

# Evaluación Geológica de Puntos de Encuentro Transitorio (PET) como un insumo base para la Gestión del Riesgo Volcánico en Chile

Franco Vera<sup>1</sup>, Constanza Perales<sup>1</sup>, Virginia Toloza<sup>1</sup>, Felipe Flores<sup>1</sup>, Gabriela Jara<sup>1</sup> y Laura Bono<sup>1</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

**Palabras clave:** Emergencia volcánica, Gestión del Riesgo, Planes de Emergencia.

En el territorio chileno existen 92 sistemas volcánicos activos (SERNAGEOMIN, 2019) y cerca del 20% de la población vive en zonas de impacto por sus peligros (Lara et al., 2011). Adicionalmente, estos representan importantes áreas de desarrollo económico para el país, debido a su potencial turístico y a la relevancia político-administrativa de las localidades que los rodean. Así, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), a través de su Red Nacional de Vigilancia Volcánica, es el organismo técnico que tiene la misión de generar información relativa a peligros volcánicos con el objetivo de reducir el impacto de futuras erupciones en el territorio nacional.

En este contexto, el trabajo coordinado entre el organismo técnico y la comunidad es clave para la correcta gestión del riesgo, por lo que, en un trabajo en conjunto entre SERNAGEOMIN, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) y las municipalidades de comunas en cuyos territorios existen volcanes, se ha comenzado a trabajar en la elaboración de productos enfocados en la confección de planes de emergencia, con el objetivo de facilitar la evacuación en caso de una crisis volcánica.

De esta forma, desde el año 2018, SERNAGEOMIN elabora propuestas de Puntos de Encuentro Transitorio (PET) que se consideran como un insumo base para la coordinación local y regional de emergencias volcánicas. Los PET consisten en lugares de reunión, dentro de las zonas de peligro, para las personas que se encuentran en proceso de evacuación, al ver imposibilitada la llegada directa a puntos seguros. Estos puntos implican la asistencia de los organismos de respuesta para la salida del área de peligro, ayudando a la optimización de los tiempos de evacuación.

En el presente trabajo se describe la estructura general

que se utiliza para la evaluación geológica de PET, revisando los casos de estudio de las localidades de Villarrica y Pucón, asociadas al volcán Villarrica, y a las localidades de Curacautín, Melipeuco, Cunco y Cherquenco, asociadas al volcán Llaima. Adicionalmente, se describen las recomendaciones generales que se entregan a la comunidad y a los organismos de respuesta para la elaboración de los planes de emergencia, considerando el carácter técnico de estos productos.

La estructura de proyecto de la propuesta de PET consiste en cuatro etapas, las que siguen lineamientos generales utilizados en la evaluación de peligro volcánico. En primer lugar, se realiza un análisis de productos anteriores y caracterización de la actividad eruptiva histórica del volcán, considerando las publicaciones relacionadas a peligros volcánicos, por ejemplo, mapas de peligro a escala 1:50.000-75.000, (e.g. Moreno, 2000; Moreno y Naranjo, 2003), y de geología volcánica (e.g. Moreno y Clavero, 2006; Naranjo y Moreno, 2005).

Una vez establecida esta línea de base, se realiza un diagnóstico territorial, a través de reuniones y entrevistas semi estructuradas a actores claves de la comunidad (e.g. representantes de bomberos, policía, escuelas y juntas de vecinos), coordinadas por ONEMI y los municipios. De esta manera, se identifican redes organizacionales y de participación local, y se recopila información sobre impactos de erupciones históricas y de lugares que la comunidad considera menos expuestos de acuerdo con sus vivencias.

Posteriormente, se lleva a cabo una caracterización geológica y geomorfológica del terreno, la que consiste en el levantamiento de nueva información volcanológica. En este contexto, se han llevado a cabo vuelos aerofotogramétricos con vehículos aéreos no

tripulados (drones), que permiten confeccionar modelos de elevación digital y ortomosaicos de alta resolución (cm/píxel) en sectores puntuales, y así evaluar las diferencias de cotas entre zonas pobladas y áreas susceptibles a ser afectadas por procesos volcánicos. Además, se evalúa la pertinencia de proponer un PET en los sectores, de acuerdo a la presencia de comunidades cerca de zonas susceptibles de ser afectadas por un proceso volcánico.

