

Gestión técnica en tres volcanes con estilos eruptivos diferentes, casos: Villarrica, Calbuco y Nevados del Chillán (Chile)

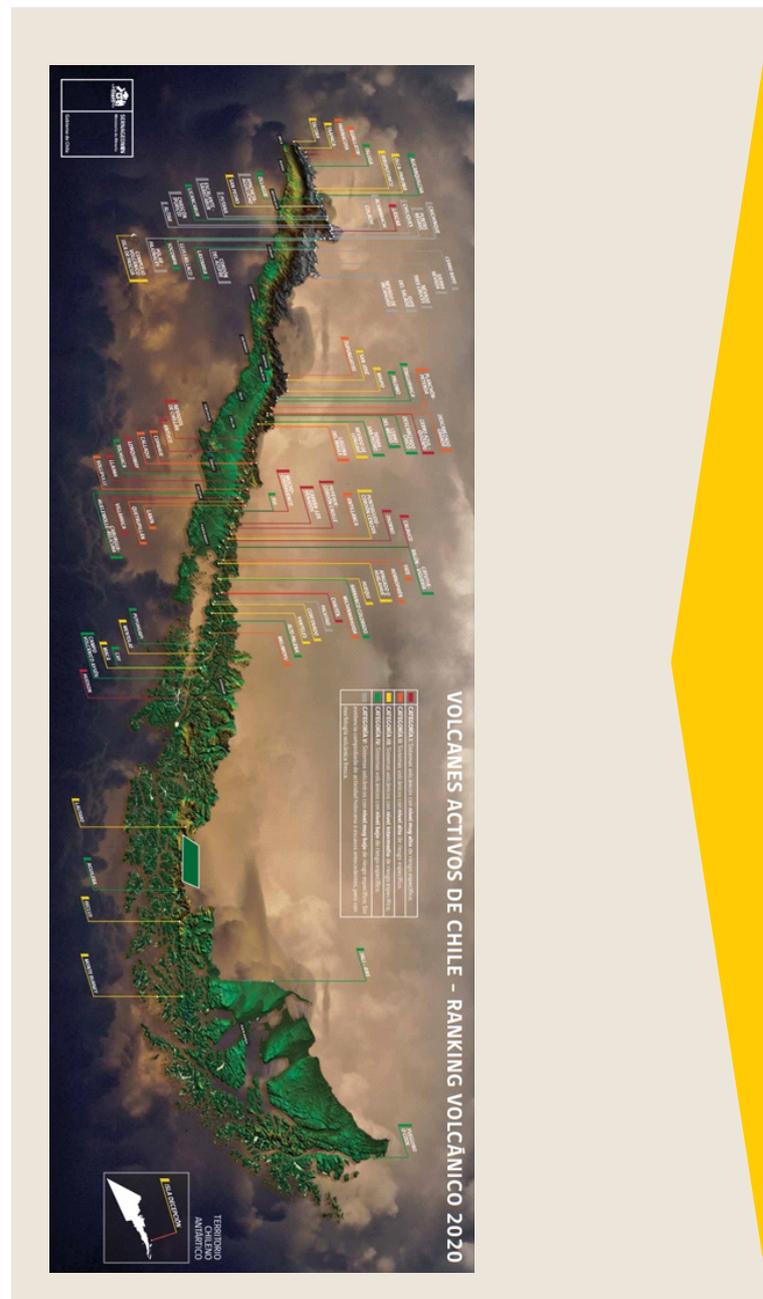
Carlos Cardona¹, Alvaro Amigo¹, Rodrigo Ordenes¹, Cintia Bengoa¹

¹Red Nacional de Vigilancia Volcánica, OVDAS, Sernageomin, Chile – carlos.cardona@sernageomin.cl

Palabras clave: monitoreo volcánico, erupciones, gestión técnica, precusores, diversos estilos eruptivos.

