

# Evaluación de peligros de los volcanes Descabezado Grande, Quizapu, Cerro Azul y Centros Eruptivos Aledaños (Chile): resultados preliminares

Franco Vera<sup>1</sup>, Constanza Jorquera<sup>2</sup>, Álvaro Amigo<sup>3</sup> y Lizette Bertin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos, Red Nacional de Vigilancia Volcánica, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile - franco.vera@sernageomin.cl

<sup>2</sup> Oficina Técnica de Coyhaique, Departamento de Geología Aplicada, Servicio Nacional de Geología y Minería, Coyhaique, Chile

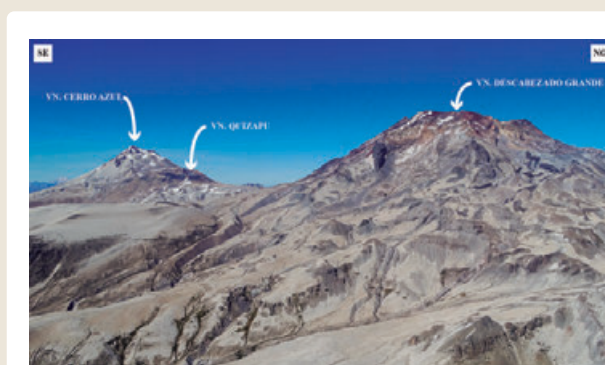
<sup>3</sup> Subdirección de Geología, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile

<sup>4</sup> Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur, Red Nacional de Vigilancia Volcánica, Servicio Nacional de Geología y Minería, Temuco, Chile

**Palabras clave:** mapa de peligros, modelación numérica, volcanismo postglacial

Los volcanes Descabezado Grande, Quizapu y Cerro Azul (Figura 1) forman parte de una agrupación de al menos 18 centros de emisión que se ubican en la parte septentrional de la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVS), específicamente en el sector cordillerano de la Región del Maule, Chile ( $35^{\circ}14' - 35^{\circ}49' S$ ;  $71^{\circ}11' - 70^{\circ}35' O$ ; Figura 2). Se incluyen en esta área los centros eruptivos menores Las Resolanas, Los Hornitos, Cerro Colorado, Reformados, Mondaca y Alto Las Mulas, todos ellos con actividad conocida o probable durante el periodo postglacial (para efectos de este trabajo <20.000 años AP). Sus características morfológicas varían entre estratovolcanes, conos piroclásticos, maares, domos y coladas de lava; los que se concentran en un área de 15x30 km. Dentro de la actividad eruptiva histórica de la zona de estudio, destacan dos de las erupciones de mayor magnitud en la historia reciente de los Andes, ambas ocurridas en el volcán Quizapu, en los años 1846-48 y 1932, las que en conjunto emitieron alrededor de 10 km<sup>3</sup> de magma a la superficie (Hildreth y Drake, 1992).

Este grupo de volcanes se localiza en la Cordillera Principal de una de las regiones con mayor cantidad de habitantes de Chile (1.153.043 hab.; INE, 2017; Figura 2), por lo que presenta una particular relevancia en términos político-administrativos y económicos, concentrando una importante porción de la actividad silvoagropecuaria y de generación eléctrica del país. En consecuencia, la exposición en la región en conjunto con la alta productividad magmática reciente, hacen que esta zona sea prioritaria dentro de las acciones en el contexto de la reducción del riesgo de desastres volcánicos a nivel nacional.



► Fig. 1 - Fotografía de los volcanes Descabezado Grande, Quizapu y Cerro Azul. Captura aérea desde el noreste.



► Fig. 2 - Mapa de ubicación y accesos a los volcanes Descabezado Grande, Quizapu, Cerro Azul y Centros Eruptivos Aledaños.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar los peligros de los volcanes antes mencionados, con la finalidad de zonificar el peligro asociado y generar información cartográfica a escala 1:75.000, para ser utilizada en el contexto de la gestión del riesgo. Adicionalmente, se presentan nuevas evidencias de la actividad explosiva postglacial de los sistemas volcánicos en estudio, mejorando el conocimiento respecto a su recurrencia eruptiva, magnitudes y posibles impactos.

