

★ACUERDO ENTRE LA REPÚBLICA DE CHILE Y LA REPÚBLICA ARGENTINA PARA PRECISAR EL RECORRIDO DEL LIMITE DESDE EL MONTE FITZ ROY HASTA EL CERRO DAUDET. (Buenos Aires, 16 de diciembre de 1998).



ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA



PELIGROS DEL VOLCÁN HUDSON

REGIÓN AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.

CARTA GEOLÓGICA DE CHILE

SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL

No. 20

Escala 1:75.000

2014

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 y A. Fonseca. 3 mapas, escala 1:20.000.
- No. 17 Peligros Volcánicos de la zona norte de Chile, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. 2012. Á. Amigo, D. Bertin y G. Orozco. Texto y 1 mapa en 5 hojas escala 1:250.000, 1 mapa escala 1:3.000.000.
- No. 18 Peligros del Volcán Sollipulli, Región de La Araucanía. 2014. C. Jara y H. Moreno. 1 mapa escala 1:50.000.
- No. 19 Geología para el ordenamiento territorial: área de Antofagasta, Región de Antofagasta. F. Falcón, M. Arenas, R. Carrasco, J. Fernández, A. Gajardo, S. Huerta, M. Marín, A. Merino, F.A. Mourgues, Y. Pérez, H. Vaccaro. 2014. 6 mapas 1:50.000.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - CHILE

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS DEL VOLCÁN HUDSON

**REGIÓN AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ
DEL CAMPO**

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.

**CARTA GEOLÓGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL**

No. 20

Escala 1:75.000

2014

PELIGROS DEL VOLCÁN HUDSON, REGIÓN AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO

Escala 1:75.000

CARTA GEOLÓGICA DE CHILE
SERIE GEOLOGÍA AMBIENTAL, No. 20, 2014
ISSN 0717-7305
Inscripción No. 248.595

©Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.
Director Nacional: Rodrigo Álvarez S.
Subdirector Nacional de Geología (PT): Paul Duhart O.

Derechos reservados. Prohibida su reproducción.

Jefa Comité Editor: Renate Wall Z.
Comité Editor: Aníbal Gajardo, Andrew Tomlinson, Jorge Muñoz B., Rodrigo Carrasco O.
Editores: José Antonio Naranjo, Francisco Gutiérrez

Jefa Unidad de Publicaciones: Soraya Amar N.
Diagramación: Nancy Espinoza P.

Referencia bibliográfica:

Amigo, A.; Bertin, D. 2014. Peligros del volcán Hudson, Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 20, 1 mapa escala 1:75.000. Santiago.

Portada: Nuevos cráteres en el borde suroeste de la caldera del volcán Hudson, producto de la actividad eruptiva de octubre 2011.

Fotografía: G. Hermosilla

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	6
ACTIVIDAD ERUPTIVA PREHISTÓRICA.....	7
ACTIVIDAD ERUPTIVA HISTÓRICA	10
METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS.....	11
RESULTADOS Y ALCANCES	13
REFERENCIAS	14

FIGURAS

Fig.1. Ubicación regional del volcán Hudson dentro del segmento norte de la Zona Volcánica Sur	6
Fig. 2. Ubicación local del volcán Hudson.....	8
Fig. 3. Depósitos volcánicos asociados a la actividad eruptiva del volcán	9

ANEXOS

ANEXO I.....	17
Tabla 1. Parámetros considerados en la construcción de conos de energía	18
Tabla 2. Parámetros considerados en la simulación de piroclastos balísticos.....	19
Tabla 3. Año meteorológico típico para distintas alturas atmosféricas.....	20
Fig.1. Dirección y velocidad del viento para una año típico para distintas alturas sobre el volcán Hudson	20
ANEXO II.....	21
Glosario	21

Mapa (fuera de texto)

PELIGROS DEL VOLCÁN HUDSON, REGIÓN AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO,
escala 1:75.000.

RESUMEN

El volcán Hudson se encuentra ubicado en la Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y forma parte del segmento sur de la Zona Volcánica Sur de los Andes. Corresponde a un edificio volcánico semicircular, que en su parte superior presenta una estructura caldérica de unos 10 km de diámetro, donde se anida una casquete glaciar. El volcán Hudson corresponde al centro volcánico más activo del segmento sur de la ZVS, donde se han reconocido erupciones de gran magnitud durante el Holoceno y erupciones explosivas en tiempos históricos, entre las que destacan las erupciones de 1971 y 1991, esta última es una de las mayores registradas en los Andes en tiempos históricos. Su último ciclo eruptivo ocurrió en octubre de 2011 y correspondió a una erupción menor, con escasa emisión piroclástica, sin embargo originó lahares hacia el valle del río Huemules.

En este trabajo se presenta una evaluación objetiva del peligro volcánico considerando dos focos de análisis: (1) zonificación de peligros en un radio de decenas de kilómetros en torno al volcán, derivados del emplazamiento de lahares, flujos piroclásticos, flujos de lavas y piroclastos balísticos. (2) estimación de áreas probables de acumular depósitos de caída piroclástica, derivados de columnas eruptivas y dispersión atmosférica, en un radio de decenas a cientos de kilómetros en torno al volcán. En el primer caso, las áreas susceptibles de ser impactadas fueron delineadas en función de las observaciones realizadas en campañas de terreno y extrapoladas mediante modelos numéricos que mejor reprodujeran los datos de campo. La zonificación de peligros se presenta como cuatro demarcaciones anidadas (muy alto, alto, moderado y bajo), caracterizadas por distinto grado de recurrencia. Por otra parte, la dispersión piroclástica en la atmósfera y su acumulación en superficie fue estimada mediante modelación numérica y análisis probabilístico bajo escenarios eruptivos similares en magnitud a eventos identificados en el volcán.

Los resultados de este trabajo se presentan en un mapa de escala 1:75.000 para peligros proximales, donde se incluyen curvas de probabilidad de acumulación de 10 cm de material piroclástico de caída y un mapa de escala 1:350.000 para las áreas susceptibles de ser afectadas por removilización de material piroclástico por cursos fluviales. Finalmente, el peligro de acumulación de 1 cm de material piroclástico de caída en función de 2 escenarios eruptivos, se ha representado regionalmente en un mapa de escala 1:3.000.000, de acuerdo con las condiciones atmosféricas estacionales.

Dada su frecuencia y estilo eruptivo que presenta el registro geológico, así como las observaciones durante tiempos históricos, el volcán Hudson corresponde a un centro de alta actividad y extremadamente peligroso, susceptible de comenzar un nuevo ciclo eruptivo en el transcurso de años o décadas. La actividad futura puede afectar de manera severa valles aledaños y sectores que lo rodean, principalmente los valles de los ríos Huemules y Cupquelán, así como también las nacientes de los ríos Sorpresas e Ibáñez. Además, parte importante de la región sur del país puede verse afectada por la caída de material piroclástico durante erupciones explosivas.

ABSTRACT

Hudson volcano is located in the Aysén Region and belongs to the southern segment of the Andean Southern Volcanic Zone. It corresponds to an ice-filled caldera, with 10 km in diameter. This volcano is considered the most active center in the southernmost Southern Volcanic Zone. It has been site for large explosive eruptions in the 20th century, in particular in 1971 and 1991. The latter is considered among the largest events recorded along the Andes. In addition, larger eruptions have occurred during the Holocene, which fallout covered most of the Patagonian region. The last eruptive cycle occurred in October 2011, associated with a minor eruption with limited pyroclastic emission, however lahars flows occurred in the Huemules river valley.

This work addresses the identification of areas prone to be affected by volcanic processes, considering (1) hazards associated with lahars, pyroclastic flows, lava flows and ballistic projections, and (2) hazards derived from pyroclastic fallout in connection with strong eruptive plumes and atmospheric dispersal. In the former case, both conical surfaces and ballistic projectiles were simulated in order to delineate four hazard zones (very high, high, moderate and low), according to field observations and relative recurrence. In the latter case, both tephra dispersion and accumulation on the surface were estimated using numerical modeling and probabilistic analysis under eruptive scenarios based on the record of explosive eruptions.

Results are shown in one 1:75.000 scale map for proximal hazards, including probabilistic curves of tephra accumulation of 10 cm, in addition one 1:350.000 scale map shows areas susceptible to be affected by distal hazards such as pyroclastic remobilization by rivers. Finally, regional pyroclastic fallout according to both seasonality and two eruptive scenarios is presented in one 1:3.000.000 scale map.

According to the eruptive style and frequency of events identified in the past and observed during historical times, Hudson volcano corresponds to a very hazardous and active center. Future activity can strongly affect valleys near the volcano, in particular the Huemules and Cupquelán river valleys, as well as the upper part of the Sorpresas and Ibáñez river valleys. In addition, a large area in southern Chile can be affected by pyroclastic fallout during explosive eruptions.