Chile posee un extenso arco volcánico que se extiende por más de 3000 km de norte a sur del país, con cerca de 90 volcanes considerados como geológicamente activos o con potencialidad de presentar algún periodo eruptivo en el futuro.

En el año 2009 debido a las crisis volcánicas acontecidas en los volcanes Llaima y Chaitén, que afectaron infraestructura vital para el desarrollo del país y provocaron la evacuación de un importante número de personas asentadas en su zona de influencia, el gobierno nacional vio la necesidad de actualizar y reforzar el monitoreo volcánico, creando el proyecto "Red Nacional de Vigilancia Volcánica – RNVV" del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), con el objetivo de llevar a cabo el monitoreo volcánico en el país. Actualmente, la RNVV se compone de dos unidades, el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) encargado del monitoreo permanente y la Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos (UGPSV), quien tiene a cargo la realización de mapas de peligro volcánico de los 45 volcanes monitoreados a lo largo del país (Fig. 1). Para la escogencia de los 45 volcanes más activos, se implementó un sistema de clasificación adaptando la metodología NVEWS (Ewert et al. 2005) a la realidad chilena, con el fin de determinar su riesgo específico basado en 13 factores asociados a peligro volcánico y 12 factores asociados a la exposición de la población, para finalmente establecer un ranking volcánico (Sernageomin, 2019). Los primeros 45 volcanes de este ranking fueron seleccionados con el fin de implementar redes de vigilancia y monitoreo permanente. Desde la implementación del proyecto Nacional de la RNVV en el año 2009, en Chile se han presentado erupciones en 8 sistemas volcánicos y se han debido atender más de 15 crisis volcánicas (Fig. 2),



► Fig. 1 – Ranking Volcánico Chile, versión 2019 (tomado de Sernageomin, 2019).

con procesos volcánicos que han presentado diversos estilos eruptivos, composición de magmas, volúmenes emitidos, duración de ciclos eruptivos, niveles de explosividad y precursores de actividad volcánica, lo cual da valiosa información con el fin de contextualizar cada ciclo eruptivo, construir modelos conceptuales de actividad volcánica, realizar un análisis comparativo de los diversos ciclos eruptivos y analizar la respuesta técnica y gestión de las crisis volcánicas afrontadas.

A partir del monitoreo volcánico 24/7 multiparamétrico (sismicidad, deformación, geoquímica de fluidos, análisis de la actividad superficial, mediciones de sensores remotos e imágenes satelitales, entre otras) que se realiza en el OVDAS, se establecen alertas técnicas (Verde, Amarillo, Naranja y Roja) definiendo estados de actividad base de sistemas volcánicos hasta su progresión hacia fases eruptivas, con el fin de proporcionar información oportuna al organismo nacional de emergencia y a la comunidad asentada en zonas de influencia volcánica. En este trabajo se han escogido tres ciclos eruptivos recientes ocurridos en territorio chileno y que corresponden a las erupciones de los sistemas volcánicos Villarrica, Calbuco y Nevados de Chillán, debido a las diferencias en la duración de sus ciclos eruptivos, VEI, composición, volúmenes de magmas emitidos, precursores registrados, productos emitidos y zonas de impacto.

El volcán Villarrica es catalogado como el volcán más activo de Chile, que ocupa el 1º lugar en el Ranking de Riesgo específico de los volcanes activos del país. Durante sus últimas erupciones históricas ha emitido productos principalmente de composición basáltica a andesita basáltica, es considerado un sistema de conducto abierto que tiene alojado en su interior un lago de lava. En el mes de marzo del 2015 presentó una erupción tipo estromboliana, en términos de señales premonitorias los primeros síntomas de anomalías sísmicas se registraron a comienzos de febrero del mismo año (~ 1 mes antes de la erupción), específicamente la energía de la señal sísmica continua, que en el caso del volcán Villarrica está íntimamente ligada con la dinámica y evolución de su lago de lava, presentó un ligero incremento de su valor de RSAM (medida continua de la amplitud sísmica)

