que se reflejen o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No. 2, letra g) del DFL No. 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.

ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1: Peligros volcánicos proximales

Hoja 2 de 5
20° 32' - 22° 07' S

Alvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGICA AMBIENTAL

No. 17

2012

Escala 1:250.000

LEYENDA

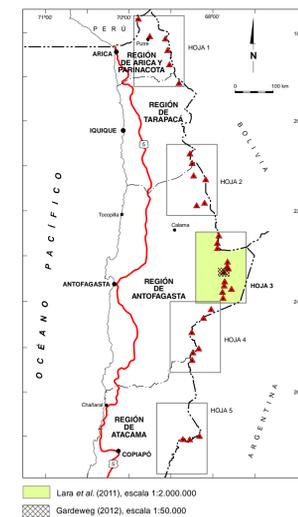
PROCESOS ERUPTIVOS EN ZONAS PROXIMALES

- Alto Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, como flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, de forma independiente de la magnitud eruptiva. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de las emisiones de lavas piroclásticas, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico asociados a colapsos de columnas eruptivas (flujos de escorias o de pómez) y a colapsos de domos (flujos de bloques y ceniza), además de zonas proximales de flujos de detritos (lahares).
- Moderado Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal, como corrientes piroclásticas, avalanchas de detritos volcánicos y flujos de detritos. En general, comprende zonas ubicadas en un radio menor a 5 km en torno a la base de los edificios volcánicos. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de emisiones de lavas piroclásticas, los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujo de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas volcánicas y las zonas de inundación por flujos de detritos.
- Bajo Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados casi exclusivamente de erupciones de magnitud alta en el edificio principal, tales como avalanchas de detritos volcánicos, corrientes piroclásticas mayores y facies distales de flujos de detritos. Incorpora regiones distantes hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos. Respecto al registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos.

SIMBOLOGÍA

- ▲ Volcán geológicamente activo
- Capital comunal
- ⋄ Mina
- Localidad
- CH-27 Ruta internacional pavimentada / sin pavimento
- Camino estabilizado, sin pavimento
- - - Límite internacional
- Quebrada seca o curso intermitente
- Río
- Lago, laguna, embalse
- Salar

TRABAJOS ANTERIORES



Referencia bibliográfica
 Amigo, A., Bertin, D., Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 17. 45 p., 1 mapa en 5 Hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

ISSN 0717-7305
 Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
 Director Nacional (S): Julio Poblete C.
 Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.

Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
 Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.
 Comité Editor: Felipe Espinoza G., Aníbal Gajardo C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.
 Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moyra Gardeweg P., José G. Viramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.
Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (USIG): Paulina Gana F.

Base Topográfica
 Carta escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificados; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

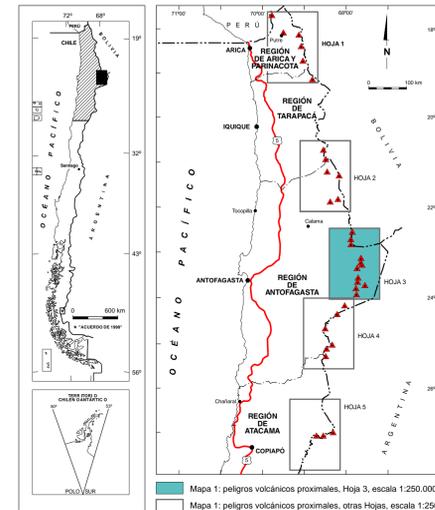
Referencia geodésica
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

Apoyo científico y técnico
 Producción digital: Rodrigo Calderín B., Gabriel Orozco L., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

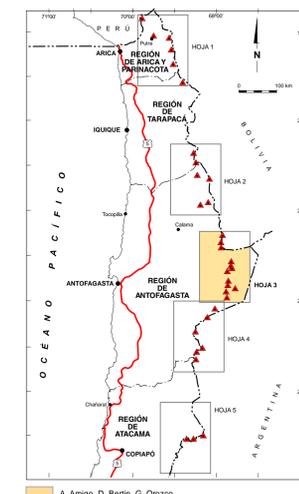
Apoyo financiero
 Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

*Autorizada su circulación, en cuanto a los mapas y datos que contiene esta obra, referidos o relacionados con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Exenta No. 566 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas o documentos que se refieren o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No. 2, letra g) del DFL No. 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.

MAPA DE UBICACIÓN



FUENTE DE LA INFORMACIÓN



A. Amigo, D. Bertin, G. Orozco.

ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1: Peligros volcánicos proximales

Hoja 3 de 5
 22° 29' - 24° 03' S

Alvaro Amigo R.
 Daniel Bertin U.
 Gabriel Orozco L.