INTRODUCCIÓN

El volcán Hudson ($45^{\circ} 55' 50''$ S, $72^{\circ} 59' 00''$ W, 1905 m s.n.m.) se ubica en el extremo sur de la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVS; Fig. 1), y es considerado como el volcán más activo de esta parte del segmento durante el Holoceno, así como también en tiempos históricos (Stern, 2004). Se emplaza en la Provincia de Aysén, Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, a unos 60 y 80 km al sur y suroeste de las

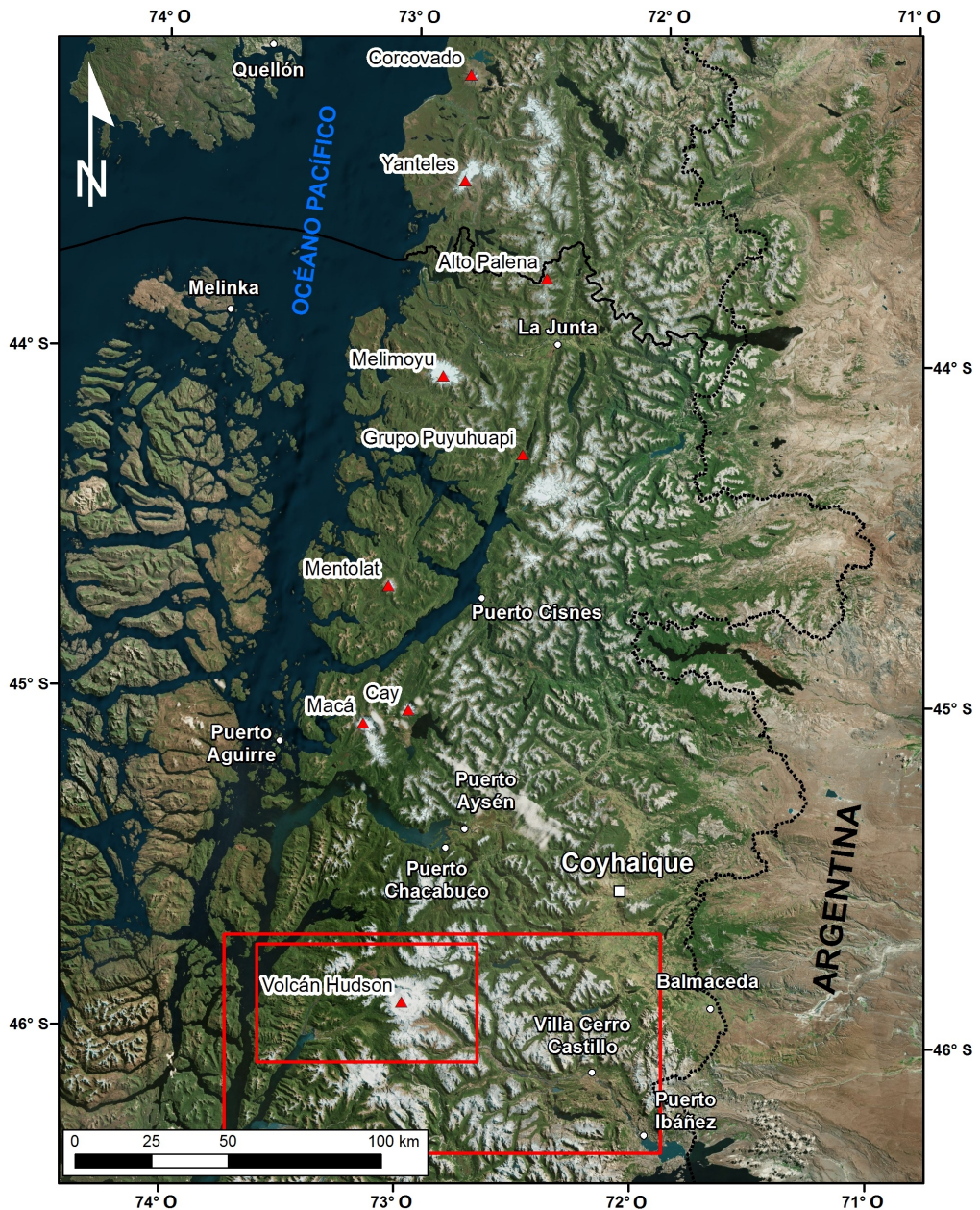


FIG. 1. Ubicación regional del volcán Hudson dentro del segmento sur de la Zona Volcánica Sur. Los triángulos rojos indican los volcanes activos. Recuadros indican áreas cartografiadas en mapa principal, de escala 1:75.000 y 1:350.000.

ciudades de Puerto Aysén y Coyhaique, respectivamente. Corresponde a un edificio volcánico semicircular que cubre un área cercana a los 300 km². Está principalmente formado por la intercalación de coladas de lava y rocas piroclásticas de composiciones que varían desde andesitas-basálticas a dacitas, con algunas intrusiones menores. En su parte superior, se caracteriza por una estructura caldérica de unos 10 km de diámetro, que presenta bordes asociados a al menos dos eventos de colapso, lo que da cuenta de una historia eruptiva compleja (Orihashi *et al.*, 2004). El interior de la depresión caldérica se encuentra rellena por extensos glaciares cuyo volumen de hielo se estima en 2,5 km³ (Naranjo *et al.*, 1993), no obstante ha presentado variaciones importantes en las décadas pasadas, principalmente luego de eventos eruptivos (Rivera y Bown, 2013). En sus alrededores inmediatos se han identificado potentes depósitos piroclásticos y al menos tres conos piroclásticos post-glaciales (Orihashi *et al.*, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2005). El basamento que rodea, y eventualmente subyace al volcán, consiste en rocas graníticas mesozoicas, pertenecientes al denominado Batolito Norpatagónico (Pankhurst *et al.*, 1999). Los centros volcánicos activos ubicados al norte del volcán Hudson corresponden a los estratovolcanes Macá y Cay, distantes a unos 100 km de este. Mientras que hacia el sur a unos 350 km de distancia, en campos de hielo patagónico sur, se emplaza el volcán Lautaro, el cual forma parte de la Zona Volcánica Austral (ZVA).

El volcán Hudson ha presentado erupciones explosivas en tiempos históricos, entre las que destacan las erupciones de agosto de 1971 y agosto de 1991. Esta última, es considerada la segunda erupción explosiva de mayor magnitud ocurrida en los Andes en el siglo XX, y una de las mayores ocurridas en el mundo entero. No obstante, la identificación de este centro como volcán ocurrió a principios de la década de 1970, en el marco de los primeros estudios geológicos regionales en la zona (Fuenzalida y Espinoza, 1974), diversos estudios dan cuenta de una reiterada actividad explosiva desde el Pleistoceno Superior, incluyendo algunas de las mayores erupciones documentadas en los Andes. La mayoría de los registros asociados a estas erupciones han sido reportados como depósitos piroclásticos no consolidados, así como también niveles piroclásticos en lagos a lo largo de la Patagonia e incluso en el Océano Pacífico (Stern, 1991; Naranjo y Stern, 1998; Haberle y Lumley, 1998; Carel *et al.*, 2011; Weller *et al.*, 2014). De acuerdo a una compilación de edades radiométricas en muestras de lavas, presentada por Orihashi *et al.* (2004), este volcán se encuentra activo desde el Pleistoceno Medio, habiéndose desarrollado, en primer lugar, la parte norte del volcán y posteriormente el extremo sur. La composición de los productos emitidos durante el Holoceno varía desde andesitas basálticas a dacitas y se postula que la mezcla magmática ha sido un factor crucial en el desarrollo de su actividad eruptiva (Kratzmann *et al.*, 2009), así como también la interacción agua-magma (Bertin, 2014).

El volcán Hudson se ubica en una zona remota, sin rutas ni caminos habilitados, alejada de asentamientos humanos y mayoritariamente cubierta por bosques y, en las partes altas, nieve y hielo (Fig. 2). Dado que la zona no es accesible por vía terrestre, las principales vías de acceso son por mar, en la desembocadura del río Huemules en el canal Elefantes por el oeste o en bahía Erasmo por el SO, donde desembocan los ríos Cupquelán y Sorpresas. Por otra parte, las nacientes del río Ibáñez, por el ESE, puede ser alcanzada solo mediante caminos troperos. Algunos pobladores residen en los principales valles de los ríos, como Huemules, Ibáñez y Sorpresas, quienes se desempeñan generalmente como puesteros de ganado.

ACTIVIDAD ERUPTIVA PREHISTÓRICA

Diversos estudios constatan la presencia de depósitos piroclásticos asociados a la actividad eruptiva explosiva del volcán Hudson (Naranjo y Stern, 1998; Haberle y Lumley, 1998; Carel *et al.* 2011; Weller *et al.*, 2014; entre otros). En el caso de los depósitos asociados a los eventos eruptivos mejor registrados, éstos se han caracterizado en función de su descripción física, análisis químico, edades radiocarbono y, en algunos casos, análisis isotópicos. Una vez identificados suficientes depósitos de caída asociados a un evento en particular, es posible la construcción de curvas de equivalente espesor (isópacas) y de tamaño de partículas (isópletas), lo cual que permiten acotar parámetros eruptivos como volumen emitido y altura de columna. Uno de los estudios pioneros en este ámbito corresponde a Stern (1991), quien sugirió la presencia de un depósito de caída de ceniza fina, procedente del volcán Hudson, en algunas localidades de Tierra del