pasando de valores promedio de 2 a 11 $\mu\text{m}/\text{seg}$, debido a lo anterior su alerta técnica fue cambiada de verde a amarilla. Observaciones visuales posteriores revelaron que el nivel de lago de lava estaba cerca de superficie (menos de 50 m del borde del cráter) y con una incipiente actividad estromboliana con explosiones asociadas al colapso de burbujas en la parte superior de la columna magmática. Durante los días siguientes los valores promedio de RSAM fueron aumentando paulatinamente, junto con el incremento de la energía y periodicidad de las explosiones registradas, hasta el día 2 de marzo donde un incremento significativo fue registrado tanto en la señal continua, como en el número de explosiones registradas, alcanzando valores de RSAM de 20 $\mu\text{m}/\text{seg}$ y un valor de DR (valoración del tamaño de las señales sísmicas continuas con base en su amplitud) de las señales discretas cercano a los 50 cm^2 , por este motivo fue cambiado su alerta técnica a naranja. Finalmente, el día 3 de marzo de 2015, 10 horas después de ser decretado su cambio de alerta técnica, se presentó una erupción volcánica que impulsó una columna eruptiva de ~12 km de altura y generó diversos flujos de escorias y lahares que descendieron por las laderas del volcán hasta una distancia de ~25 km.

El segundo caso corresponde al volcán Calbuco (3º puesto en el ranking) el cual es considerado un proceso eruptivo con escasas señales premonitorias de actividad volcánica y/o con pocas horas de antelación. Desde el punto de monitoreo instrumental el día 22 de abril a las 15:11 HL (~3 horas antes de la erupción), se registró un 'enjambre sísmico' de eventos VT, localizados sobre la cima del volcán (< 2 km de profundidad), el cual progresó aumentando su energía y recurrencia. Posteriormente, a las 16:34 HL, se observan los primeros eventos de largo periodo e híbridos de muy baja frecuencia (0.7 Hz), que aumentaron paulatina y rápidamente su ocurrencia y tamaño, alcanzado desplazamientos reducidos de hasta 1700 cm^2 (10 minutos antes del inicio del primer pulso eruptivo). A las 18:04 HL se observa a través de las cámaras web el inicio de la erupción, que formó una columna eruptiva de ~15 km de altura, con una duración total del pulso eruptivo de aproximadamente 1,5 Horas. Posteriormente, y durante 5 horas el sistema presenta una relajación parcial, destacando el registro de un tremor armónico,