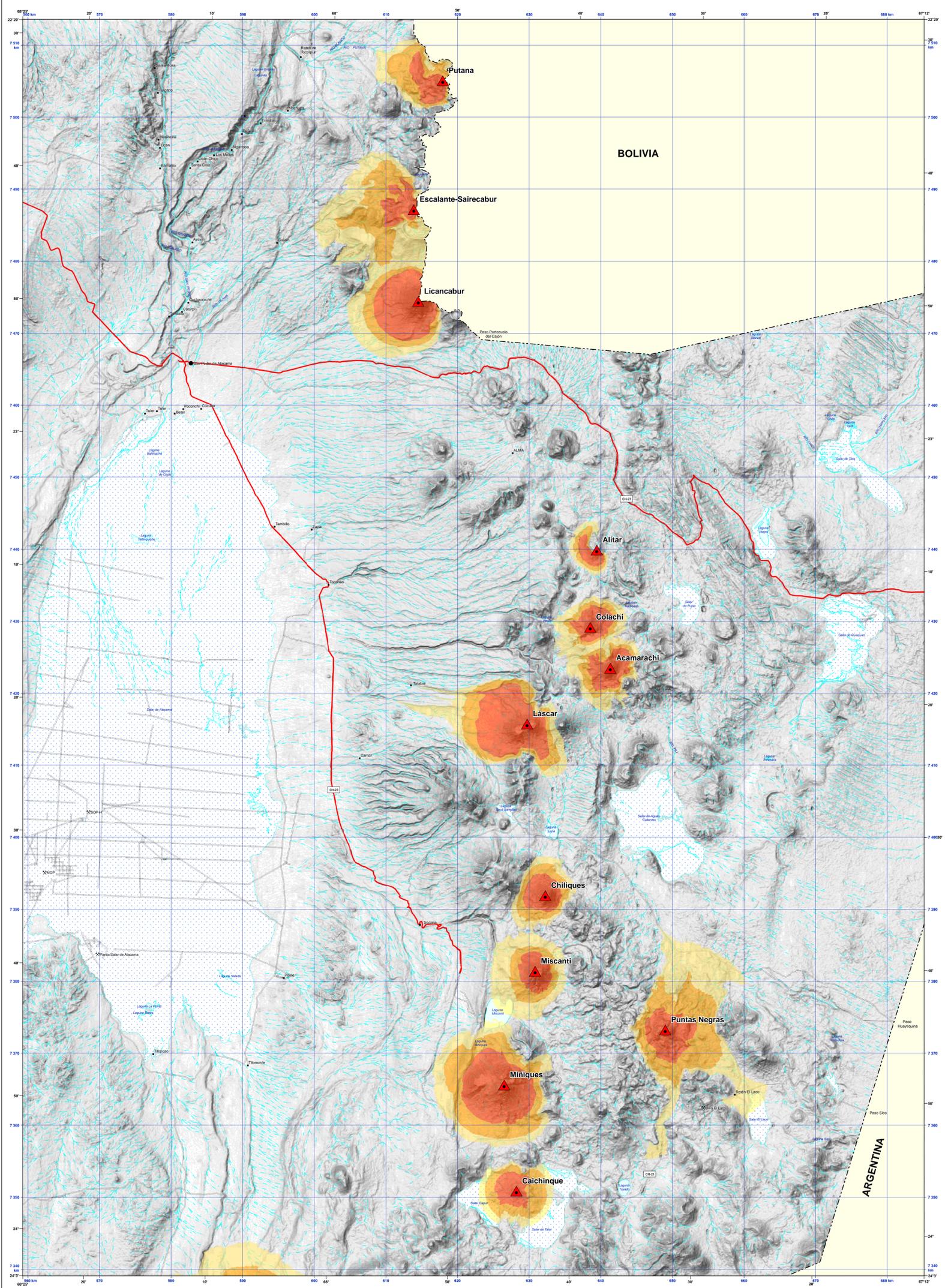
TERRITORIO CHILENO ANTOFAGASTA

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
 SERIE GEOLOGICA AMBIENTAL

No. 17

2012

Escala 1:250.000



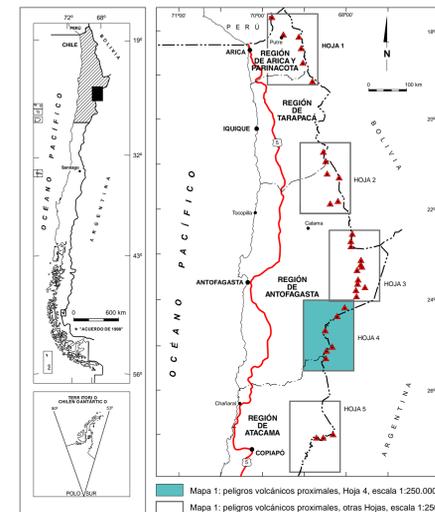
PROCESOS ERUPTIVOS EN ZONAS PROXIMALES

- Alto Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, como flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, de forma independiente de la magnitud eruptiva. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de las emisiones de lavas preglaciales, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico asociados a colapsos de columnas eruptivas (flujos de escorias o de pómez) y a colapsos de domos (flujos de bloques y ceniza), además de zonas proximales de flujos de detritos (lahares).
- Moderado Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal, como corrientes piroclásticas, avalanchas de detritos volcánicos y flujos de detritos. En general, comprende zonas ubicadas en un radio menor a 5 km en torno a la base de los edificios volcánicos. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de emisiones de lavas preglaciales, los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapsos de domos (flujo de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas volcánicas y las zonas de inundación por flujos de detritos.
- Bajo Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados casi exclusivamente de erupciones de magnitud alta en el edificio principal, tales como avalanchas de detritos volcánicos, corrientes piroclásticas mayores y facies distales de flujos de detritos. Incorpora regiones desiertas hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos. Respecto al registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos.

