

Palabras Claves: Complejo Volcánico Laguna Maule, Observatorio Volcanológico, Eventos Volcano-tectónicos, Monitoreo Simovolcánico.

INTRODUCCIÓN

El Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLdM, 36°01'12" S, 70°34'47" O; Argentina-Chile, fig.2) ocupa un área de ~ 500km² alrededor de la laguna homónima. Su historia eruptiva se ha desarrollado de manera ininterrumpida a lo largo del último millón de años, con una importante recurrencia de eventos explosivos (reconocidos principalmente en territorio argentino). Este complejo se encuentra compuesto por 130 centros individuales que han emitido un volumen de más de 350 Km³ de productos lávicos y piroclásticos. El CVLdM se encuentra monitoreado desde el año 2011 por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS-SERNAGEOMIN, Chile). El CVLdM presenta un proceso de deformación sostenida desde el año 2007 mayor a 20 cm/año (Le Mevel et al., 2021). Se reconoce a la estación MAU (OVDAS-Chile, fig.1) como la más cercana al centro de deformación identificado tanto por estaciones GPS en la zona, como a través de InSAR (Feigl et al., 2014; Reportes de Actividad Volcánica emitidos por el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica y OVDAS). Se han observado, a su vez, emisiones anómalas de CO₂ en el sector de Las Nieblas (36°6'39.49", 70°34'23.92", 20 de marzo 2020) informadas a través de los Reportes de Actividad Volcánica (RAVs) emitidos por el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV-SEGEMAR, Argentina) y OVDAS. Asimismo, se ha reconocido actividad sísmica (detallada en los RAVs y Reportes Especiales de Actividad Volcánica emitidos por el OAVV y OVDAS) con eventuales enjambres sísmicos presentando eventos tipo VT (volcano-tectónicos, producto del fracturamiento de material rígido). Estos han sido en su gran mayoría de corta duración (0,5 a 3 hs), baja magnitud (< 3 ML) y profundidades menores a 10 km (Cardona et al. 2018). Dichos autores identificaron dos áreas sísmogénicas principales, una al suroeste (SO) y otra al sureste (SE) de la Laguna del Maule, la primera ubicada en la zona de alzamiento y vinculada directamente a la intersección de la Falla Troncoso y la segunda bajo el Subcomplejo Volcánico Cerro Barrancas, en cercanías de la estación BAR (fig1).



La vigilancia volcánica requiere del análisis de las señales multiparamétricas asociadas a la actividad volcánica a lo largo del tiempo para definir una línea base de actividad en tiempos de reposo y detectar las anomalías que indican cambios en la dinámica interna del volcán. Identificar patrones en estas anomalías permite identificar precursores de actividad eruptiva, establecer niveles de alerta técnica y brindar la información necesaria a las autoridades y la población para la adecuada gestión del riesgo volcánico. El CVLdM presenta una intensa actividad sísmica conformada principalmente por enjambres de VTs y algunos eventos asociados a dinámica de fluidos (LP, TR) o mixtos (HB) (Figs. 5 y 6). La caracterización de las señales a través de su correcta clasificación, la identificación de las fuentes sísmogénicas y su interpretación geodinámica resultan cruciales para la evaluación de los peligros volcánicos asociados. Para ello es indispensable contar con una red instrumental y metodologías diseñadas a fin de asegurar buena cobertura y resolución en la localización de las fuentes reduciendo la incertidumbre en los resultados. La red de monitoreo sobre territorio chileno posibilitó realizar el seguimiento de la actividad interna del CVLdM desde 2011 y generar alertas técnicas. Sin embargo, debido a la extensión del CVLdM y la ubicación relativa de los centros eruptivos asociados (Gho et al., 2019), dicha red excluía, por ejemplo, el Subcomplejo Volcánico Cerro Barrancas. Por este motivo en el año 2021 el OAVV y el Gob. de la Provincia del Neuquén instalaron la primera red instrumental multiparamétrica sobre el sector argentino del CVLdM (fig.1), conformando la Red Binacional de Monitoreo Volcánico del CVLdM y convirtiéndolo en uno de los volcanes mejores monitoreados en la cordillera de los Andes (Argentina-Chile).