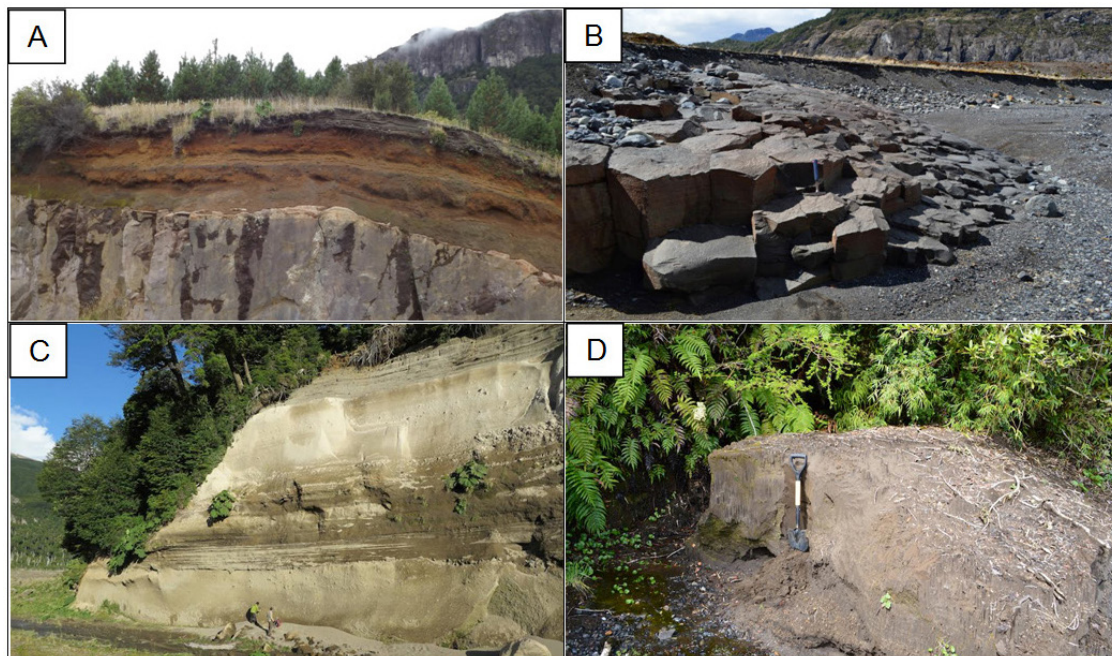


FIG. 3. Depósitos volcánicos asociados a la actividad eruptiva del volcán Hudson. A. Secuencia de depósitos piroclásticos de caída históricos y holocenos en Cajón Jofré, 30 km SE del volcán. El depósito superior gris corresponde a la caída piroclástica derivada de la erupción de 1991, mientras que los depósitos inferiores (amarillo y marrón) corresponden a las erupciones de 3,9 y 7,7 ka AP, este último prácticamente en contacto con rocas graníticas del basamento. B. Lava holocena en las cercanías del frente del glaciar Huemules, perteneciente a los Basaltos del Huemules. Presenta superficie pulida por el paso del glaciar homónimo y característica disyunción columnar. Restos de materia orgánica carbonizados ubicados bajo la lava entregaron una edad en torno a 1,0 ka AP. C. Secuencia piroclástica en las cercanías de las nacientes del río Ibáñez. Destacan dos potentes depósitos de flujo piroclástico, que estarían asociados a las mayores erupciones holocenas del volcán Hudson (7,7 y 3,9 ka AP). D. Depósito no consolidado de poco más de un metro de espesor, generado como consecuencia de agradación fluvial generado a partir de la erupción de 2011. Inmediaciones de la bifurcación de los valles de los ríos Huemules y Cupquelán.

costera insular entre los golfos Corcovado y Penas. Según estos autores, de acuerdo a la caracterización geoquímica de las cenizas, al menos siete eventos habrían sido derivados de erupciones del volcán Hudson, en los últimos 15 mil años, identificándose también las mayores erupciones reportadas por Naranjo y Stern (1998). Del mismo modo, Carel *et al.* (2011), basándose en un testigo de sedimentos marinos colectado en las cercanías de la península de Taitao, demostraron la ocurrencia de doce niveles piroclásticos asociados a erupciones explosivas en los últimos 22 mil años. Recientemente se ha reportado la ocurrencia de niveles piroclásticos en testigos de sedimentos lacustres provenientes de lagos ubicados alrededor de 100 km hacia el E y NE del volcán, en las cercanías del límite Chile-Argentina. En un trabajo de alta resolución temporal, Elbert *et al.* (2013) reportaron al menos ocho niveles piroclásticos en los últimos 4 mil años, predominantemente de composición andesítico-basáltica y andesítica. Finalmente, Weller *et al.* (2014) presentó un análisis de un potente nivel piroclástico de composición bimodal asociado a una erupción de gran magnitud ocurrida datada en torno a 17,4 ka AP, al comienzo de la desglaciación en la zona. Sin embargo, aparte de su identificación en los sedimentos lacustres, a la fecha no se han observado afloramientos subaéreos derivados de esta erupción.

Son escasos los reportes que mencionan la presencia de lavas posglaciales del volcán Hudson, con la excepción de coladas de lava andesítico-basálticas que afloran en las nacientes del río Huemules y en el extremo noroccidental de la caldera volcánica, los cuales fueron descritos como Basaltos del Huemules (Godoy *et al.*, 1981; Orihashi *et al.*, 2004). En este estudio se colectó una muestra orgánica bajo una colada de lava (Fig. 3b), el cual entregó una edad en torno a 1 ka AP, edad más joven que aquella propuesta por

Orihashi *et al.* (2004), quienes sugieren que estas coladas estarían asociadas a una erupción en torno a los 13 ka AP. Es probable, sin embargo, que el emplazamiento de estos flujos de lava haya sido originado por múltiples erupciones de carácter extrusivas. De acuerdo a Bertin (2014), la colada de lava datada en 1 ka AP estaría correlacionada con los depósitos de tefra escoriácea identificados en distancias en torno a 100 km hacia el N y E del volcán, la cual está presente en el registro de Elbert *et al.* (2013).

Estas evidencias sugieren que la frecuencia eruptiva del volcán Hudson es alta, pero presenta un patrón irregular. Por lo tanto, se hace necesaria una compilación e interrelación de los eventos ocurridos y una mejor estimación de los volúmenes eruptivos, con el objeto de realizar estudios estadísticos robustos de frecuencia-magnitud.

ACTIVIDAD ERUPTIVA HISTÓRICA

No obstante la existencia de reportes de una serie de eventos eruptivos ocurridos en el siglo XIX en la región (e.g. Sapper, 1927), evidencia fidedigna de tales erupciones no ha sido confirmada. En particular, se cita una erupción explosiva ocurrida en 1891 aunque se desconoce detalles referentes a su duración o a la extensión de los depósitos asociados (Naranjo *et al.*, 1993; Petit-Breuilh, 2004). De esta forma, el primer registro eruptivo relativamente bien documentado corresponde a una erupción explosiva ocurrida en agosto de 1971 (Guzmán, 1981; Best, 1989; Best, 1992). Los principales efectos de esta erupción se relacionan a la caída de material piroclástico en parte importante de la región, además de la generación de lahares que descendieron por el valle del río Huemules con efectos desastrosos para los habitantes del sector, costando la vida a 5 de ellos, además de provocar cuantiosos daños en infraestructura y pérdida de ganado. En 1973 se reportó una erupción probablemente subglacial, la cual, a pesar de constituir una erupción menor, generó nuevamente lahares destructivos en los valles de los ríos Huemules y Cupquelán (Best, 1992; Naranjo *et al.*, 1993).

La erupción de agosto de 1991 corresponde a una de las mayores erupciones ocurridas en el sur de los Andes y en el mundo entero en tiempos históricos, cuyo volumen de magma emitido se estima cercano a los 2,5 km³ (Scasso *et al.*, 1994). La cronología eruptiva estuvo caracterizada por dos fases principales, las que difirieron en magnitud, composición química de los productos juveniles y dispersión piroclástica en la atmósfera. La primera fase ocurrió entre el 8 y 9 de Agosto de 1991 y dio origen a una columna eruptiva de unos 12 km de altura, la cual tuvo una marcada dispersión de material escoriáceo de composición andesítica-basáltica hacia el norte, reportándose caída piroclástica al menos hasta el pueblo de La Junta, unos 220 km al norte del volcán. De forma simultánea a la actividad explosiva, se produjo la emisión de un flujo de lava desde una fisura de unos 4 km de largo en el borde NO de la caldera, flujos escoriáceos menores y un flujo lahárico que descendió por el valle del río Huemules (Naranjo *et al.*, 1993). En contraste, la segunda fase de la erupción, ocurrida entre el 12 y 16 de Agosto del mismo año, consistió en una serie de columnas eruptivas que alcanzaron hasta 18 km de altura, emitidas desde un cráter de unos 800 m de diámetro localizado al interior de la caldera. La región ubicada hacia el sureste del volcán, incluyendo parte de la Patagonia Argentina, fue impactada directamente por la acumulación piroclástica de material de composición andesítica, cuyos efectos persisten hasta el presente. Se estima que cerca de 1 millón de cabezas de ganado perecieron como consecuencia de la cubierta piroclástica sobre el forraje (Wilson *et al.*, 2011). En Octubre de 1991 ocurrió un voluminoso lahar que habría descendido por los valles de los ríos Huemules y Cupquelán, recorriendo al menos 45 km. Por otra parte, el cauce del río Ibáñez, hacia el SE del volcán, sufrió modificaciones y se produjeron inundaciones en las parte altas de éste. El transporte de material piroclástico por ese curso fluvial derivó en la formación de un delta en su desembocadura en el lago General Carrera, a unos 100 km al SE del volcán, inutilizando el embarcadero del pueblo Ingeniero Ibáñez (Naranjo *et al.*, 1993).

El último ciclo eruptivo del volcán Hudson, ocurrió hacia fines del mes de octubre del 2011, el cual se caracterizó por una erupción de tipo freatomagmática asociada a la aparición de 4 nuevos cráteres en el casquete glaciar, en el extremo SO de la caldera. Las columnas eruptivas no sobrepasaron los 5 km de altura

sobre la caldera y, por lo tanto la emisión de material piroclástico, de composición andesítica (Bertin, 2014), estuvo restringida a las inmediaciones de la caldera. No obstante la baja magnitud e intensidad eruptiva, flujos laháricos de tamaño moderado descendieron por el valle del río Huemules e inundaron parcialmente el valle del río Cupquelán (Fig. 3d), lo que implicó la evacuación aérea de al menos 5 pobladores. De acuerdo al análisis de diversos sensores satelitales, Delgado *et al.* (2014) indicaron la presencia de anomalías térmicas aproximadamente 4 meses antes de la erupción de octubre 2011 y reportaron una leve inflación del edificio volcánico al menos durante los 6 años precedentes a la erupción, lo que posiblemente esté asociado a la acumulación de magma en profundidad.

Finalmente, pobladores del valle Huemules han manifestado episodios de contaminación atmosférica por gases volcánicos en la década de 1990. Se desconoce el origen de estas descargas gaseosas, no obstante podrían estar relacionadas a algún tipo de actividad subglacial que no produjo manifestaciones observables en superficie. Las concentraciones gaseosas fueron tales que ocasionaron la muerte de animales domésticos y de algunas cabezas de ganado, e incluso sensibles en las principales ciudades de la región, como Puerto Aysén y Coyhaique.