SIMBOLOGÍA

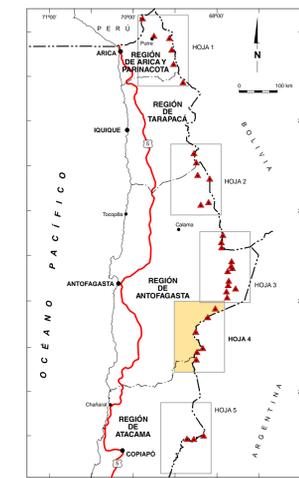
- ▲ Volcán geológicamente activo
- ⚡ Mina
- Localidad
- Ruta internacional sin pavimento
- Camino establecido, sin pavimento
- Línea férrea
- Límite internacional
- Límite regional
- Quebrada seca o curso intermitente
- Lago, laguna, embalse
- Salter

MAPA DE UBICACIÓN



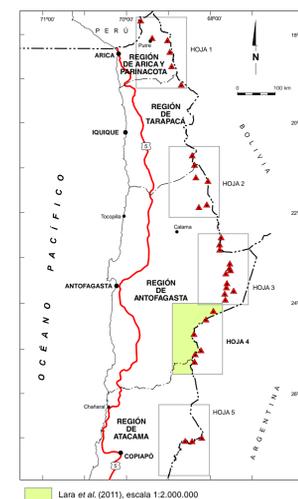
Mapa 1: peligros volcánicos proximales, Hoja 4, escala 1:250.000
Mapa 1: peligros volcánicos proximales, otras Hojas, escala 1:250.000

FUENTE DE LA INFORMACIÓN

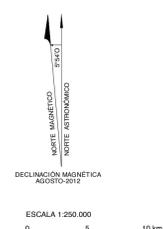


A. Amigo, D. Bertin, G. Orozco.

TRABAJOS ANTERIORES



Lara et al. (2011), escala 1:2.000.000



Referencia bibliográfica
Amigo, A., Bertin, D., Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental 17. 45 p., 1 mapa en 5 Hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

ISSN 0717-7305
Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10466, Santiago, Chile.
Director Nacional (S): Julio Poblete C.
Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.
Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.
Comité Editor: Felipe Espinoza G., Anibal Cajarido C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.
Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Mayra Gardeweg P., José G. Viramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.
Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (SIG): Paulina Garza F.

Bases Topográficas
Cartas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificadas; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (MEI) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

Referencia geodésica
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

Apoyo científico y técnico
Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Autorizada su circulación, en cuanto a los mapas y datos que contiene esta obra, referidos o relacionados con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Externa No. 560 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas o otros impresos y documentos que se reflejen o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No. 2, letra g) del DFL No. 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.

ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1: Peligros volcánicos proximales