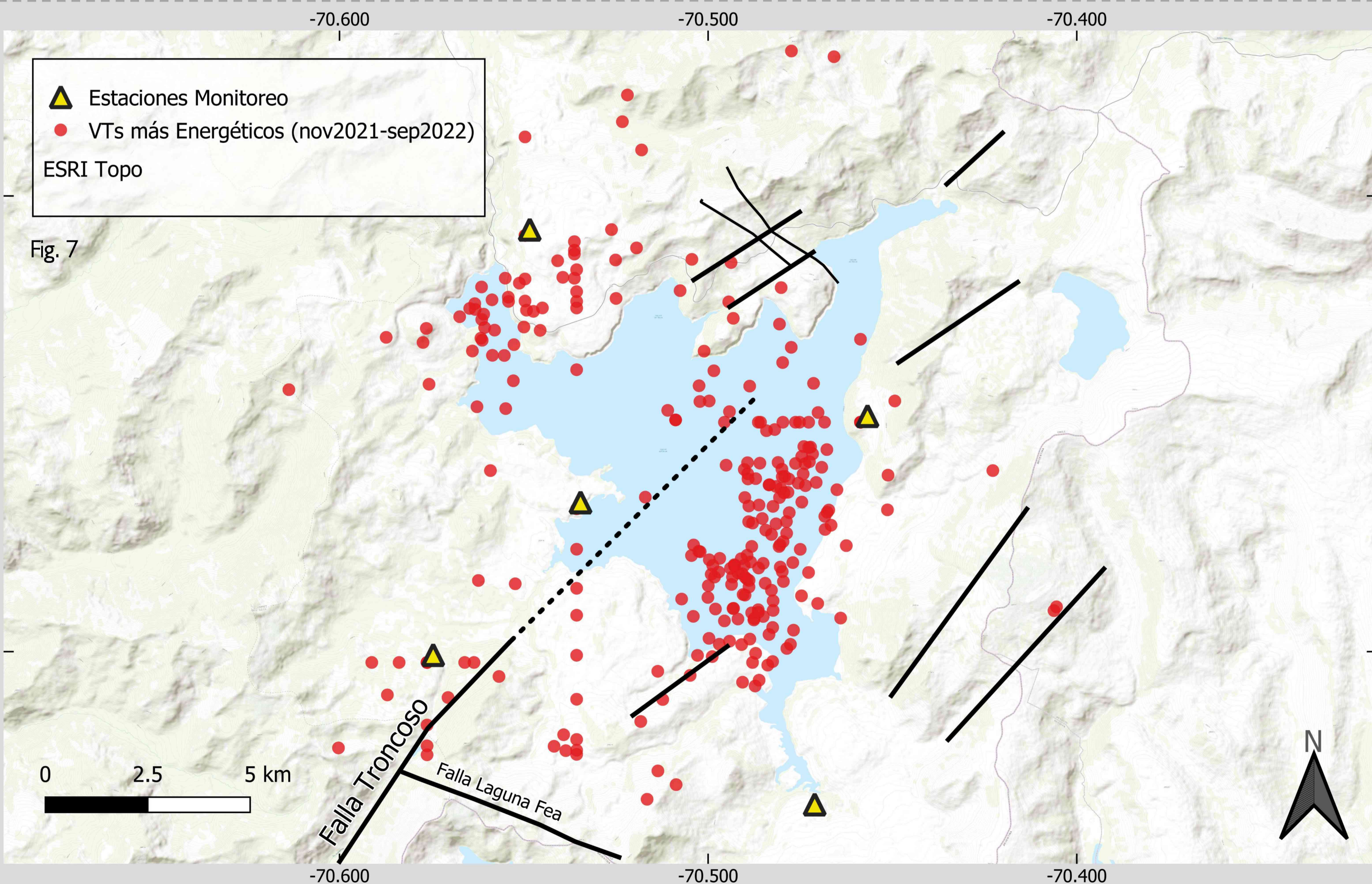