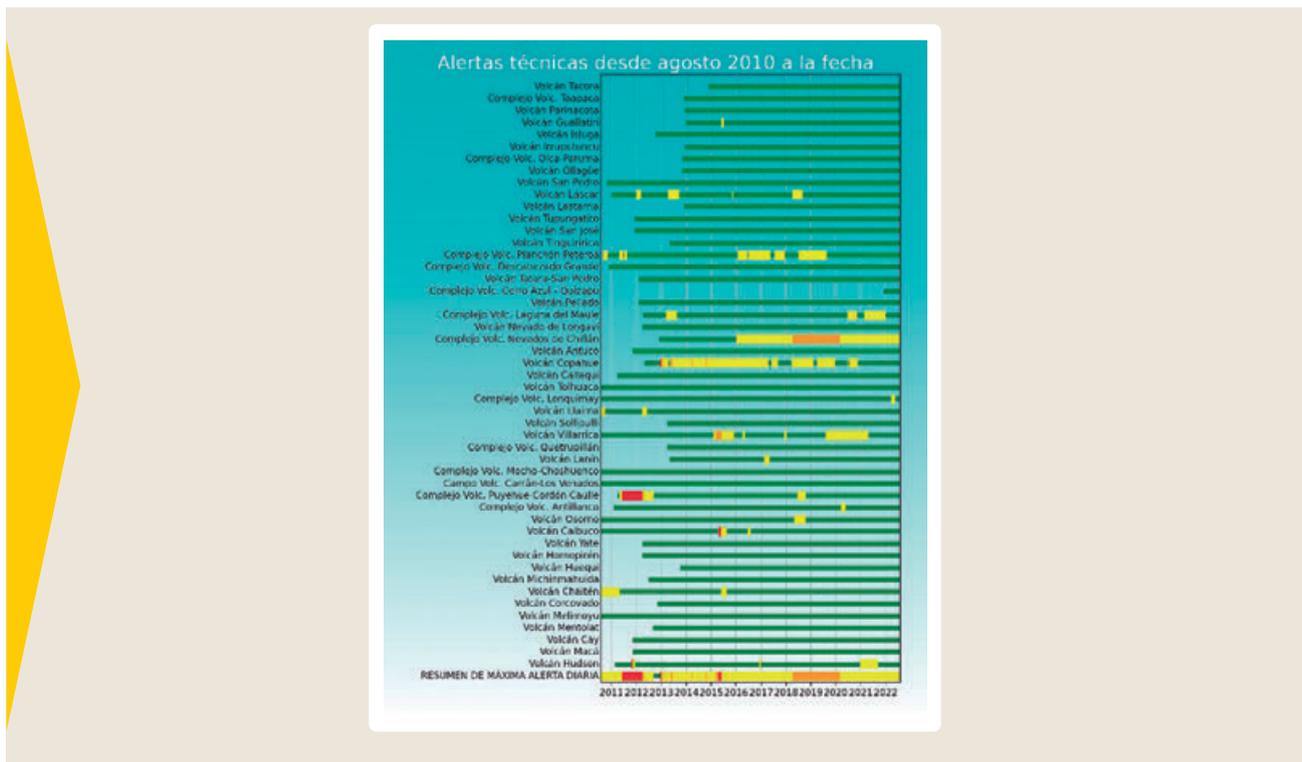
posiblemente relacionado con la movilización de material magmático al interior del sistema volcánico. A las 00:20 HL del día 23 de abril, se registra nuevamente eventos sísmicos híbridos, similares a los registrados previos al primer pulso, con valores de desplazamiento reducido cercanos a 75 cm² y la posterior aparición de una señal de tremor espasmódico que alcanzó valores de desplazamiento reducido de 500 cm², señal antecesora del comienzo del segundo pulso eruptivo, el cual fue energéticamente mayor comparativamente con el pulso anterior y de mayor duración (~5 horas), impulsando una columna eruptiva cercana a los ~17 Km de altura (Valderrama et al. 2016). Levantamiento de los depósitos asociados a la erupción, realizados por el personal de grupo de la Unidad de Peligros Geológicos Volcánicos (UPGSV) del Sernageomin e incluidos en el trabajo de Bertín et al. (2015), describen un depósito de caída piroclástica de más de medio metro, con partículas de hasta 8 cm de diámetro. Asimismo, flujos piroclásticos fueron generados radialmente, alcanzando distancias de hasta 7,5 Km, además, se formaron lahares en su mayoría producidos por interacción de los flujos piroclásticos con el sistema fluvial. El trabajo de Bertín et al. (2015), sugiere un volumen de tefra emitido cercano a los 155 millones de m³, además, análisis petrográficos y geoquímicos de los fragmentos emitidos estiman 58,2% de SiO₂ y un 0,7 % de K₂O, correspondiendo a una andesita.