Hoja 4 de 5
23° 52' - 25° 27' S

Alvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

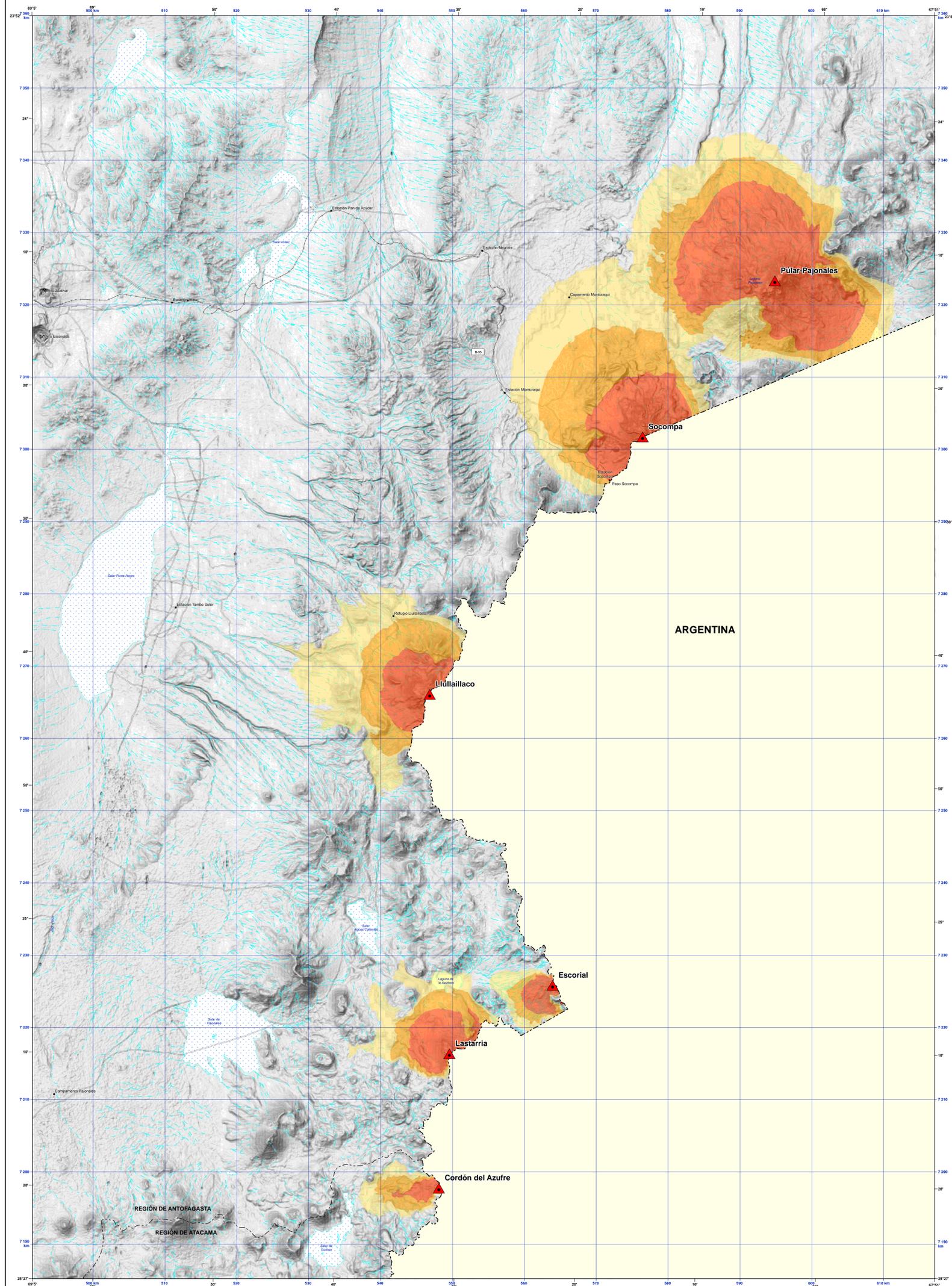
TERRITORIO CHILENO ANTIQUENO

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGICA AMBIENTAL

No. 17

2012

Escala 1:250.000



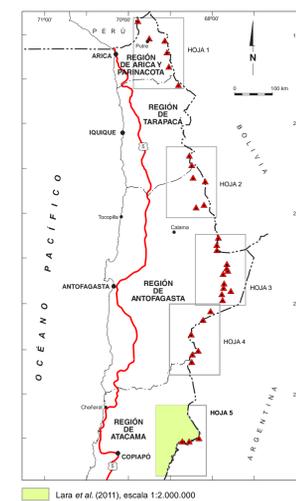
PROCESOS ERUPTIVOS EN ZONAS PROXIMALES

- Alto Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, como flujos de lavas, proyecciones balísticas y corrientes piroclásticas, de forma independiente de la magnitud eruptiva. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de las emisiones de lava postglaciales, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico asociados a colapsos de columnas eruptivas (flujos de escorias o de pómez) y a colapsos de domos (flujos de bloques y ceniza), además de zonas proximales de flujos de detritos (lahares).
- Moderado Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal, como corrientes piroclásticas, avalanchas de detritos volcánicos y flujos de detritos. En general, comprende zonas ubicadas en un radio menor a 5 km en torno a la base de los edificios volcánicos. Respecto al registro geológico, incorpora la totalidad de emisiones de lavas postglaciales, los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujo de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas volcánicas y las zonas de inundación por flujos de detritos.
- Bajo Peligro.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos derivados casi exclusivamente de erupciones de magnitud alta en el edificio principal, tales como avalanchas de detritos volcánicos, corrientes piroclásticas mayores y facies distales de flujos de detritos. Incorpora regiones distantes hasta decenas de kilómetros de los centros eruptivos. Respecto al registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos.

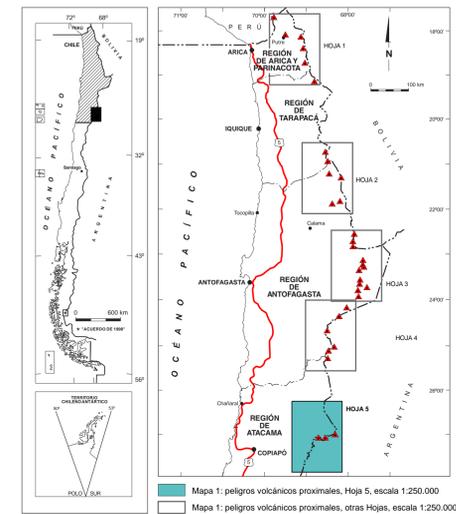
SIMBOLOGÍA

- ▲ Volcán geológicamente activo
- ✕ Mina
- Localidad
- Ruta internacional sin pavimento
- Camino estabilizado, sin pavimento
- - - Límite internacional
- Quebrada seca o curso intermitente
- Lago, laguna, embalse
- Salar