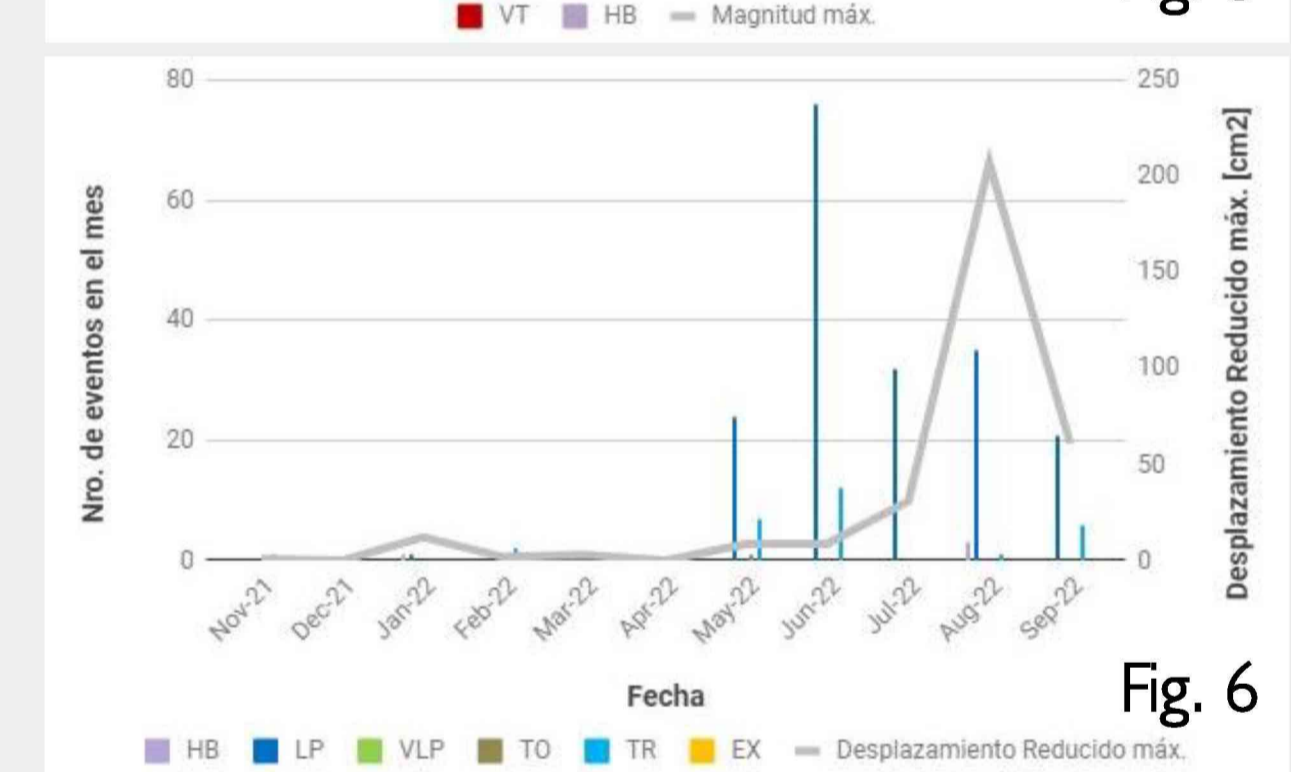
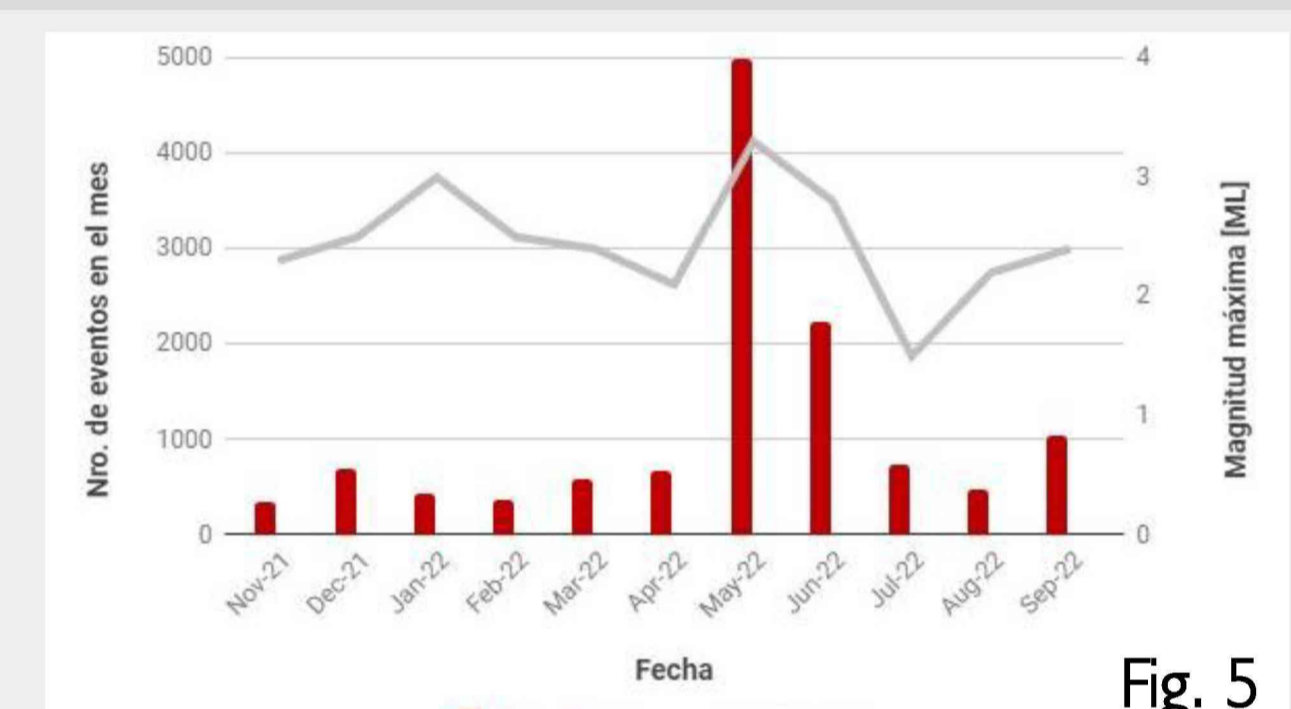