Dicho esto, la estructura del presente resumen comienza con una descripción de los centros eruptivos, la identificación de los procesos evaluados de acuerdo al registro geológico, una descripción general de la actividad histórica, un resumen de la metodología y resultados preliminares de la evaluación de peligros, los alcances y conclusiones.

La geología del área comprende unidades volcánicas y sedimentarias continentales y marinas, de edades mesozoicas a cenozoicas, que conforman el basamento de los productos volcánicos postglaciales, las que han sido descritas por diversos autores. Destaca en la zona un depósito de corriente de densidad piroclástica denominada Ignimbrita Loma Seca, la que consiste en tres flujos zonados y soldados

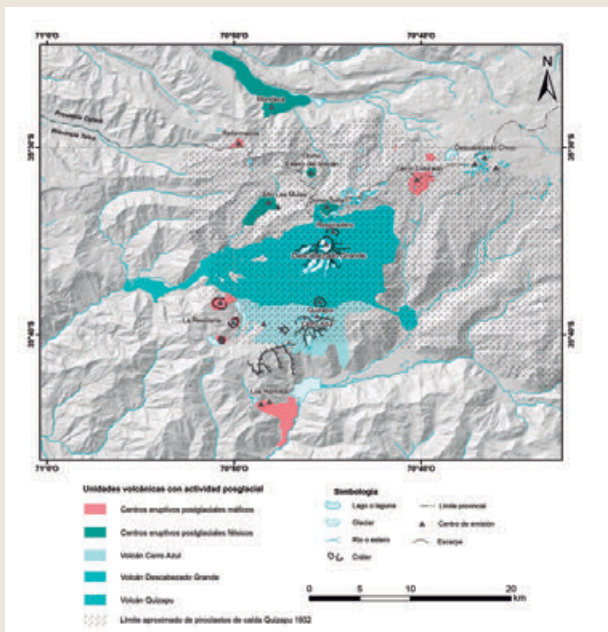
datados en 800 ka, 300 ka y 150 ka, respectivamente; cada uno representa un volumen entre 150 y 300 km<sup>3</sup> de magma (Hildreth et al., 1984). Esta se asocia a la formación de una caldera de 26x14 km, denominada Caldera Calabozos, ubicada hacia el este del área de estudio (Hildreth et al., 1984).

Sobre el basamento se construyeron centros eruptivos de variadas características, los que se clasifican de la siguiente manera (Figura 3):

**Volcán Descabezado Grande:** estratovolcán de cima truncada (3.953 m s.n.m), con un cráter de 1,5 km de diámetro cubierto por hielo, cuyo edificio principal presenta un diámetro basal de 11 km y un volumen de ca. 30 km<sup>3</sup> (Hildreth y Drake, 1992). Su formación habría comenzado durante el Pleistoceno Medio (330±20 ka según Drake, 1976), donde se habría empezado a construir la estructura volcánica actual. Durante el periodo postglacial, su actividad ha consistido en la formación de domos de lava adventicios, flujos de lava de corto alcance, corrientes de densidad piroclásticas, caídas de piroclastos relacionadas a erupciones plinianas y material piroclástico emitido por explosiones freatomagmáticas menores ocurridas en el cráter Respiradero, construido durante su última erupción entre 1932 y 1935. Sus litologías varían entre andesitas basálticas y riolitas (55-71% SiO<sub>2</sub>).

**Volcán Cerro Azul:** estratovolcán parcialmente erosionado (3.747 m s.n.m) cuya construcción habría comenzado en el Pleistoceno Superior (100±90 ka según Wulff, 2003). Su actividad postglacial ha consistido en corrientes de densidad piroclásticas y depósitos de caída escoriáceos, además de actividad adventicia en su flanco suroeste. Su composición varía entre 51 y 65% SiO<sub>2</sub>, con una predominancia de andesitas basálticas.