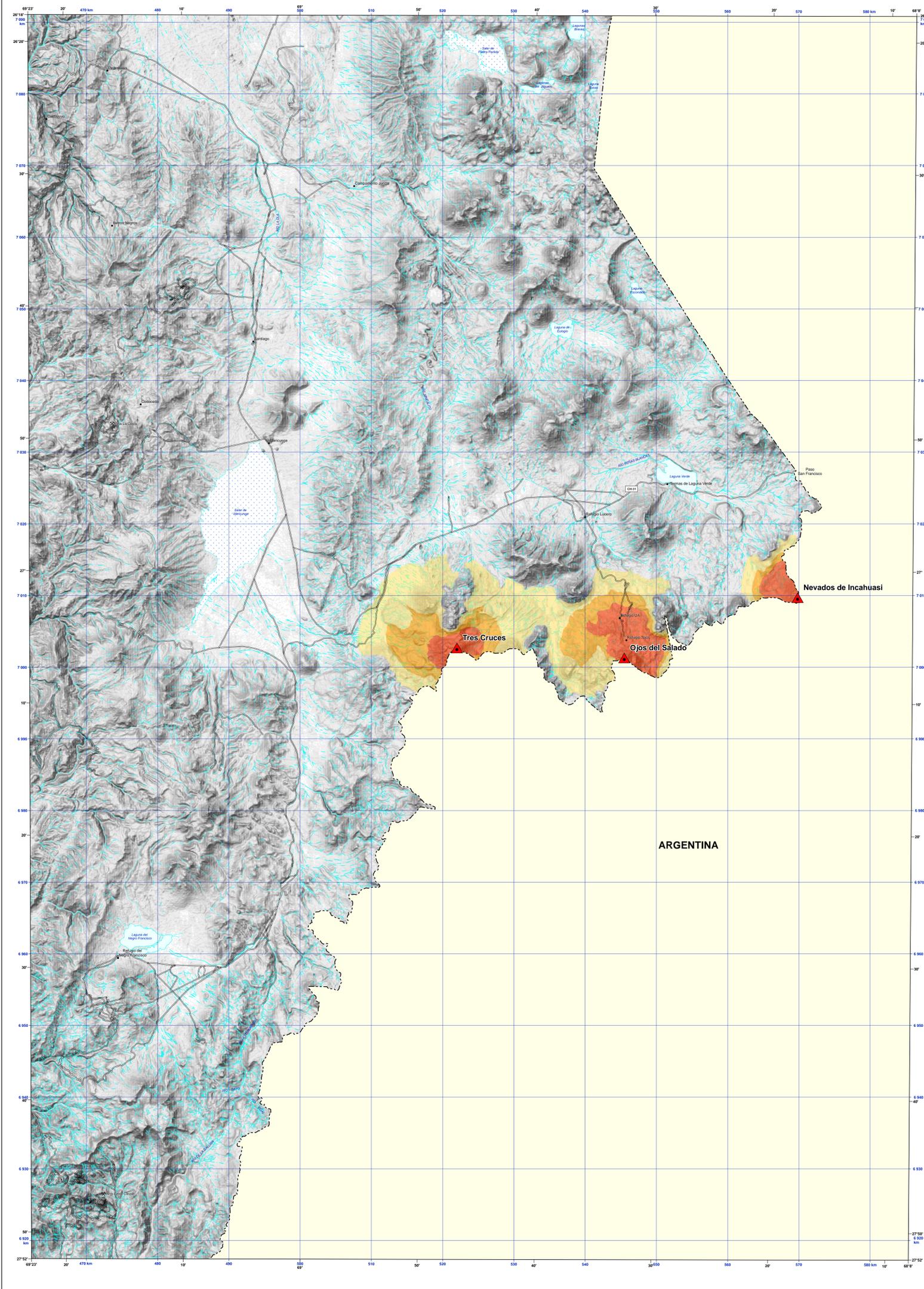
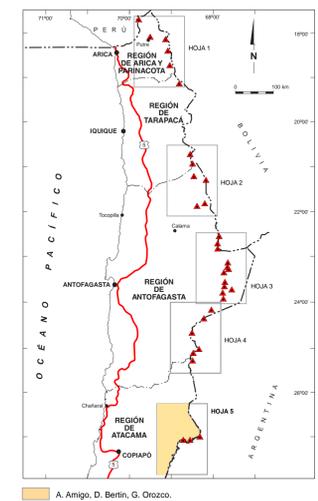
TRABAJOS ANTERIORES



MAPA DE UBICACIÓN



FUENTE DE LA INFORMACIÓN



Referencia bibliográfica
Amigo, A., Bertin, D., Orozco, G. 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile. Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 17: 45 p., 1 mapa en 5 Hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000, Santiago.

ISSN 0717-7305
Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
Director Nacional (S): Julio Piobere C.
Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.
Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.
Comité Editor: Felipe Espinoza G., Anibal Gajardo C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.
Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moyra Gardeweg P., José G. Vramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.
Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (SIG): Paulina Gana F.

Bases Topográficas
Cartas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificadas; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

Referencia geodésica
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

Apoyo científico y técnico
Producción digital: Rodrigo Calderón B., Gabriel Orozco L., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
Fondos Sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Autoridad su circulación, en cuanto a los mapas y citas que contiene esta obra, referentes o relacionadas con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Externa No. 560 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas y otros impresos y documentos que se refieren o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No. 2, letra g) del DFL No. 83 de 1979 del Ministerio de Relaciones Exteriores.

ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 1: Peligros volcánicos proximales

Hoja 5 de 5
26° 18' - 27° 52' S

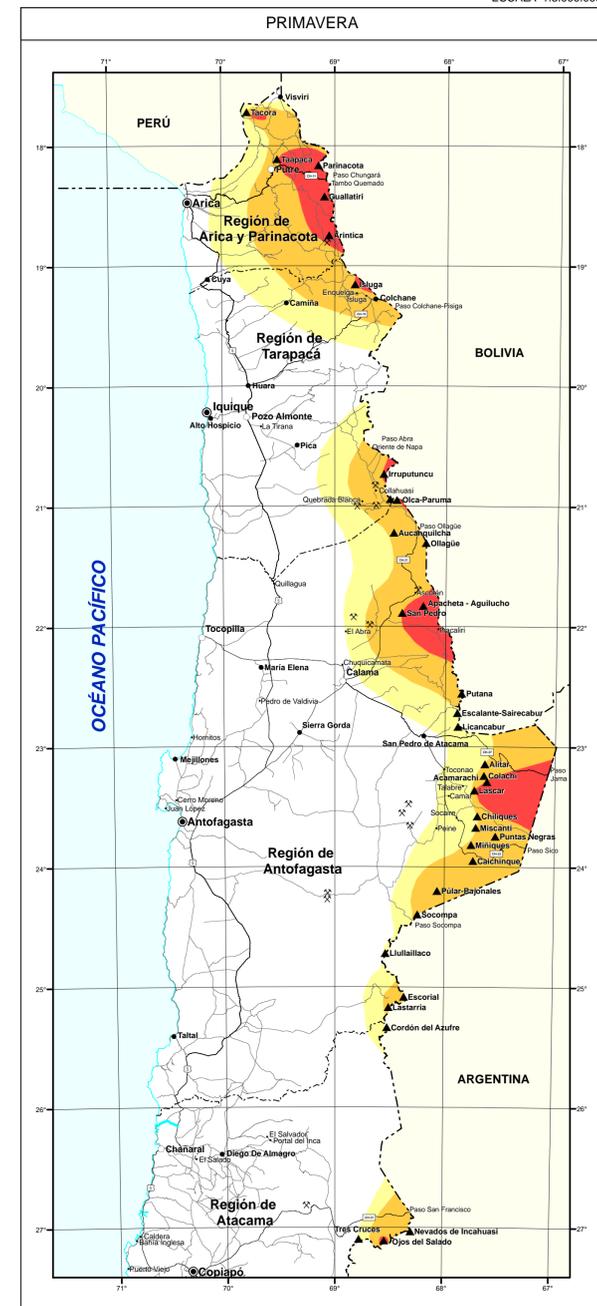