La última etapa metodológica es el trabajo de gabinete. Aquí se analiza la información levantada en las etapas anteriores, cruzando la información obtenida por el diagnóstico territorial, levantamiento geológico, caracterización geomorfológica y mapas de peligros y geológicos pre-existentes, y se determina si el punto evaluado cumple con las condiciones de: diferencia de altura entre el punto con respecto a los sectores susceptibles a ser afectados por procesos volcánicos, que no haya tenido impacto de erupciones históricas, que no se identifiquen depósitos volcánicos relacionados a erupciones recientes y que presente condiciones de acceso mínimas.

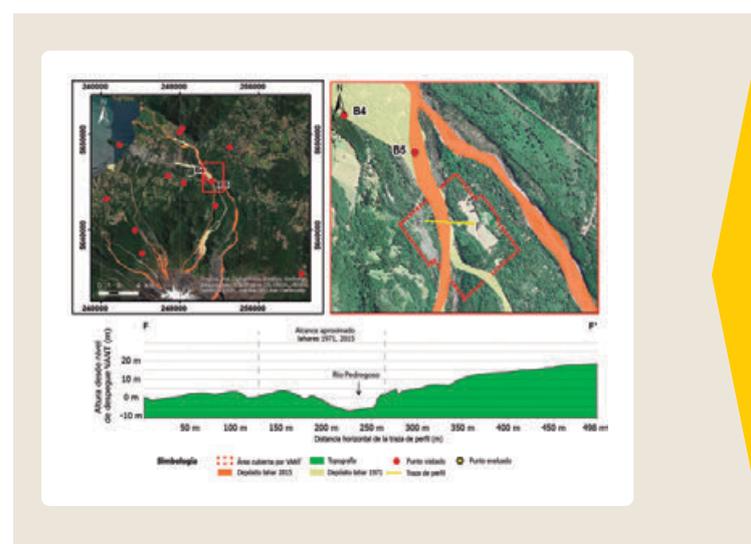
Desde el año 2018 hasta la fecha, se han elaborado 12 informes de evaluación geológica de PET, los que han incluido a 17 localidades expuestas, 10 volcanes y más de 90 puntos propuestos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen de localidades con propuesta de PET.

Localidad	Sistema volcánico	Año Pub.	N° de PET propuestos
Trancas	Nevados de Chillán	2018	En act.
Chaitén	Chaitén	2019	2
Alto Biobío	Copahue	2019	7
Choshuenco	Mocho - Choshuenco	2020	5
Pucura - Traitraico	Villarrica	2021	6
Coñaripe	Villarrica	2020	4
Antuco	Antuco	2021	9
Villarrica - Pucón	Villarrica	2021	28
Curacautín Melipeuco Cherquenco Cunco	Llaima	2021	20
Las Cascadas	Osorno	2022	3
Malalcahuello	Complejo Volcánico Lonquimay	2022	8
Putre	Complejo Volcánico Taapaca	2022	En prep.

Dentro de los volcanes considerados para la evaluación geológica de PET se encuentran el volcán Villarrica y el volcán Llaima, primero y segundo en el ranking de riesgo específico de SERNAGEOMIN (2019), respectivamente. Estos sistemas volcánicos se ubican en el sur del país, y son los dos volcanes con mayor registro de erupciones en tiempos históricos en Chile (Petit-Breuilh, 2004). Sumado a su frecuencia eruptiva, ambos presentan una cubierta de hielo/nieve en sus laderas, por lo que habitualmente desencadenan lahares durante sus erupciones, lo que junto al hecho que estos volcanes tienen en sus alrededores importantes polos de desarrollo turístico, implica que ambos sistemas volcánicos sean los de mayor riesgo en Chile.

El volcán Villarrica es un estratovolcán de conducto abierto, el que presenta un lago de lava activo en su cráter. Durante sus erupciones, suele desencadenar lahares de volúmenes superiores a 106 m<sup>3</sup>, flujos de lava de hasta 17 km de extensión, caída y dispersión piroclástica y, en menor medida, corrientes de densidad piroclásticas. En sus alrededores se encuentran diversas localidades, siendo Pucón y Villarrica las que, debido a su alta exposición, fueron consideradas para la evaluación de PET durante el año 2021. En este sentido, se visitaron 44 puntos de interés, seleccionados según el diagnóstico territorial y al análisis del mapa de peligros a escala 1:75.000 (Moreno, 2000) y del mapa geológico a escala 1:50.000 (Moreno y Clavero, 2006). Además, se