**Volcán Quizapu:** corresponde a un cráter de explosión ubicado en el flanco norte del volcán Cerro Azul. Este se habría formado con una erupción efusiva en 1846-48 (Domeyko 1849a, 1849b), de 5 km<sup>3</sup> de volumen, y luego habría mantenido una actividad intermitente de baja magnitud hasta 1929. Posteriormente, en 1932, se produjo una erupción explosiva de Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 5-6 y de 10 km<sup>3</sup> de volumen (no-DRE), considerada la



► Fig. 3—Esquema geológico de unidades volcánicas postglaciales.

segunda erupción más grande de los Andes en tiempos históricos (Hildreth y Drake, 1992). Estas erupciones han generado corrientes de densidad piroclásticas, caída de piroclastos con dispersión de impacto global, y flujos de lava de ca. 18 km de longitud y de ca. 150 m de espesor. Sus productos varían entre 52 a 70% SiO<sub>2</sub>.

**Centros de emisión postglaciales máficos:** corresponde a una agrupación de 4 conos piroclásticos y 3 maers de dimensiones menores, que comparten características composicionales y eruptivas. Incluye a los conos piroclásticos Los Hornitos (cono este y oeste), Cerro Colorado y Reformados, y los maers La Resolana (Resolana Norte, Resolana Centro y Resolana Sur). Sus composiciones varían entre 49 y 55% SiO<sub>2</sub>.

**Centros eruptivos postglaciales félsicos:** conjunto de 5 centros de emisión que tienen similar composición química y condiciones eruptivas. Se incluyen los centros eruptivos Mondaca, Alto Las Mulas (dos centros de emisión), Domo Estero del Volcán y Domo Torta. Sus composiciones varían entre 67 y 73% de SiO<sub>2</sub>.

Con la descripción anterior queda en evidencia que el volcanismo postglacial (<20.000 años AP) está representado por un amplio rango de morfologías, estilos eruptivos y composiciones químicas. En particular, la actividad eruptiva pre-histórica (entre 20.000 y 530 años AP aproximadamente) fue identificada mediante mapeo geológico y estudios tefroestratigráficos, complementados con edades de radiocarbono, que permitieron catastrar al menos 36 erupciones explosivas y 8 episodios efusivos, a través de la descripción de depósitos piroclásticos de caída, flujos de lava, corrientes de densidad piroclásticas, lahares y piroclastos de proyección balística.

Los depósitos piroclásticos de caída están parcialmente erosionados, debido a las condiciones meteorológicas de la zona, por lo que su distribución espacial es restringida. De igual forma, fue posible identificar dos columnas estratigráficas expuestas en el sector del Cerro Monsalve (17 km al sureste del volcán Descabezado Grande) y en el sector de la Loma Seca (12 km al sureste del Descabezado Grande), que permitieron individualizar eventos eruptivos. Dentro de estas, se destaca la identificación de un potente

depósito de pómez de coloración amarillenta, que tiene un espesor cercano a los 17 m. Sus fragmentos juveniles alcanzan diámetros de hasta 60 cm, los cuales conservan texturas de tubos pumíceos debido al alineamiento de vesículas cilíndricas elongadas, mientras que sus clastos líticos presentan hasta 10 cm de diámetro con bordes angulosos. Este depósito fue datado en 7.650 años AP mediante la técnica AMS en un suelo carbonoso ubicado inmediatamente bajo la capa.

Los depósitos de corrientes de densidad piroclásticas reconocidos en la zona corresponden a flujos piroclásticos, oleadas y flujos de bloques y cenizas, que se asocian a diversos centros eruptivos. Se identificaron 10 depósitos en total, destacando la secuencia de formación del volcán Mondaca (1.250 años AP) consistente en 20 m de intercalaciones entre oleadas y caída, que finalizan hacia el techo con un depósito de flujos de bloques y ceniza. También, se destaca un depósito de oleada ubicado en la base de la columna estratigráfica Cerro Monsalve, ubicada a 17 km de los centros eruptivos, la cual tiene particular importancia en los escenarios por corrientes piroclásticas.