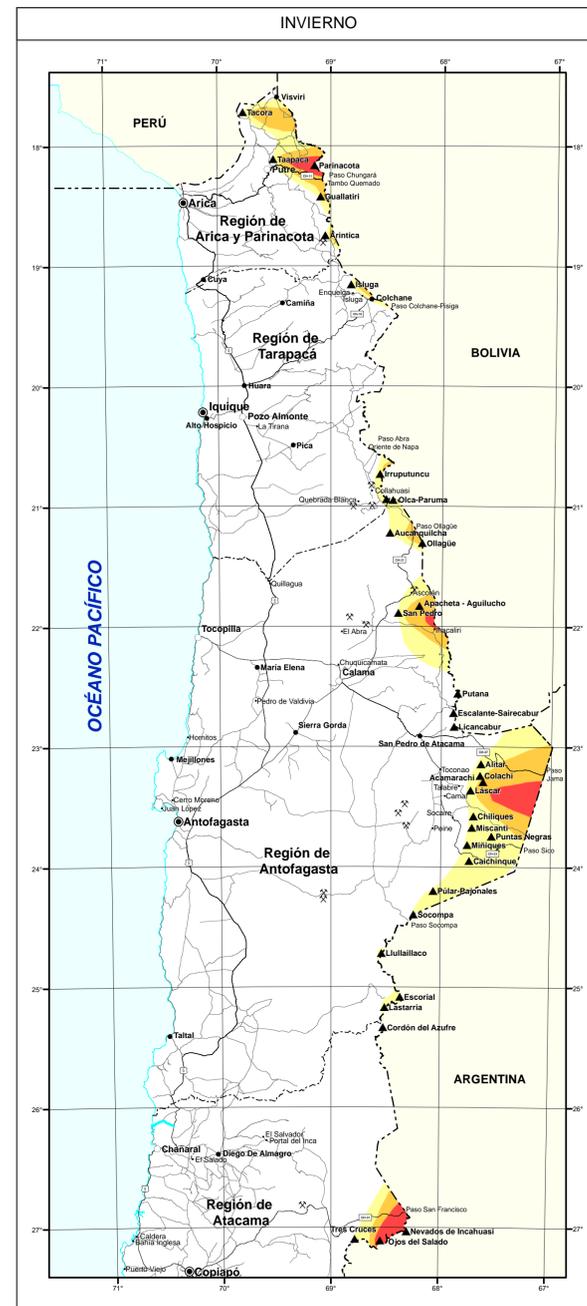
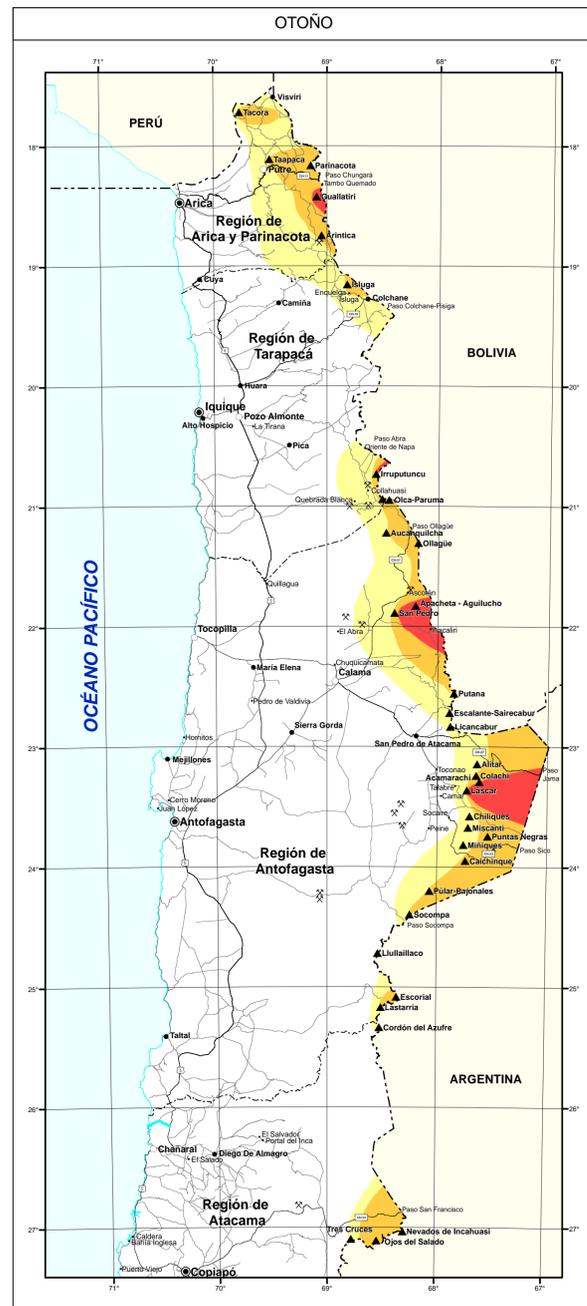
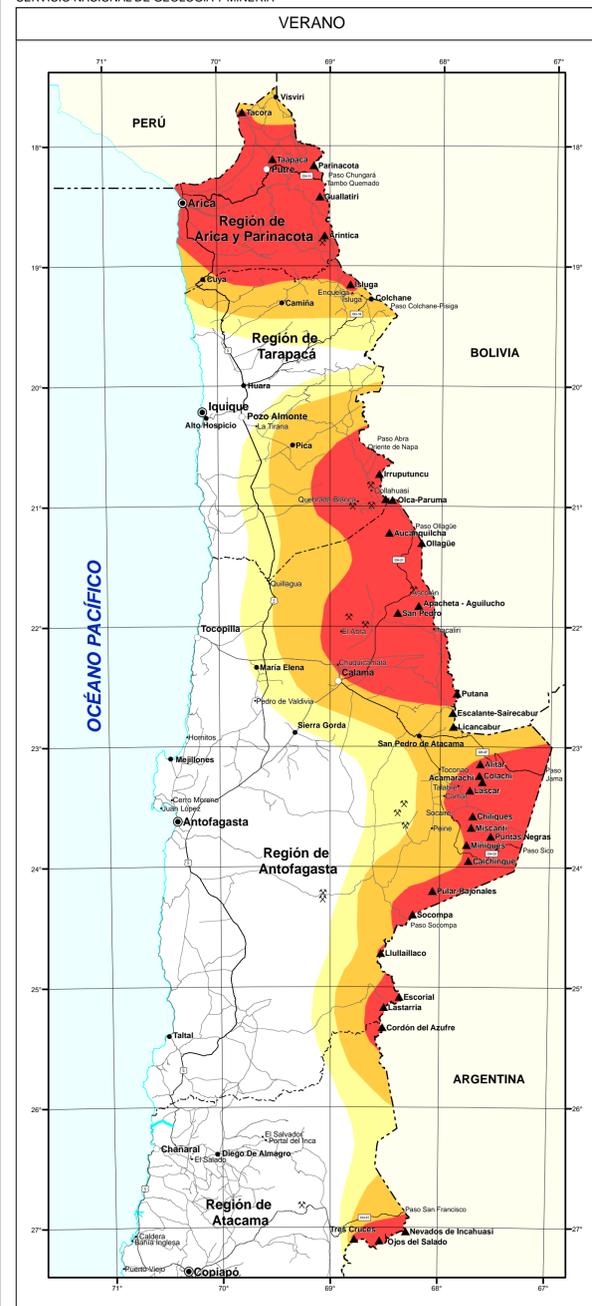
Alvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGICA AMBIENTAL