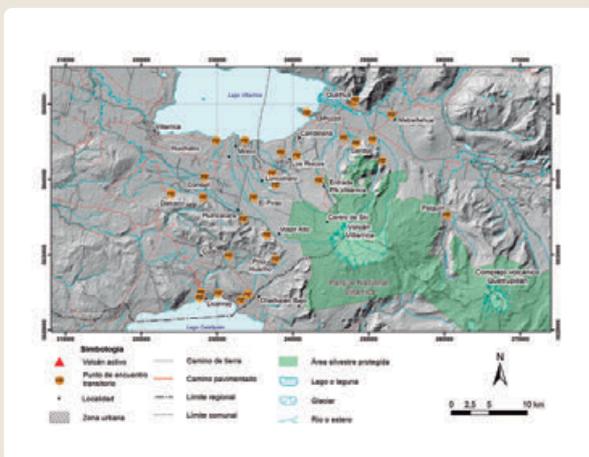
► **Fig. 1** Ejemplo de perfil topográfico realizado en un modelo de elevación digital de alta resolución. A) Ubicación del perfil. B) Acercamiento a la zona de interés. C) Perfil topográfico.

efectuaron levantamientos de fotografías aéreas en 8 puntos críticos, las que fueron capturadas con un vehículo aéreo no tripulado (o dron) marca DJI modelo Mavic 2 Pro y la aplicación DroneDeploy para la programación de los vuelos. A partir del vuelo del VANT, se obtuvieron fotografías traslapadas al 80%. Posteriormente, se confeccionaron ortomosaicos de alta resolución (cm/píxel) y modelos de elevación digital que permitieron realizar perfiles topográficos de detalle y así apoyar la observación de terreno (Fig. 1).

Como resultado de la evaluación, se obtuvo que 17 sitios ubicados en la comuna de Villarrica sí cumplen con las condiciones técnicas para ser considerados como puntos de encuentro transitorio, mientras que en la comuna de Pucón se consideraron 11 puntos (Fig. 2). En particular, este caso de estudio presentó el desafío que la mayoría de la población expuesta corresponde a personas nuevas en el área y/o población flotante, lo que se evidencia en el poco conocimiento que tienen sobre la actividad y peligrosidad del volcán.

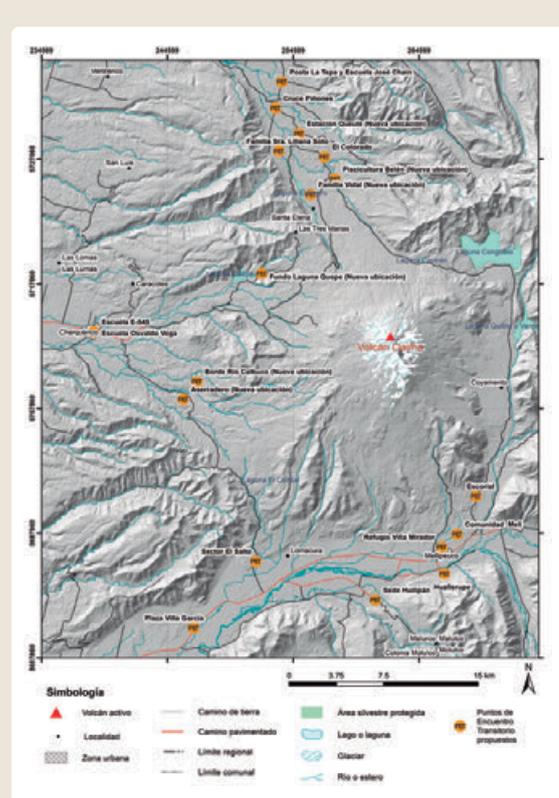
Conco y Vilcún (localidad de Cherquenco), y es parte del Parque Nacional Conguillío. La complejidad de sus erupciones, hacen que algunos PET propuestos tengan condiciones en relación con la evolución de la erupción, lo que representa un desafío para la comunicación y coordinación de la emergencia.