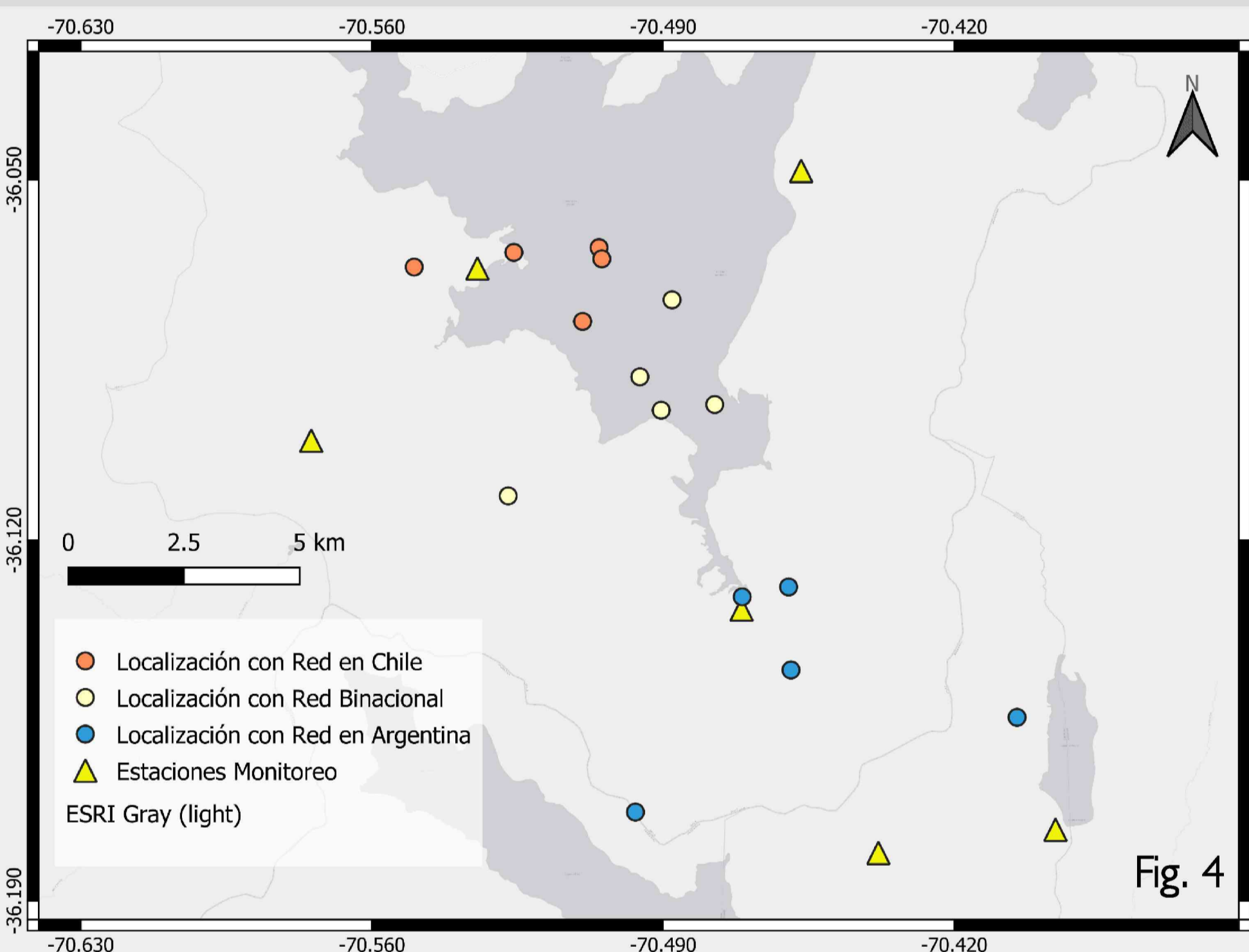
MOTIVACIÓN