En resumen, los fenómenos volcánicos más recurrentes en este volcán están asociados a erupciones explosivas y efusivas. En el primer caso, la caída piroclástica parece ser un fenómeno común a todas las erupciones identificadas, mientras que la generación y emplazamiento de flujos piroclásticos que sobrepasen el borde de la caldera se asocian a erupciones de mayor magnitud eruptiva. Las erupciones efusivas, han generado flujos de lava que han descendido hacia las nacientes del Río Huemules, si bien su extensión no ha superado los 10 km desde el borde noroccidental de la caldera. Es importante destacar que durante la ocurrencia de erupciones tanto del tipo efusivas como explosivas, se han generado lahares originados por fusión parcial del casquete glaciar principalmente hacia los valles de los ríos Huemules y Cupquelán, así como también lahares por removilización de material piroclástico de caída y/o flujo, principalmente hacia el valle del río Ibáñez.

Los fenómenos explicitados anteriormente serán analizados y modelados con el objetivo de construir una zonificación de peligros volcánicos. El peligro asociado a gases volcánicos no se considera en este análisis dada su alta incertidumbre en términos del tipo de gas emitido, período y lugar de emisión, concentración y transporte en torno al volcán.

METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS

Con la finalidad de generar una cartografía de peligros volcánicos sobre la base de criterios objetivos, se ha realizado un trabajo geológico de campo orientado a caracterizar física y químicamente los productos volcánicos asociados a la actividad eruptiva holocena del volcán Hudson, y por lo tanto, mediante relaciones estratigráficas y métodos analíticos, se ha establecido la evolución cronológica de los procesos de interés. En forma complementaria, se adoptó un conjunto de técnicas de modelación apropiadas para algunos procesos volcánicos, que en conjunto permitieron delinear las distintas zonas de peligro volcánico.

La evaluación de los peligros volcánicos se fundamenta en el análisis independiente por cada tipo de proceso, en particular, lahares, flujos piroclásticos, lavas, proyecciones de piroclastos balísticos y acumulación de piroclastos de caída.

LAHARES

Las zonas susceptibles de ser inundadas por lahares fueron delineadas en consideración de los antecedentes históricos disponibles y a partir de las observaciones de terreno, es decir la identificación de depósitos laháricos preservados el registro geológico además de evidencias geomorfológicas, sin la utilización de modelos numéricos. En este análisis particular, los lahares se subdividieron en dos grupos. En primera instancia aquéllos originados por la fusión de hielo y/o nieve producto de la interacción de la

cobertura glacial anidada en la caldera con productos derivados de la actividad eruptiva. Los flujos derivados poseen dinámicas de flujos hiperconcentrado y en menor medida flujos de detritos, de volumen pequeño a moderado que han fluido hacia los valles de los ríos Huemules y Cupquelán (Best, 1992; Branney y Gilbert, 1995). Además, de acuerdo a los relatos de pobladores, se infiere que también podrían afectar los cauces superiores de los afluentes que conforman el Río Sorpresas. Las zonas inundadas por este tipo de lahares durante las erupciones históricas se consideran como muy alto peligro. Lahares de mayor volumen a los observados en tiempos históricos, capaces de inundar prácticamente la mayor parte de los valles de los ríos Huemules y Cupquelán y eventualmente alcanzar la desembocadura del río Sorpresas en bahía Erasmo, son considerados en la zonificación de alto peligro. Lahares de magnitud superior a los observados en el registro holoceno, capaces de colmar completamente los valles antes mencionados, se consideran en la zonificación de moderado peligro.

Un segundo grupo engloba lahares formados por removilización por lluvia de piroclastos de caída, también denominados lahares secundarios, los que se componen por flujos de dinámica hiperconcentrado o bien inundaciones fluviales. Estos depósitos han sido identificados principalmente a lo largo del valle del río Ibáñez, pero su ocurrencia es esperable en los valles más susceptibles de recibir caída piroclástica, los cuales no están necesariamente conectados al edificio volcánico. Los cursos superiores de los ríos Ibáñez y El Frío, afectados por lahares secundarios durante la erupción de 1991, son considerados en la zonificación de alto peligro. La ocurrencia de lahares secundarios de magnitud mayor a los observados en la historia reciente y con capacidad de inundar completamente el curso superior del río Ibáñez, se consideran como peligro moderado. Finalmente, los cursos medio y bajo de los cauces ubicados hacia el E, NE y SE del volcán son considerados en la zonificación de bajo peligro.

FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Se han identificado potentes depósitos derivados de flujos piroclásticos hacia el norte, sureste y suroeste del volcán, los que están asociados al menos a dos erupciones holocenas. La generación de flujos de esta naturaleza es esperable ante erupciones de magnitud igual o superior a las observadas en tiempos históricos. Su impacto sería devastador en las zonas afectadas y podría implicar una prolongada alteración de los cursos fluviales. De acuerdo a la extensión observada de depósitos asociados, en particular la distancia desde el frente del depósito y la diferencia en cota con la fuente, se construyen conos de energía los que al intersectarse con un modelo de elevación digital entregan áreas igualmente susceptibles de ser afectadas por éstos procesos, pudiendo extrapolarse a sectores donde no se dispone de observaciones o evidencia de campo (Malin y Sheridan, 1982). De esta manera, zonas susceptibles derivadas de conos de energía contruidos de acuerdo a la información asociada a eventos holocenos, forman parte de la zonificación de alto peligro, y representan principalmente los sectores ubicados al norte y oeste de la caldera volcánica, donde afloran de mejor manera estos depósitos. Además, se incluye las nacientes de los ríos Ibáñez, El Frío y Bayo. Adicionalmente, la modelación de la extensión de depósitos de magnitud mayor a los observados, pero esperables de acuerdo a la historia eruptiva posglacial del volcán, conforman parte de la zonificación de peligro moderado, donde se engloban áreas en torno a unos 20 km del centro de la caldera, e incluyen principalmente las inmediaciones de los valles de los ríos mencionados anteriormente. Los parámetros utilizados para la construcción de los conos de energía utilizados se explicitan en la Tabla 1, Anexo I.

FLUJOS DE LAVAS:

Lavas recientes, ya sean históricas, holocenas o postglaciales, se han identificado solamente en las nacientes del río Huemules (Bertin, 2014; Orihashi *et al.*, 2004; Naranjo *et al.*, 1993). Corresponden a flujos de lava de composición andesítico-basáltica de pocos metros de espesor, cuya extensión alcanza alrededor de unos 5 km desde el frente del glaciar, por lo tanto su influencia directa se encuentra restringida a ese entorno. Sin embargo, los efectos derivados de su origen y emplazamiento se asocian principalmente al estancamiento de los cursos fluviales y a la generación de lahares por el valle del río Huemules. Dada su recurrencia y efectos derivados, el área cubierta por éstas se considera parte de la zonificación de muy alto peligro.

PROYECCIONES DE PIROCLASTOS BALÍSTICOS

Cráteres de impacto asociados a bombas pumíceas, derivadas particularmente de la segunda fase de la erupción de 1991 y a pequeños cráteres freáticos, han sido reportados dentro de la caldera y en las inmediaciones del edificio volcánico, hasta una distancia de 8 km del cráter principal y corresponden a piroclastos irregulares, poco densos y de formas elongadas (Naranjo *et al.*, 1993). En este estudio, la distancia horizontal máxima estimada para los piroclastos balísticos se realizó mediante la simulación de trayectorias considerando una serie de parámetros físicos y morfométricos que rigen su comportamiento (Mastin, 2001), en consideración de un total de seis cráteres de emisión hipotéticos, con la finalidad de cubrir el perímetro que conforma la caldera. Los parámetros utilizados corresponden a la emisión de piroclastos densos de tipo bloques de unos 70 cm de diámetro, y que reconstruyen de manera satisfactoria los alcances máximos observados en otros volcanes de los Andes (Bertin y Amigo, 2014). Estos representan zonas de influencia mayor al de piroclastos menos densos y por lo tanto los alcances de bombas piroclásticas quedará dentro de la zona simulada. La zona susceptible de ser afectadas por proyecciones balísticas forma parte de la zonificación de muy alto peligro y los parámetros utilizados en la modelación se especifican en la Tabla 2, Anexo I.

CAÍDA DE PIROCLASTOS

La evaluación de la dispersión y acumulación de piroclastos de caída se realizó tanto para zona proximal como para la zona regional, de acuerdo a escenarios eruptivos acordes a la historia geológica del volcán. Para evaluar la acumulación proximal de piroclastos de caída, se consideró una erupción pliniana menor (IEV 4-5; Newhall y Self, 1982), con una altura de columna de 20 km s.n.m. y masa emitida de 5×10^{12} kg, similar al evento explosivo mayor de la erupción de 1991 (Amigo, 2013). Para la evaluación de acumulación regional, se modelaron 2 escenarios, incluyendo, además, un evento pliniano mayor, definido por un orden de magnitud superior y columna eruptiva de 25 km s.n.m. (IEV 5-6). Mediante el modelo de advección-difusión Tephra2 (Bonadonna *et al.*, 2005) se realizó un conjunto de simulaciones numéricas bajo condiciones meteorológicas representativas para la región, las que han sido extraídas de campos meteorológicos globales (Kanamitsu *et al.*, 2002) y sintetizadas en un año típico (Tabla 3 y Figura 1, Anexo I), según metodología propuesta por Scaini *et al.*, (2012). Con estos resultados se generó un conjunto de curvas asociadas a probabilidades de formación de espesores de piroclastos de caída cuyo impacto es de interés (Blong, 1984). Cabe destacar que la probabilidad calculada es condicional, es decir representa la probabilidad de acumular piroclastos solo si ocurre el escenario eruptivo modelado (Amigo, 2013). De esta forma, no se cuantifica la probabilidad de ocurrencia del escenario eruptivo, ni el espesor de piroclastos esperable en un intervalo de tiempo determinado.

RESULTADOS Y ALCANCES

La zonificación de peligro indicada en la cartografía adjunta, corresponde a una sistematización del amplio espectro de posibilidades derivado del registro geológico de erupciones pasadas, con el objetivo de proveer información sobre los procesos volcánicos esperables ante futuras erupciones del volcán Hudson, su grado de peligrosidad y las áreas vulnerables. De esta manera, la representación de los peligros se realiza en tres mapas de distintas escalas.