Los flujos de lava prehistóricos identificados, están relacionados a 6 centros de emisión, y destacan las coladas riódacíticas (70-73 SiO<sub>2</sub>) del volcán Mondaca que cubren un área de 12,5 km<sup>2</sup> y espesores cercanos a los 120 m, y las lavas aa basalto-andesíticas (54-55% SiO<sub>2</sub>) de Los Hornitos que cubren un área de 6,3 km<sup>2</sup> con espesores cercanos a 10 m.

Los depósitos de lahares son más escasos, pero se concentran particularmente en los valles Blanquillo, Lontué, Cipreses, y en las quebradas que drenan la cima del volcán Descabezado Grande. Por otro lado, los piroclastos de proyección balística se concentran en las inmediaciones de los volcanes La Resolana, Los Hornitos, Quizapu, Cerro Colorado, Reformados y Mondaca, cuyos alcances máximos varían entre 0,3 km y 6,8 km, y su eyección fue consecuencia de erupciones de estilos estrombolianos, vulcanianos, freatomagmáticos y plinianos.

Por otra parte, el volcanismo histórico se restringe, principalmente, a la actividad cuasi-continua que presentó el volcán Quizapu desde 1846 hasta la

década de 1960. En términos generales, entre sus dos mayores erupciones, este volcán emitió a la superficie un volumen de ca. 10 km<sup>3</sup> de magma, convirtiéndose en uno de los sistemas de mayor producción magmática en Los Andes en tiempos históricos (Domeyko, 1849; Hildreth y Drake, 1992). Se caracteriza por presentar una mezcla binaria de magmas, con un miembro máfico representado por composiciones andesítico-basálticas a andesíticas, y por un miembro félsico, predominantemente dacítico (Ruprecht et al., 2012). Su estilo eruptivo también ha tenido contrastes, ya que ha transitado desde actividad efusiva, durante la erupción de 1846-48, hasta actividad explosiva, en la erupción del año 1932, lo que lo convierte en un ejemplo a nivel mundial de transición efusiva-explosiva en sistemas magmáticos silíceos (Hildreth y Drake, 1992; Ruprecht et al., 2012). Por otro lado, se suma a la actividad del Quizapu, un evento reportado para el volcán Cerro Colorado en el siglo XIX y la formación del cráter Respiradero en el volcán Descabezado Grande entre 1932 y 1935 (Petit-Breuilh, 2004).

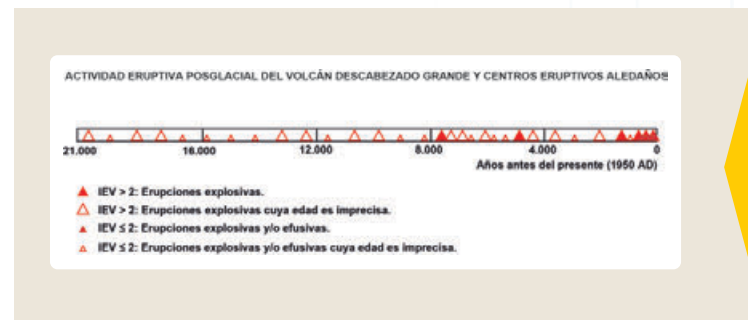
Como consecuencia de su actividad eruptiva, el área está monitoreada de forma permanente por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) de SERNAGEOMIN, desde enero de 2012 y ha permanecido en alerta verde desde ese entonces.