El tercer caso corresponde al ciclo eruptivo del Complejo volcánico Nevados del Chillán (4° puesto en el ranking), el cual es considerada una erupción prolongada en el tiempo (hasta el momento 6,5 años de actividad eruptiva), pulsátil, de moderada

explosividad e impacto, con ciclos de ascenso y descenso de su actividad. Los primeros síntomas de anomalías internas fueron registrados en diciembre de 2014, ~13 meses antes de la primera explosión registrada, con el aumento de señales relacionadas con actividad de fluidos (LP's) y de ruptura de material frágil (VT), los cuales fueron progresivamente aumentado su ocurrencia y tamaño durante los meses subsiguientes, por lo que el 31 de diciembre del año 2015 fue decretado su cambio de alerta técnica a amarilla. El día 8 de enero, se registra la primera explosión, al cual formó un nuevo cráter en el sector E del edificio volcánico y produjo una columna de 2 Km de altura, dicha explosión fue considerada de tipo freática, sin embargo, algunas muestras de cenizas y gases colectados sugieren una participación de gases magmáticos durante esta fase (Moussallam et al. 2018). Posterior a su ocurrencia el sistema volcánico entró en una fase eruptiva discontinua con diversos periodos de actividad interna y superficial, que confluyó a una fase netamente magmática, con ascensos y descensos transitorios de su actividad, (Cardona et al. 2021), impulsando diversos cambios morfológicos en superficie como la creación de múltiples cráteres, que formaron un único centro de emisión denominado cráter 'Nicanor', a través del cual se formaron diversos cuerpos de domos y flujos de lavas. De acuerdo con un análisis petrológico del material emitido corresponden a magmas de composición dacitas (Benet et al. 2021), con un volumen estimado emitido hasta el momento cercano a los 2 millones de m³, el ciclo volcánico continua activo, con depósitos y zona de afectación restringidas a la parte alta del edificio volcánico, no superando los productos proximales una distancia de 2 Km desde el centro de emisión recientemente formado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el personal técnico y científico del proyecto Red Nacional del Vigilancia Volcánica (RNVV) del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) que se desempeña en el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) y en la Unidad de Geología y Peligros de Sistemas Volcánicos (UGPSV) por su trabajo y profesionalismo durante la atención de las crisis volcánicas mencionadas en este trabajo.



► Fig. 2 – Erupciones y ciclos eruptivos del arco activo volcánico Chileno y cambios de alerta técnica en los diferentes sistemas volcánicos vigilados por el OVDAS durante los últimos 12 años.

REFERENCIAS

- Bertín, D; Amigo, A; Astudillo, V; Bertín, L; Bucci, F. (2015). Erupción del Volcán Calbuco 2015: Estratigrafía y volumen involucrado. In XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena, Chile.
- Benet, B; Costa, F., Pedreros, G., Cardona, C., (2021). The volcanic ash record of shallow magma intrusion and dome emplacement at Nevados de Chillán Volcanic complex, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 417(2). 10.1016/j.jvolgeores.2021.107308
- Cardona, C; Gil-Cruz, F., Franco-Marín, L; San Martín, J; Valderrama, O; Lazo, J; Cartes, C., Morales, S; Hernández, E; Quijada, J., Pinto, C., Vidal, M., Bravo, C., Pedreros, G., Contreras, M., Figueroa, M., Córdova, L., Mardones, C., Alarcón, A., Velásquez, G., Bucarey, C. (2021). Volcanic activity accompanying the emplacement of dacitic lava domes and effusion of lava flows at Nevados de Chillán Volcanic Complex – Chilean Andes (2012 to 2020). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107409>.
- Ewert, J., Guffanti, M., Murray, T. (2005). An Assessment of Volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcanic Early Warning System (NVEWS). United States Geological Survey, OpenFile Report 1164: 1-62.
- Moussallam, Y., Bani, P., Schipper, C.I., Cardona, C., Franco, L., Barnie, T.; Álvaro, A; Curtis, A., Peters, N., Aiuppa, A., Giudice, G., Oppenheimer, C. (2018). Unrest at the Nevados de Chillán volcanic complex: a failed or yet to unfold magmatic eruption? *Volcanica* 1 (1), 19–32. <https://doi.org/10.30909/vol.01.01.1932>.
- Sernageomin (2019). Ranking volcánico de Riesgo específico, versión 2020, <https://rnvv.sernageomin.cl/>.
- 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