El mapa principal (escala 1:75.000) muestra una zonificación integrada de los peligros volcánicos proximales, donde se incluyen las áreas susceptibles de ser afectadas por lahares, flujos piroclásticos, lavas y piroclastos balísticos. Se ha definido escalas de peligro muy alto, alto, y moderado, de acuerdo a la recurrencia de los eventos y sus magnitudes observadas y/o inferidas. De esta manera, las proximidades de la caldera así como los valles de los ríos Huemules y Cupquelán corresponden a las zonas que podrían verse más severamente afectadas ante una futura erupción volcánica independiente de su magnitud, mientras que erupciones mayores pueden afectar las inmediaciones valles de los ríos Sorpresas, Ibáñez, El Frío y Cajón Bravo.

En el mapa principal se muestra parcialmente la zona de bajo peligro, la que se indica de manera completa en una mapa de peligros distales (escala 1:350.000), asociados a la eventual ocurrencia de lahares secundarios por removilización por lluvia de piroclastos de caída a través de los principales cursos fluviales. Las zonas afectadas se encuentran registradas a los valles que son más susceptibles de recibir caída piroclástica ante erupciones explosivas. Por lo tanto, la ocurrencia de este tipo de fenómenos viene dada por el tipo de erupción, la dispersión atmosférica y la formación de depósitos piroclásticos aptos de ser removilizados.

En ambos mapas se incluyen tres curvas que indican la probabilidad de acumular depósitos piroclásticos de caída de espesor mayor o igual que 10 cm, dada la ocurrencia de un evento eruptivo de características similares a la segunda fase de la erupción de Agosto de 1991. En este caso, se consideran los patrones de dispersión atmosférica representativos de un año. Esencialmente la zona ubicada al E del volcán corresponde a la que podría ser mayormente afectada por caída piroclástica, encontrándose las localidades de Villa Frei, Villa Cerro Castillo y El Blanco dentro de la curva de 50% de probabilidad.

Un tercer mapa (escala 1:3.000.000) muestra los resultados de modelación numérica y análisis probabilístico de acumulación de piroclastos de caída en escala regional, para lo cual se consideró un espesor mayor o igual que 1 cm. En este caso el análisis se hace en función de dos escenarios eruptivos y de patrones de dispersión atmosférica de acuerdo a las cuatro estaciones del año. Con el objetivo de mejorar la representación gráfica, se generó una escala independiente de peligrosidad asignándose categorías de alto (probabilidad mayor a 50%), moderado (probabilidad entre 25 y 50%) y bajo peligro (probabilidad entre 12,5% y 25%). Este análisis muestra, al igual que en el caso anterior, que las zonas más susceptibles de ser afectadas se encuentran hacia el E, NE y SE del volcán, incluyendo la ciudad de Coyhaique y los pueblos de Balmaceda y Puerto Ibáñez. De forma interesante, se evidencia que durante la época invernal la probabilidad de dispersión hacia el N y NE aumenta significativamente con respecto a otras estaciones del año, pudiendo afectar las ciudades de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco, tal como aconteció durante la primera fase de la erupción de Agosto de 1991.

REFERENCIAS

- Amigo, A. 2013. Tephra fall and lahar hazards estimation at Hudson volcano, southern Chile: insights from numerical models. *In Geological Society of America Special Papers 498: Understanding Open Vent Volcanism and Related Hazards* (Palma, J.L.; Rose, B.; Varley, N.; Delgado-Granados, H. editors): 177–459.
- Bertin, L. 2014. Granulometría, morfología, geoquímica y geocronología de los productos holocenos del volcán Hudson, Región de Aysén, Chile. Memoria de **Título** (Inédito), Universidad de Concepción: 110 p.
- Bertin, D.; Amigo, A. 2014. A new tool to delimit hazard zones for volcanic ballistics: Theory, implementation, results and back-analysis. *In Modeling Hazardous Events: New Techniques to Model, Assess and Mitigate Volcano Hazards*, Abstract cov8-abs-30, Cities on Volcanoes 08, Yogyakarta, Indonesia.
- Best, J.L. 1989. Fluidization pipes in volcanoclastic mass flows, Volcan Hudson, Southern Chile: *Terra Nova* 1: 203-208.
- Best, J.L. 1992. Sedimentology and event timing of a catastrophic volcanoclastic mass flow, volcán Hudson, southern Chile: *Bulletin of Volcanology* 54: 299-318. doi:10.1007/BF00301484.
- Blong, R.J. 1984. *Volcanic Hazards, a source book on the effects of eruptions*. Academic Press, Sydney, Australia: 424 p.
- 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, doi:10.1029/2003JB002896.
- Branney, M.J.; Gilbert, J.S. 1995. Ice-melt collapse pits and associated features in the 1991 lahar deposits of Volcan Hudson, Chile: criteria to distinguish eruption-induced glacier melt: *Bulletin of Volcanology* 57: 293-302.
- Carel, M.; Siani, G.; Delpech, G. 2011. Tephrostratigraphy of a deep-sea sediment sequence off the South Chilean margin: New insight into the Hudson volcanic activity since the last glacial period: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 208: 99-111. doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.09.011.
- Delgado, F.; Pritchard, M.; Lohman, R.; Naranjo, J.A. 2014. The 2011 Hudson volcano eruption (Southern Andes, Chile): Pre-eruptive inflation and hotspots observed with InSAR and thermal imagery. *Bulletin of Volcanology* 76: 815 p.
- Elbert, J.; Wartenburger, R.; von Gunten, L.; Urrutia, R.; Fischer, D.; Fajak, M.; Hamann, Y.; Greber, N.D.; Grosjean, M. 2013. Late Holocene air temperature variability reconstructed from the sediments of Laguna Escondida, Patagonia, Chile (45°30'S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369: 482-492.

- Fuenzalida, R.; Espinoza, W. 1974. Hallazgo de una caldera volcánica en la provincia de Aysén. *Revista Geológica de Chile* 1: 64-66.
- Gardeweg, M.; Sellés, D. 2013. Tephrochronology from Villa Cerro Castillo to Lago O'Higgins, Aysén, Chile: new insights on the 6,700 and 3,600 years BP of Hudson volcano. In: *Geosur 2013, An International Symposium on the Geology and Geophysics of the Southern Hemisphere*. 25- 27 Noviembre. Viña del Mar.
- Godoy, E.; Dobbs, M.; Stern, C.R. 1981. El volcán Hudson, primeros datos químicos e isotópicos en coladas interglaciales. *Universidad de Chile, Comunicaciones* 32: 1-9. Santiago.
- Gradstein, F.M.; Ogg, J.G.; Schmitz, M.D.; Ogg, G.M. 2012. *The Geological Time Scale 2012*. Oxford. Elsevier. 1176p.
- Gutiérrez, F.; Gioncada, A.; González-Ferrán, O.; Lahsen, A.; Mazzuoli, R. 2005. The Hudson volcano and surrounding monogenetic centres (Chilean Patagonia): an example of volcanism associated with ridge-trench collision environment. *Journal of Volcanology Geothermal Research* 145: 207-233.
- Guzmán, J.C. 1981. Informe preliminar sobre erupción del volcán Hudson norte o Volcán Huemules. *Trapananda* 1: 35-42.
- Haberle, S.G.; Lumley, S.H. 1998. Age and origin of tephra recorded in postglacial lake sediments to the west of the southern Andes, 44°S to 47°S: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 84: 239-256, doi:10.1016/S0377-0273(98)00037-7.
- 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.
- Kratzmann, D.J.; Carey, S.N.; Scasso, R.A.; Naranjo, J.A. 2009. Compositional variations and magma mixing in the 1991 eruptions of Hudson Volcano, Chile: *Bulletin of Volcanology* 71: 419-439. doi:10.1007/s00445-008-0234-x.
- Kratzmann, D.J.; Carey, S.N.; Scasso R.A.; Naranjo J.A. 2010a. Role of cryptic amphibole crystallization in magma differentiation at Hudson volcano, Southern Volcanic Zone, Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 159(2): 237-264.
- Kratzmann, D.J.; Carey, S.N.; Fero, J.; Scasso, R.A.; Naranjo, J.A. 2010b. Simulations of tephra dispersal from the 1991 explosive eruptions of Hudson Volcano, Chile: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 190: p. 337-352. doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.11.021.
- Malin, M.C.; Sheridan, M.F. 1982. Computed-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science* 217: 637-639.
- Mastin, L.G. 2001. A simple calculator of ballistic trajectories for blocks ejected during volcanic eruptions. U.S. Geological Survey, Open-File Report 01-45.
- Naranjo, J.A.; Stern, C.R. 1998. Holocene explosive activity of Hudson Volcano, southern Andes: *Bulletin of Volcanology* 59: 291-306, doi:10.1007/s004450050193.
- Naranjo, J.A.; Moreno, H.; Banks, N.G. 1993. La Erupción del Volcán Hudson en 1991 (46°S), Región de Aysén, Chile: *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín* 44: 50 p.
- Newhall, C.; Self, S. 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research* 87: 1231-1238.
- Orihashi, Y.; Naranjo, J.A.; Motoki, A.; Sumino, H.; Hirata, D.; Anma, R.; Nagao, K. 2004. Quaternary volcanic activity of Hudson and Lautaro Volcanoes, Chilean Patagonia: New constraints from K-Ar ages: *Revista Geológica de Chile* 31: 207-224.
- Pankhurst, R.J.; Weaver, S.D.; Hervé, F.; Larrondo, P. 1999. Mesozoic-Cenozoic evolution of the North Patagonian Batholith in Aysén, southern Chile: *Journal of the Geological Society of London* 156: 673-694. doi:10.1144/gsjgs.156.4.0673.
- 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.
- Rivera, A.; Bown, F. 2013. Recent glacier variations on active ice capped volcanoes in the Southern Volcanic Zone (37°-46°S), Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 45: 345-356.
- Sapper, K. 1927. *Vulkankunde*. J. Englehorn's Nachf., Stuttgart, 424 p.
- Scaini, C.; Folch, A.; Navarro, M. 2012. Tephra hazard assessment at Concepcion volcano, Nicaragua. *Journal of Volcanology 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.
- Stern, C.R. 1991. Mid-Holocene tephra on Tierra del Fuego (54°S) derived from the Hudson Volcano (46°S): Evidence for a large explosive eruption. *Revista Geológica de Chile* 18: 139-146.
- Stern, C.R. 2004. Active Andean volcanism: Its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile* 31: 161-206.
- Stern, C.R. 2008. Holocene tephrochronology record of large explosive eruptions in the southernmost Patagonian Andes. *Bulletin of Volcanology* 70: 435-454.
- Weller, D.; Miranda, C.G.; Moreno, P.I.; Villa-Martínez, R.; Stern, C.R. 2014. The large late-glacial Ho eruption of the Hudson volcano, southern Chile. *Bulletin of Volcanology* 76: 831 p. doi: 10.1007/s00445-014-0831-9.
- Wilson, T.; Cole, J.; Cronin, S.; Stewart, C.; Johnston, D. 2011. Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Volcán Hudson, Patagonia: Lessons for recovery. *Natural Hazards* 57: 185-212, doi:10.1007/s11069-010-9604-8.