No. 17

2012

Escala 1:250.000



LEYENDA

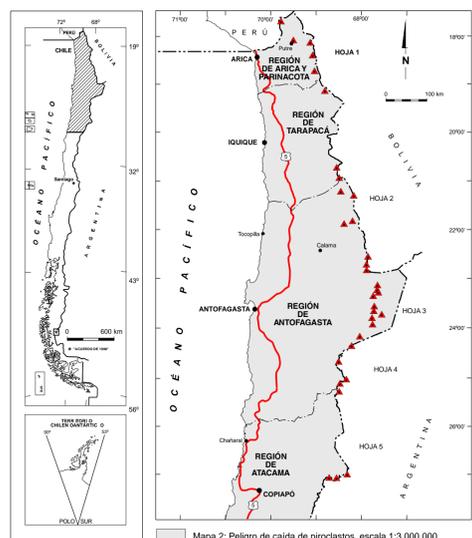
CAÍDA DE PIROCLASTOS

- **Alto peligro de caída de piroclastos.** Representa el sector más susceptible de ser afectado por la acumulación de más de 1 cm de material piroclástico (probabilidad igual o mayor a 50%), generado en erupciones tipo asignadas a cada volcán según su historia eruptiva, en condiciones atmosféricas que reflejan estadísticamente las variaciones estacionales. Los instrumentos de planificación deberían considerar esta condición y promover medidas de mitigación, tales como la vigilancia instrumental de los volcanes fuente, la disponibilidad de sistemas de alerta para la aeronavegación, normas de construcción adecuadas y planes de contingencia.
- **Moderado peligro de caída de piroclastos.** Representa el sector moderadamente susceptible de ser afectado por la acumulación de más de 1 cm de material piroclástico (probabilidad entre 25% y 50%), generado en erupciones tipo asignadas a cada volcán según su historia eruptiva, en condiciones atmosféricas que reflejan estadísticamente las variaciones estacionales. Los instrumentos de planificación deberían considerar esta condición y promover medidas de mitigación tales como normas de construcción adecuadas y planes de contingencia.
- **Bajo peligro de caída de piroclastos.** Representa el sector menos susceptible de ser afectado por la acumulación de más de 1 cm de material piroclástico (probabilidad entre 12,5% y 25%), generado en erupciones tipo asignadas a cada volcán según su historia eruptiva, en condiciones atmosféricas que reflejan estadísticamente las variaciones estacionales. Los instrumentos de planificación deberían considerar esta condición y promover medidas de mitigación tales como planes de contingencia.

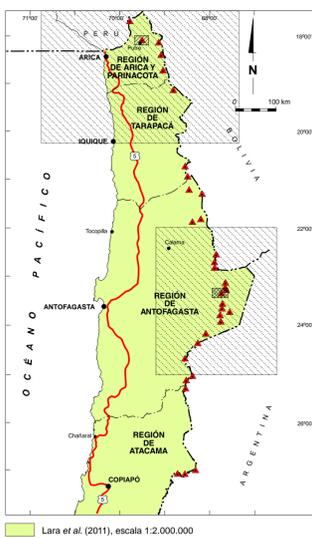
SIMBOLOGÍA

- ▲ Volcán geológicamente activo
- Capital regional
- Capital provincial
- Capital comunal
- Centro poblado
- ✕ Mina
- Carretera Panamericana
- Ruta Internacional
- Camino
- Límite internacional
- Límite regional
- Línea de costa

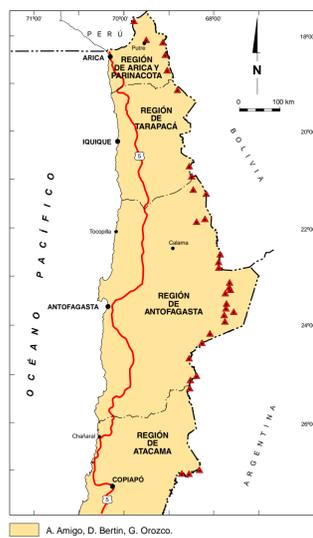
MAPA DE UBICACIÓN



TRABAJOS ANTERIORES



FUENTE DE LA INFORMACIÓN



ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS VOLCÁNICOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE

REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA, TARAPACÁ, ANTOFAGASTA Y ATACAMA

Mapa 2:
Peligro de caída de piroclastos

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.
Gabriel Orozco L.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL

No. 17

2012

Escala 1:3.000.000

Referencia bibliográfica
Amigo, A., Bertin, D., Orozco, G., 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental. N° 17, 45 p., 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000. Santiago.

ISSN 0717-7305
Inscripción No. 223.761

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
Director Nacional (G): Julio Robledo C.
Subdirector Nacional de Geología: Luis Ignacio Silva P.
Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición
Jefa Comité Editorial: Renate Wall Z.
Comité Editor: Felipe Espinosa G., Aníbal Gajardo C., Luis Lara P., Andrew Tomlinson.
Editores: Felipe Aguilera B., Hugo Delgado G., Moira Gardweg P., José G. Viramonte.

Jefa Unidad de Publicaciones: Sonya Amar N.
Jefa Unidad de Sistemas de Información Geológica (USIG): Paulina Gana F.

Base Topográfica
Cartas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, modificadas; ASTER Global DEM versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (MET) de Japón y la Agencia espacial norteamericana (NASA).

Referencia geodésica
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), Zona 19, SIRGAS.

Apoyo científico y técnico
Producción digital: Rodrigo Calderón B., Gabriel Orozco L., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Apoyo financiero
Fondos sectoriales del Servicio Nacional de Geología y Minería.

*Autorizada su circulación, en cuanto a los mapas y citas que contiene esta obra, referentes o relacionadas con los límites internacionales y fronteras del territorio nacional, por Resolución Exenta No. 560 del 19.12.2012 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. La edición y circulación de mapas, cartas geográficas y otros impresos y documentos que se reflejen o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen, en modo alguno, al Estado de Chile de acuerdo con el Art. No.