Para la evaluación de peligros volcánicos, los eventos fueron individualizados y ordenados cronológicamente mediante correlación estratigráfica y dataciones radiométricas, lo que fue complementado con información histórica recopilada desde estudios previos. La descripción geológica fue apoyada con análisis químicos de roca total realizados en los laboratorios de SERNAGEOMIN y de la Universidad Estatal de Washington (Washington State University; WSU), Estados Unidos, mediante las técnicas de fluorescencia de rayos X (XRF por sus siglas en inglés) para identificación de elementos mayores y de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS por sus siglas en inglés) para elementos trazas y tierras raras.

A partir de la conjunción de los antecedentes se formularon distintos escenarios eruptivos que permitieron identificar áreas susceptibles de ser afectadas por procesos y productos volcánicos, las que

fueron trazadas de acuerdo con la geomorfología de la zona de estudio y con los resultados de las simulaciones realizadas mediante la utilización de modelos numéricos. Los programas utilizados para la representación espacial de cada peligro evaluado fueron: para coladas de lava, Q-LavHA (Mossoux et al., 2016); para las corrientes de densidad piroclásticas, conos de energía de secciones transversales rectas (Malin y Sheridan, 1982) y parabólicas (Orozco et al., 2013; desarrollado por el geólogo D. Bertin); para lahares, LaharZ (Schilling, 1998); para dispersión de cenizas, Tephra 2 (Bonadonna et al., 2005); y para los piroclastos de proyección balística, Ballistics (Bertin, 2017).

Sobre la base de lo anterior, se construyó un catastro de erupciones, que permitió ordenar los eventos reconocidos (Figura 4) con base en sus características principales: tipos de procesos desencadenados, magnitud y frecuencia de cada proceso. Así, se diferenciaron escenarios para los diferentes procesos reconocidos en cada centro eruptivo, los cuales fueron elaborados con base en el tipo de centro eruptivo, su composición magmática, las características físicas de sus depósitos y la frecuencia con que ha ocurrido cada fenómeno.



► Fig. 4- Distribución temporal de las erupciones conocidas en el registro geológico.

La representación integrada de los peligros volcánicos se expresa en cinco niveles de peligrosidad de acuerdo a una matriz de integración: Muy Alto, Alto, Moderado, Bajo y Muy Bajo, que se incluyen en un mapa de peligro volcánico integrado proximal (escala 1:75.000), uno distal (escala 1:400.000), y cuatro mapas de alcance regional (escala 1:1.000.000), en los que se ilustran las curvas de isoprobabilidad de acumulación de 1 cm de espesor de piroclastos de caída según cada estación del año.

Los resultados preliminares indican que:

El área de muy **alto peligro** incluye zonas potencialmente afectadas por escenarios eruptivos de magnitud similar a las erupciones históricas del volcán Quizapu, con flujos de lava de alcance de hasta 10 km, corrientes piroclásticas de hasta 9 km y balísticos dentro de un radio de 5 km.

El área de **alto peligro** incluye zonas afectadas durante erupciones de magnitudes similares a las ocurridas con mayor frecuencia durante el periodo postglacial, con flujos de lavas provenientes de los centros eruptivos Quizapu (<20 km de alcance), Los Hornitos (<5 km de alcance) y Mondaca (<7 km de alcance); por corrientes de densidad piroclásticas provenientes de los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul (<9 km de alcance), y Quizapu (<14 km de alcance), Las Resolanas y Los Hornitos (<6 km de alcance) y Mondaca (<10 km de alcance); y por lahares primarios originados en los volcanes Descabezado Grande, Cerro Azul y Quizapu (<5 millones m<sup>3</sup>), Mondaca (<3 millones m<sup>3</sup>), Los Hornitos y Las Resolanas (<1 millón m<sup>3</sup>).