ANEXOS

ANEXO I

- Tabla 1. Parámetros considerados en la construcción de conos de energía
- Tabla 2. Parámetros considerados en la simulación de piroclastos balísticos
- Tabla 3. Año meteorológico típico para distintas alturas atmosféricas
- Fig. 1. Dirección y velocidad del viento para un año típico para diferentes alturas sobre el volcán Hudson

ANEXO II

Glosario

ANEXO I

TABLA 1. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CONOS DE ENERGÍA PARA DEPÓSITO OBSERVADOS EN EL HOLOCENO (PELIGRO ALTO) Y DEPÓSITOS INFERIDOS DE DIMENSIONES MAYORES DIMENSIONES (PELIGRO MODERADO).

UBICACIÓN		Parámetros de modelación y tipo de peligro asociado								
		Conos de sección recta			Conos de sección recta					
Volcán	Longitud	Latitud	Altura m s.n.m.	Peligro	m	Altura adicional (m)	k	Altura adicional (m)	Altura mínima (m)	Coefficiente de roce dinámico
Hudson	72,959°W	45,924°S	1.345	Alto	12	750	8,5	750	0	0,1592
				Moderado	10	750	-	-	-	-

k corresponde al valor de la pendiente de un sólido de revolución de sección transversal exponencial decreciente; m corresponde al valor de la pendiente de un sólido de revolución de sección transversal recta.

TABLA 2. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN LA SIMULACIÓN DE PIROCLASTOS BALÍSTICOS DE TIPO BLOQUES.

UBICACIÓN		Parámetros de modelación y tipo de peligro asociado										
Cráter	Longitud	Latitud	Altura m s.n.m.	Peligro	Densidad del bloque (kg/m ³)	Radio mayor del bloque (m)	Radio intermedio del bloque (m)	Radio menor del bloque (m)	Velocidad de eyección (m/s)	Coefficiente de arrastre	Coefficiente de masa agregada	Ángulo de lanzamiento (°)
1	72,996°W	45,892°S	1.100	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42
2	73,007°W	45,926°S	1.320	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42
3	72,993°W	45,955°S	1.415	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42
4	72,948°W	45,941°S	1.440	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42
5	72,924°W	45,913°S	1.490	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42
6	72,950°W	45,884°S	1.440	Muy alto	2.000	0,7	0,3	0,3	198	0,02	0,2	42

TABLA 3. AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS SOBRE EL VOLCÁN HUDSON. SE MUESTRAN DISTINTAS ALTURAS EN km SOBRE EL NIVEL DEL MAR (s.n.m)

Mes	Estación	6 km s.n.m.	12 km s.m.m.	17 km s.n.m.	22 km s.n.m.
Enero	Verano	2004	2005	1995	2005
Febrero	Verano	1999	1999	1999	1999
Marzo	Otoño	2000	2010	2005	2005
Abril	Otoño	2006	1995	2006	2001
Mayo	Otoño	2002	2000	2000	2008
Junio	Invierno	2009	1999	1993	2007
Julio	Invierno	1994	1992	1994	1997
Agosto	Invierno	2006	2006	1992	1991
Septiembre	Primavera	1997	1996	2004	2004
Octubre	Primavera	2007	2008	2000	2008
Noviembre	Primavera	1997	2001	2001	1995
Diciembre	Verano	1996	1996	1996	1999

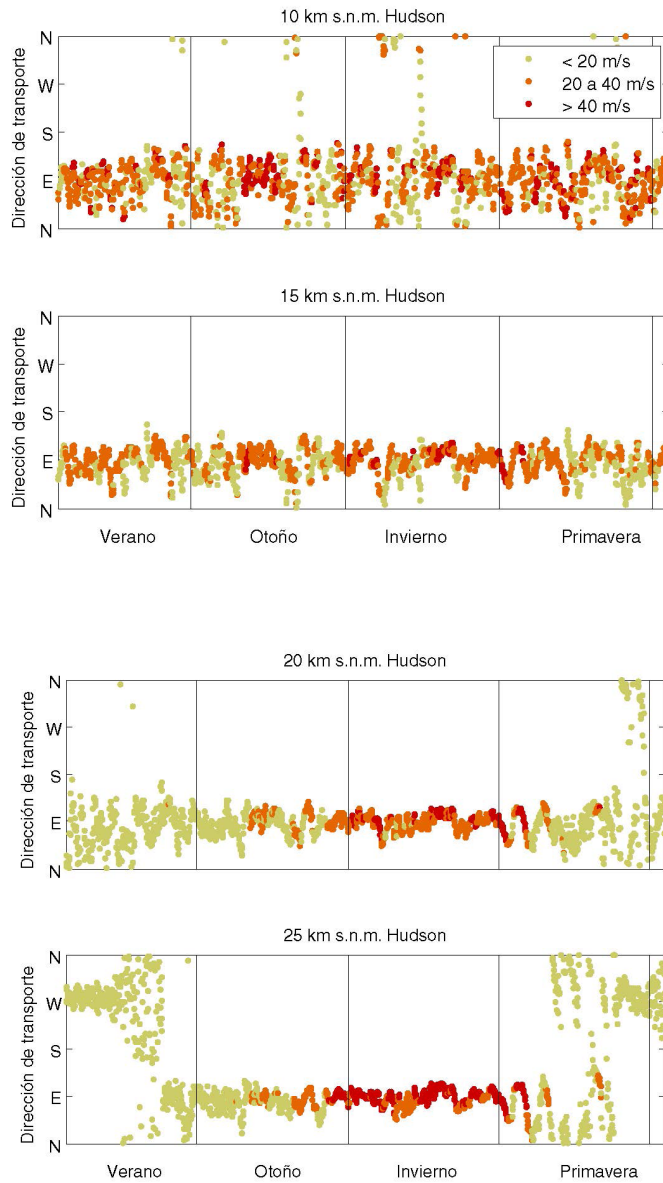


FIG 1. Dirección y velocidad del viento para un año típico para diferentes alturas sobre el volcán Hudson (10, 15, 20 y 25 km sobre el nivel del mar). Se muestra información para 4 datos por día durante los meses de enero, febrero (Verano), marzo, abril, mayo (Otoño), junio, julio, agosto (Invierno), septiembre, octubre, noviembre (Primavera) y diciembre (Verano).

GLOSARIO

a 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.

Bomba / Bloque: Ver piroclasto

Caída de piroclastos: Lluvia de piroclastos sobre la superficie desde columnas eruptivas y penachos volcánicos, los que caen por gravedad en función de su densidad, tamaño y morfología. 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. Los piroclastos más finos (por ejemplo ceniza < 2 mm) pueden ascender a las capas superiores de la atmósfera y ser transportados 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 volcánicos, formada por el colapso vertical en un estratovolcán o complejo volcánico, durante una erupción de gran magnitud.

Ceniza: Ver piroclasto

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 emitido a la superficie por un cráter o fisura. La emisión se caracteriza por ocurrir de manera tranquila (no explosiva) y generalmente a alta temperatura (700-1200°C). Su desplazamiento es controlado por diversos factores como la gravedad, pendiente, contenido de cristales, entre otros, dando origen a flujos viscosos o fluidos que escurren a velocidades entre 1 km/día a 10 km/h.

Columna eruptiva, penacho volcánico: Mezcla de piroclastos y gases de alta temperatura, generada durante erupciones explosivas, que asciende sobre el cráter y se inyecta a la atmósfera hasta alcanzar un nivel de equilibrio. Puede ser dispersada lateralmente según la dirección de viento predominante y por difusión atmosférica, dando origen a un penacho o pluma volcánica.

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: Corresponde a la composición química de un magma. Una escala de amplia utilización se basa en los contenidos de sílice y potasio, definiéndose 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 (aproximadamente 30°) y un cráter central con forma de 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 volcánico: Complejo volcánico elongado caracterizado por una migración de la actividad eruptiva, usualmente a largo de un lineamiento estructural.

Coulées: Coladas domo, típicamente de composición 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 en la superficie de un piroclasto volcánico usualmente de tamaño bloque o bomba, expulsado de manera balística desde el centro emisor.

Depósito piroclástico: Acumulación de piroclastos sobre la superficie terrestre, como consecuencia de procesos de caída o de flujo. Depósitos de flujos piroclásticos presenta mala selección y son potentes cerca de la fuente, pero disminuyen rápidamente su espesor al aumentar la distancia de ésta. En general, se encauzan en las depresiones topográficas. Cuando el volumen del depósito es moderado a alto, se le denomina genéricamente como ignimbrita. Depósitos piroclásticos de caída se caracterizan por su buena selección y por mantener un espesor constante en la topografía. Un depósito piroclástico no consolidado recibe el término genérico tefra, mientras que cuando se encuentra consolidado se denomina toba.

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 las cuales es eyectada abundante escoria la cual 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 transporta 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 inyecta 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 (generalmente 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 vítreo usualmente de color oscuro, que se forma durante erupciones explosivas, por la fragmentación de un magma de composición pobre en sílice a intermedia.