En este caso de estudio, el trabajo se basó en la caracterización de depósitos volcánicos en terreno, análisis de publicaciones anteriores, mapa de peligro volcánico (Moreno y Naranjo, 2003) y mapa geológico (Naranjo y Moreno, 2005), junto con el procesamiento de un modelo de elevación digital de alta resolución (2,5 m/píxel), mediante el cual se elaboraron perfiles topográficos transversales y longitudinales a los principales cauces de la zona. Como resultado se obtuvo que 5 sitios ubicados en Melipeuco, 7 ubicados en Curacautín, 5 ubicados en Vilcún y 2 ubicados en Conco, sí cumplen con las condiciones para ser considerados PET (Fig. 3). Particularmente, cabe destacar que la mayoría de los cauces que se evaluaron en este trabajo,



► Fig. 2 Puntos de Encuentro Transitorio propuestos en las comunas de Pucón y Villarrica.

El volcán Llaima, por otra parte, es un estratovolcán compuesto que presenta dos cimas principales (Llaima y Pichillaima), además de decenas de conos piroclásticos adventicios y fisuras con actividad histórica. Sus erupciones suelen tener diferentes centros de emisión simultáneos, desarrollando flujos de lavas, lahares, corrientes de densidad piroclásticas y caída y dispersión de piroclastos (Naranjo y Moreno, 2005). Su territorio lo comparten las comunas de Curacautín, Melipeuco,



► Fig. 3 Puntos de Encuentro Transitorio propuestos en las comunas de Curacautín, Melipeuco, Conco y Vilcún

tenían evidencia de emplazamiento de lahares, por lo que fue el principal peligro que se consideró para la determinación de PET.

A modo de conclusión, la evaluación geológica de PET ha permitido avanzar en la elaboración de planes de emergencia en caso de erupción volcánica que consideren escalas temporales y espaciales de mayor detalle a las que son consideradas en los mapas de peligros volcánicos publicados a la fecha (escalas 1:50.000 – 75.000). Esto ha permitido actualizar los procedimientos de los municipios en caso de crisis volcánica, favoreciendo la interacción bidireccional entre la comunidad y los organismos estatales.

Estos trabajos a su vez habitualmente son acompañados de otras actividades, como por ejemplo simulaciones o simulacros volcánicos realizados por ONEMI (<http://chile-preparado.onemi.gov.cl/noticias->

simulacros/), gestión de señaléticas y mejoramiento vial, instancias educativas y de sociabilización de los resultados, y formación de mesas de trabajo continuas, por lo que tienen un impacto directo sobre la población expuesta.

Dentro de los desafíos futuros para la evaluación geológica de PET, está el mantener la comunicación continua con las comunidades luego de la presentación de los resultados. La heterogeneidad en las comunidades es marcada en cuanto a culturalidad, vulnerabilidades e interés, por lo que las vías de comunicación masivas suelen ser poco efectivas. Algunos intentos con buen resultado se han realizado mediante utilización de plataformas digitales (e.g. Twitter, Instagram), pero aún es necesario un trabajo multidisciplinario y continuo para mantener la relación bidireccional entre los organismos gubernamentales y la población.

## AGRADECIMIENTOS

El equipo agradece a la coordinación realizada por los funcionarios de ONEMI y de las municipalidades involucradas en la evaluación de Puntos de Encuentro Transitorio.

## REFERENCIAS

- ▶ Lara, L.E.; Orozco, G.; Amigo, A.; Silva, C. (2011). Peligros Volcánicos de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 13: 34 p., 1 mapa escala 1:2.000.000. Santiago.
- ▶ Moreno, H., (2000). Mapa de peligros del volcán Villarrica, Regiones de la Araucanía y de Los Lagos. Servicio Nacional de geología y Minería, Documento de trabajo, N°17, 1 mapa escala 1:75000. Santiago. 32.
- ▶ Moreno, H. y Naranjo, J.A. (2003). Mapa de Peligros del Volcán Llaima, Región de La Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No. 7, escala 1:75.000. Santiago.
- ▶ Moreno, H. y Clavero, J. (2006). Geología del área del volcán Villarrica, Regiones de la Araucanía y de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N° 96: 37pp. Santiago.
- ▶ Naranjo, J. A. y Moreno, H., (2005). Geología del Volcán Llaima, Región de La Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No. 88, 33 p. 1 mapa escala 1:50.000.
- ▶ 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. Huelva.
- ▶ SERNAGEOMIN. (2019). Ranking de riesgo específico para volcanes activos de Chile 2019. [https://www.sernageomin.cl/wpcontent/uploads/2020/07/2Ranking-2019\\_Tabla\\_Final.pdf](https://www.sernageomin.cl/wpcontent/uploads/2020/07/2Ranking-2019_Tabla_Final.pdf). (Última visita 15/07/2022).