El área de **moderado peligro** incluye zonas afectadas por procesos volcánicos de moderada recurrencia en los últimos 5.000 años. La zona está delimitada por flujos de lava provenientes de los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul, y de los centros de emisión Resolana Norte y Alto Las Mulas (<4 km de alcance), Los Hornitos (entre 5 y 8 km de alcance) y Mondaca (entre 7 y 10 km de alcance); por corrientes de densidad piroclásticas generadas en los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul (entre 9 y 13 km de alcance), y en los centros de emisión Los Hornitos y Las Resolanas (entre 6 y 10 km de alcance), Mondaca (entre 10 y 17 km de alcance) y Alto Las Mulas (<7 km de alcance); y por lahares primarios generados en los volcanes Descabezado Grande, Cerro Azul, y Quizapu (<20 millones m<sup>3</sup>), Mondaca y Alto Las Mulas (<5 millones m<sup>3</sup>), Los Hornitos y Las Resolanas (<3 millones m<sup>3</sup>). Adicionalmente, se incorporan lahares secundarios de hasta 200 millones m<sup>3</sup> generados por represamiento de corrientes piroclásticas a cursos de agua.

El área de **bajo peligro** incluye a la zona susceptible de ser afectada por procesos volcánicos de baja

recurrencia en los últimos 10.000 años. El área está delimitada por flujos de lava provenientes de los volcanes Descabezado Grande, Alto Las Mulas (entre 4 y 7 km de alcance), Cerro Azul (entre 5 y 8 km de alcance), Reformados y Cerro Colorado (<5 km de alcance); por corrientes de densidad piroclásticas generadas en los volcanes Descabezado Grande, y Cerro Azul (entre 13 y 18 km de alcance), Reformados y Cerro Colorado (<6 km de alcance); y por lahares primarios generados en los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul (<50 millones m<sup>3</sup>), Reformados y Cerro Colorado (<5 millones m<sup>3</sup>). Adicionalmente, se incorporan lahares secundarios de hasta 10 millones de m<sup>3</sup> generados por removilización de material piroclástico.

El área de muy bajo peligro incluye a la zona susceptible de ser afectada por procesos volcánicos de muy baja recurrencia en los últimos 20.000 años AP. El área está delimitada por corrientes de densidad piroclásticas generadas en los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul de hasta 40 km de alcance; y por lahares primarios generados en los volcanes Descabezado Grande y Cerro Azul (<100 millones m<sup>3</sup>).

En conclusión, de acuerdo al importante potencial de generar erupciones explosivas (IEV 5-6) con dispersión de piroclastos con impacto global y erupciones efusivas de alto volumen (ca. 5 km<sup>3</sup>), una futura erupción de alguno de los centros eruptivos analizados en este estudio podría afectar de manera directa a más de 600 personas (INE, 2017), impactando las actividades agrícolas, ganaderas, mineras, turísticas y energéticas de la Región del Maule, así como también, interrumpiendo la conectividad aérea y la ruta internacional CH-115, que une a Chile con la Provincia de Mendoza en Argentina. Adicionalmente, se estima que los cursos de los valles Barroso, Blanquillo, Claro (sur y norte), Lontué, Cipreses y Maule podrían ser parcialmente alterados debido a la generación de corrientes de densidad piroclásticas, lahares primarios y secundarios, flujos de lava y caída de piroclastos provenientes de los centros de emisión analizados.

Por otro lado, la compilación de actividad volcánica postglacial y el conocimiento actual de la geología, ha permitido individualizar al menos 53 eventos eruptivos en los últimos 20.000 años AP. Esto permite

evidenciar que el área de estudio presenta una alta frecuencia eruptiva y peligrosidad, por lo que la información y conocimiento aportados por este

estudio constituyen un insumo base para la gestión de emergencias y la reducción del riesgo de desastres en las localidades pobladas y sus actividades económicas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la analista SIG Ximena Rivera, a los funcionarios de Sernageomin por el apoyo en terreno, a R. Gho, G. Orozco, D. Sellés y C. Silva, por su invaluable aporte en etapas iniciales de este proyecto, a D. Bertin, quien facilitó los códigos en Matlab de los programas Ballistics y EnergyCones, y a quienes participaron de las etapas de discusión y encuestas de criterio experto. Se extienden nuestros agradecimientos al Laboratorio de Sernageomin y los editores L. Becerril, A. Castruccio y J. Muñoz quienes contribuyeron a mejorar la presente publicación.