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 es un estratovolcán 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 bloques y ceniza: Ver Flujo piroclástico

Flujo piroclástico: Corriente densa formada por piroclastos (de tamaño variable, desde milímetros a varios metros) y gases, que se desplaza por gravedad por las laderas de un volcán principalmente a lo largo de depresiones topográficas. Se caracteriza por su alta temperatura (decenas a centenas de °C) y alta velocidad (100-500 km/h) y posee un alto poder destructivo. Generalmente se origina por el colapso de una columna eruptiva explosiva, densa y cargada de partículas incandescentes, así como también por el colapso parcial 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, geográficamente separados de los estratovolcanes vecinos.

Holoceno: Época geológica que se extiende entre los 11.700 años hasta la actualidad (Gradstein *et al.*, 2012).

ka: 1.000 años.

Ignimbrita: ver depósito piroclástico

Índice de Explosividad Volcánica, **IEV (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 directa de la masa emitida.

Lahar: Flujo formado por una gran descarga de fragmentos volcánicos, 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 desplazan por los cauces que descienden de un edificio volcánico, a velocidades que pueden alcanzar los 80 km/h y son altamente destructivos. La proporción de agua y sedimentos en el flujo tiene relevancia ya que define su dinámica. Cuando la proporción de sedimentos es mayor a 60% se denomina flujo de detritos. Si la proporción es entre 40 y 60% se denomina flujo hiperconcentrado.

Depósito lahárico: Acumulación de material volcánico producida por un lahar.

Lahar secundario: Flujo originado por la removilización por lluvia de piroclastos de caída. Generalmente corresponden a flujos del tipo hiperconcentrado.

Lapilli: Ver piroclasto

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 a contacto con el aire.

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

Levé: Promontorio topográfico generado en los bordes laterales de un flujo, debido a una diferencia de velocidades entre la sección central y la sección lateral. Son comunes 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: Fundido silicatado a alta temperatura (700-1300°C) formada por una mezcla (con distintas proporciones) de líquido, 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 periodo 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 que al ser emitido desde un cráter sigue una trayectoria parabólica, similar a un proyectil, con poca influencia del viento. Usualmente corresponden a tamaños de bombas y bloques.

Pleistoceno: Época geológica que se extiende entre los 2,588 millones de años y los 11.700 años (Gradstein *et al.*, 2012). El Pleistoceno Superior considera el período transcurrido entre los 126.000 y los 11.700 años.

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 composición rica en sílice a intermedia.

Prehistórico: Período que antecede el registro escrito. En Chile se estima que este comenzó con la llegada de los conquistadores españoles, en el siglo XVI.

Presente: En la escala de datación por el radio-isótopo ^{14}C , se define Presente como el año 1.950 d.C.

Pumíceo: Que contiene pómez.

Razón de aspecto: Proporción entre la extensión y la altura de un determinado producto, se emplea comúnmente para flujos lávicos.

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

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

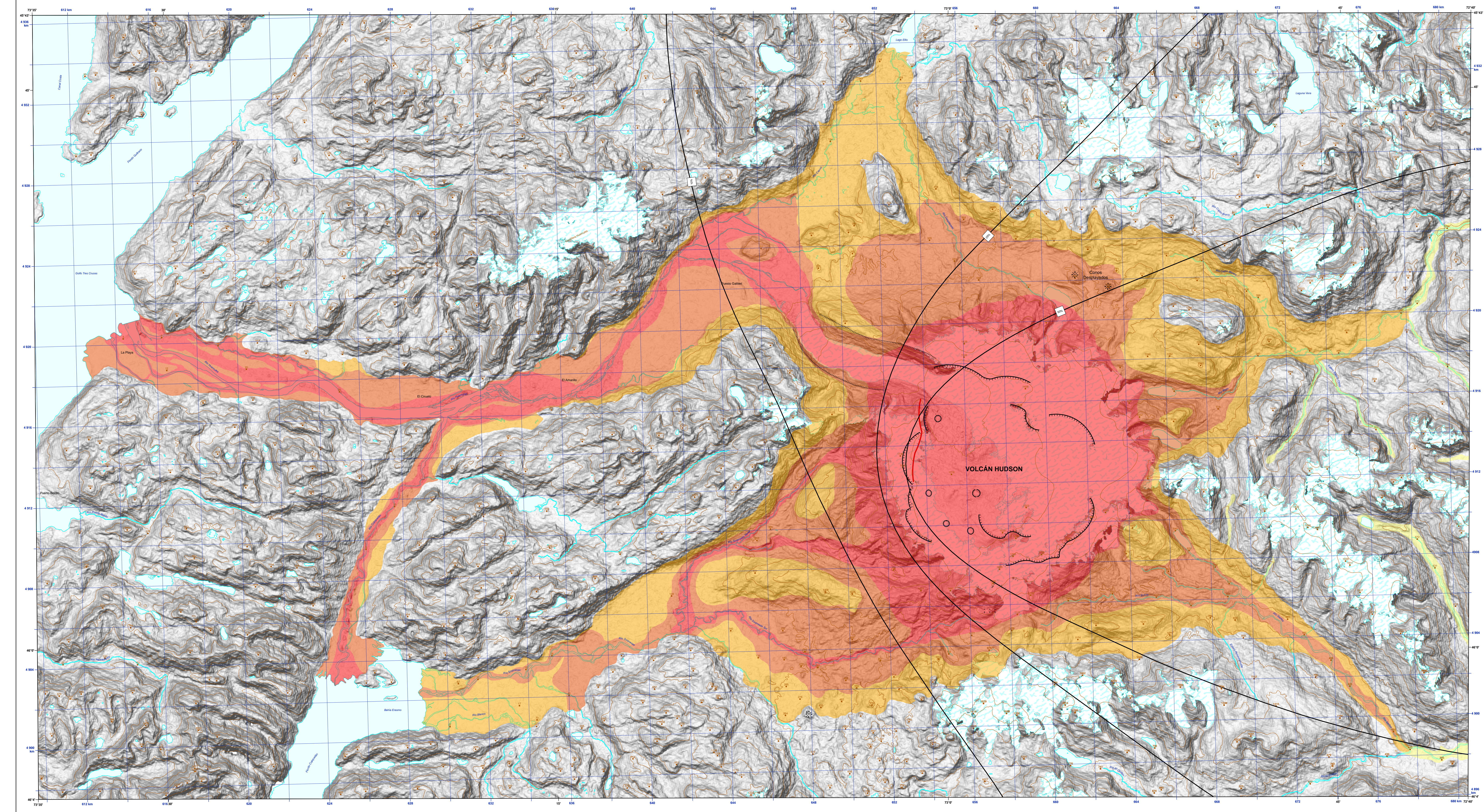
Volcán activo: Un volcán es geológicamente activo cuando ha tenido, al menos, una erupción en los últimos 11 mil años (Holoceno) o bien cuando, sin certeza de esto último, presenta signos cuantificables de actividad presente como desgasificación, sismicidad o deformación del terreno. Esta es la definición operativa adoptada por el Programa de Riesgo Volcánico y según ella, el territorio continental de Chile presenta 92 volcanes geológicamente activos.

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

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 involucrando un tipo de magma, la cual suele ocurrir a través de un único conducto de salida a partir de un sistema de conductos de magma simple. Generalmente 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 periodos relativamente largos y a menudo involucrando 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. En general estos centros corresponden a volcanes de dimensiones importantes y de formas variables.

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



LEYENDA

- Muy Alto Peligro:** Representa el sector susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, en forma similar a lo observado durante erupciones históricas. Incluye los cursos principales de los ríos Huemules y Cupuquén, así como también aquellos que conforman el río Sorpresa. Engloba áreas susceptibles de ser afectadas por proyecciones balísticas, lavas post-glaciales y depósitos lávicos de pequeño a moderado volumen.
- Alto Peligro:** Representa el sector susceptible de ser afectado por procesos eruptivos asociados a erupciones de magnitud superior a las observadas en el registro histórico. Incluye lavares de moderado a alto volumen y flujos proclásticos de magnitud moderada. Engloba la mayor parte de los valles de los ríos Huemules y Cupuquén, además parcelalmente los valles de los ríos Sorpresa e Ibañez, así como las nacientes de los ríos El Frío, Bayo y Desplayados.
- Moderado Peligro:** Representa el sector susceptible de ser afectado por procesos eruptivos asociados a erupciones de magnitud superior a las reconocidas en el registro histórico. Incluye el entrambamiento de flujos proclásticos de magnitud mayor y lavares que podrían afectar los principales valles fluviales que drenan desde el volcán.
- Bajo Peligro:** Representa aquellas regiones sin conexión directa con el edificio volcánico, aunque susceptibles de ser afectadas por lavas distales de lavares, en particular en los ríos Ibañez y Cajón Bravo, así como zonas de inundación producto de la removilización de material proclástico de caída en torno a cursos fluviales ubicados hacia el este del volcán.
- Probabilidad anual de acumulación de 10 cm de material proclástico, dado un escenario eruptivo equivalente a la erupción de Agosto 1991 (IEV 5).

SIMBOLOGÍA

- Figura volcánica
- Cráter volcánico
- Cono volcánico
- Cota (m s.n.m.)
- Curva de nivel
- Escarpe de erosión
- Margen topográfico de caldera
- Río
- Lago o cuerpo de agua
- Glaciar

MAPA DE UBICACIÓN

FUENTE DE LA INFORMACIÓN

A. Amigo y D. Bertin (1:75.000)

TRABAJOS ANTERIORES

Lara et al., 2011 (1:2.000.000)

CUADRO DE SITUACIÓN EN HOJAS COYHAIQUE, LAGUNA SAN RAFAEL Y CHILE CHICO

Referencia bibliográfica

Amigo, A., Bertin, D., 2014. Peligros Volcánicos del Volcán Hudson, Región de Aysén. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Aysén: 02, 2 p., 1 mapa en escala 1:75.000. Santiago.

ISBN 978-72-7305

Innovación N.º 244.505

© Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile. Director Nacional: Rodrigo Azaña S. Subdirector Nacional de Geología (P): Paul Duhai O. Derechos reservados, prohibida su reproducción.