## REFERENCIAS

- ▶ Bertin, D. (2017). 3-D ballistic transport of ellipsoidal volcanic projectiles considering horizontal wind field and variable shape-dependent drag coefficients. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth* 122 (2): 1126-1151. doi: 10.1002/2016JB013320.
- ▶ 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): 1-21. doi: 10.1029/2003JB002896.
- ▶ Domeyko, I. (1849a). Primera Parte. In *Viajes a las Cordilleras de Talca y de Chillán*. Anales de la Universidad de Chile, Tomo VII: 9-29.
- ▶ Domeyko, I. (1849b). Segunda Parte. In *Viajes a las Cordilleras de Talca y de Chillán*. Anales de la Universidad de Chile, Tomo VII: 47-74.
- ▶ Drake, R.E. 1976. Chronology of cenozoic igneous and tectonic events in the central Chilean Andes-latitudes 35°30' to 36° S. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1 (3): 265-284. doi: 10.1016/0377-0273(76)90011-1.
- ▶ Hildreth, W.; Drake, R.E. 1992. Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 54 (2): 93-125. doi: 10.1007/BF00278002.
- ▶ Hildreth, W.; Grunder, A.L.; Drake, R.E. (1984). The Loma Seca tuff and the Calabozos caldera: A major ash-flow and caldera complex in the southern Andes of central Chile. *Geological Society of America Bulletin* 95 (1): 45-54.
- ▶ INE. (2017). Instituto Nacional de Estadísticas. Censo nacional de población y vivienda. <http://www.censo2017.cl/> (Última visita 1/10/2018).
- ▶ Malin, M.C.; Sheridan, M.F. 1982. Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science* 217: 637-640. doi: 10.1126/science.217.4560.637.
- ▶ Mossoux, S.; Saey, M.; Bartolini, S.; Poppe, S.; Canters, F.; Kervyn, M. (2016). Q-LAVHA: A flexible GIS plugin to simulate lava flows. *Computers and Geosciences* 97: 98-109. doi: 10.1016/j.cageo.2016.09.003.

- ▶ Orozco, G.; Amigo, Á.; Bertin, D.; Lara, L.E. (2013). New empirical approach to estimate proximal volcanic hazard zones. In *Forecasting volcanic activity-Reading and translating the messages of nature for society*. International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI), Scientific Assembly, Poster Session 3W\_4C-P7. Kagoshima.
- ▶ Petit-Breuilh, M.E. (2004). *La historia eruptiva de los volcanes hispanoamericanos (Siglos XVI al XX)*. Servicio de Publicaciones del Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote-Casa de los volcanes: 431 p. Huelva.
- ▶ Ruprecht, P.; Bergantz, G.W.; Cooper, K.; Hildreth, W. (2012). The crustal magma storage system of volcán Quizapu, Chile, and the effects of magma mixing on magma diversity. *Journal of Petrology* 53 (4): 801-840. doi: 10.1093/petrology/egs002.
- ▶ Schilling, S.P. (1998). LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. U.S. Geological Survey, Open-File Report 98-638: 80 p. doi: 10.3133/ofr98638.
- ▶ Wulff, A.H. (2003). Composite chemostratigraphy of lavas from the Casitas Shield, Descabezado Grande-Cerro Azul Volcanic Complex, Chilean Andes. In *American Geophysical Union, Fall Meeteting, Abstract V32H-07*. Kentucky.
- ▶ Valderrama, A., Cardona, C., Gil-Cruz, F. (2016). Subplinian eruption of Calbuco volcano (Chile), April 22nd, an example of VEI-4 explosive eruption with few precursor signals. *Cities on volcanoes Congress, Puerto Varas - Chile, November 2016*.