Edición

Jefe Carrera Editor: Renato Vidal Z. Corredor Gráfico: Álvaro Garrido C. Asesor Técnico: Jorge Muñoz S., Rodrigo Carrasco D. Editores: Francisco Gutiérrez, José Antonio Narajón.

Jefe Unidad de Publicaciones: Sopeya Araya N. Asesora Técnica de Sistemas de Información Geográfica (SIG): Paulina Gona F.

Base Topográfica

1:50.000 Carta Geológica, Fichas Geológicas, Lago Colón, Lago Puelma, Puerto Buntó, Costillera Huemules, Volcán Hudson, Lago Cato de Huestes, Geografía Militar, modificados, ACTER Geobase 2014 versión 2 del Ministerio de Economía, Comercio e Inversión MEF de Aysén y la Región Especial Insular de Magallanes (REIM), Magallanes, Región de Magallanes.

Referencia geodésica

Proyección Geodésica Transversal de Mercator (UTM), Zona 18, SIRGAS.

Ampio científico y técnico

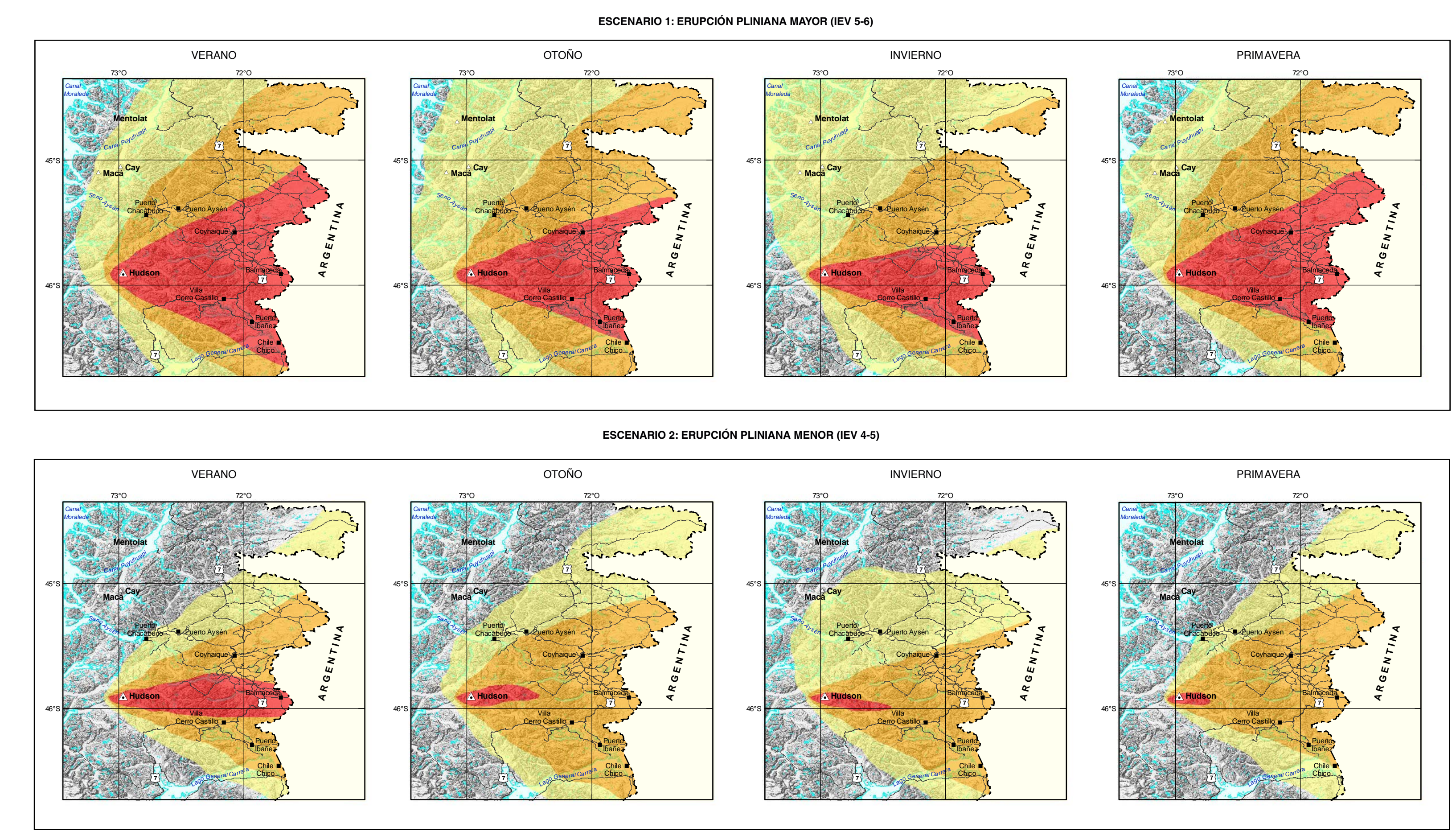
Proyección Digital: Rodrigo Calderín B., Programa de Riesgo Volcánico del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Ampio financiero

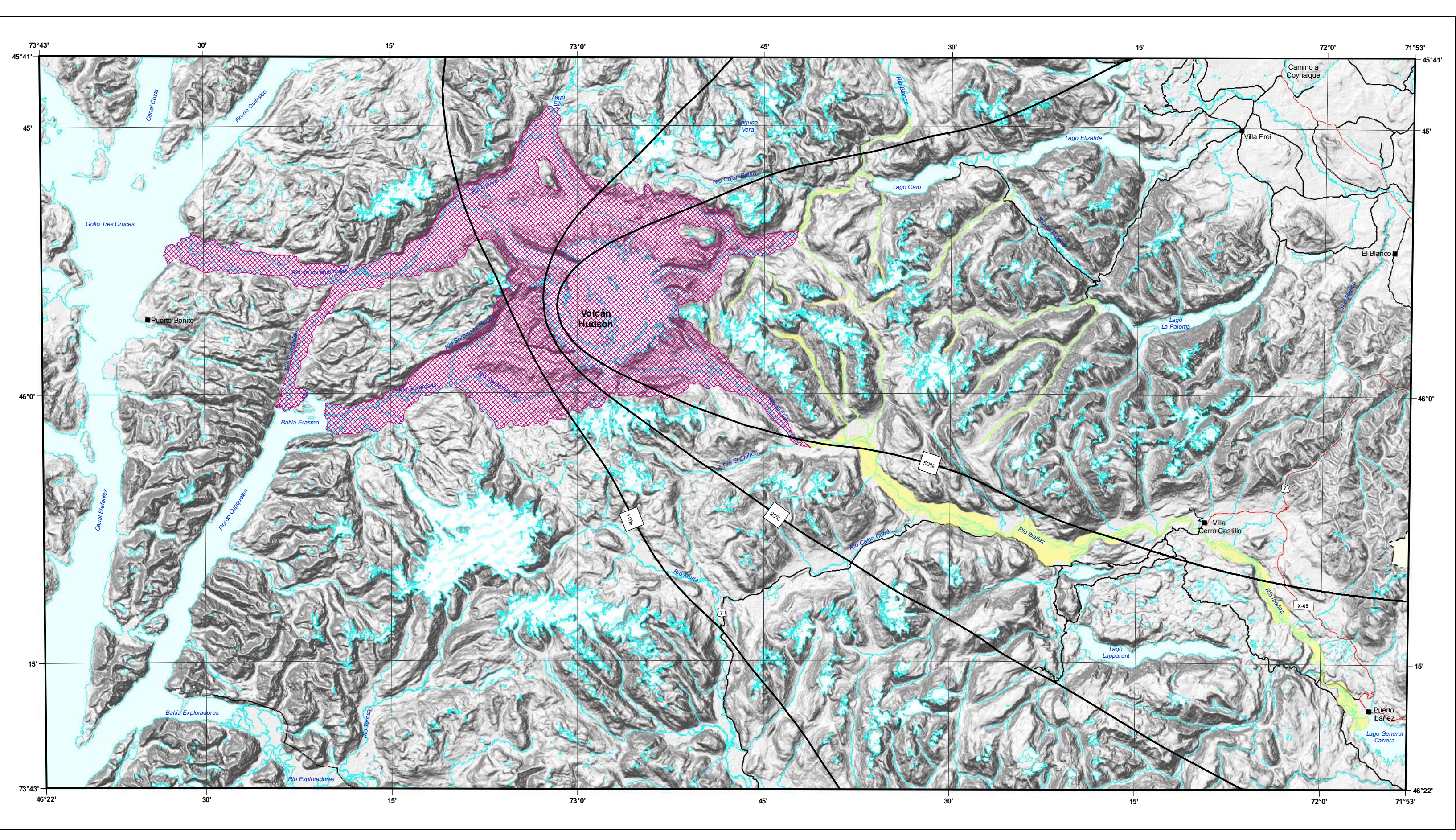
Fondos Sociales del Servicio Nacional de Geología y Minería, a través de la Red Nacional de Geología Histórica.

*Autorizada su circulación, en cuanto a los mapas y datos que contiene esta obra, referencias e indicaciones con las líneas de demarcación y fronteras del territorio nacional por Resolución Externa No. 412 del 10.09.14 de la Dirección Nacional del Territorio y Fomento Urbano. La redacción y producción de mapas, cartas geográficas, cartas temáticas y documentos que se refieren al territorio de Chile, no constituyen, en modo alguno, el Estado de Chile en acuerdo con el Art. 1º, 2º, 3º y 4º del DFL No. 81 del 1979 (Bases de Relaciones Exteriores).

PELIGRO DE ACUMULACIÓN DE PIROCLASTOS DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUDSON



PELIGROS DISTALES DEL VOLCÁN HUDSON



ISSN 0717-7305

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

PELIGROS DEL VOLCÁN HUDSON

REGIÓN AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBAÑEZ DEL CAMPO

Álvaro Amigo R.
Daniel Bertin U.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE
SERIE AMBIENTAL

No. 20

2014

Escala 1:75.000