La actual red binacional está constituida por doce (12) estaciones sísmológicas de banda ancha, ocho (8) estaciones GNSS, cuatro (4) inclinómetros electrónicos y dos (2) cámaras IP de monitoreo.

NUEVA RED

RESULTADOS

Se presentan resultados preliminares del análisis de la sísmica VT registrada en el CVLdM entre noviembre de 2021 y septiembre de 2022. La comparación de los epicentros obtenidos para eventos seleccionados (fig.4) localizados utilizando únicamente estaciones de la red en Chile (puntos naranjas), estaciones de la red en Argentina (puntos azules) o la totalidad de estaciones de la red binacional (puntos amarillos), evidencia una minimización, en el último caso, de los errores sistemáticos de localización debidos a la geometría de la red en relación con las fuentes. Para la localización preliminar de los eventos tipo VT más significativos del período se aplicó inversión de tiempos de arribo de la señal a las estaciones sísmológicas a través de procesado manual de eventos individuales (Hypo71). Se han identificado a su vez numerosos eventos poco energéticos que no habrían sido incluidos en el catálogo utilizando solo una de las redes nacionales. De este modo, la nueva red instalada en el CVLdM permite densificar el catálogo sísmico de eventos y reducir la incertidumbre de las localizaciones mejorando la identificación e interpretación de las zonas sísmogénicas tal como se ha observado en otros sistemas volcánicos (p. ej. Casas et al., 2016²; Olivera Craig, 2017).



DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Se pueden identificar (fig.7), a grandes rasgos, dos (2) focos principales de actividad, uno al sureste (SE) de la Laguna del Maule y este (E) de la Falla Troncoso, y otro al noroeste (NO) de la Laguna del Maule. La abundancia en la presencia de fallas, sumado a la deformación y anomalías de CO₂ detectadas en la zona nos habla de un posible origen tectónico en la actividad sísmica registrada o, de su relación con la deformación sostenida y estudiada en los últimos años cuyo origen estaría asociado a fenómenos relacionados con cuerpos magmáticos profundos (Feigl et al., 2014). Con la densificación en los datos, que se obtienen a través del monitoreo continuo, se espera llegar a mejores interpretaciones y calidad durante el seguimiento de la actividad en el CVLdM. Estos resultados resaltan la importancia de la colaboración binacional en el monitoreo de volcanes limítrofes y permiten iniciar nuevos y más detallados estudios en la zona.

Bibliografía

- Cardona, C., Tissara, A., Gh-Cruz, F., Lara, L., Morales, S., Kohler, P., & Franco, L. (2018). Crustal seismicity associated to rapid surface uplift at Laguna del Maule Volcanic Complex, Southern Volcanic Zone of the Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 353, 83-94.
- Casas, J. A.; Badi, G. A.; Olivera Craig, V. H.; Manassero, M. C.; Dragunov, D.; Franco Marín, L.; Gómez, M.; Ruygrok, E. (2016). Re-localización de eventos de fractura registrados en el área del volcán Petrosa, Andes Centrales, Argentina-Chile. *Actas del E-ICES 11*, 2016. En prensa.
- Feigl, K. L., Le Mevel, H., Tabrez Ali, S., Córdova, L., Andersen, N. L., DeMets, C., & Singer, B. S. (2014). Rapid uplift in Laguna del Maule volcanic field of the Andean Southern Volcanic zone (Chile) 2007–2012. *Geophysical Journal International*, 196(2), 885-901.
- Gho, R., Sruoga, P., Amigo, A., Fierstein, J., Elissondo, M., Kaufman, J., Tolosa, V., Calderón, R. (2019). Peligros del Complejo Volcánico Laguna del Maule, Argentina y Chile. *Servicio Geológico y Minero – Servicio Geológico Minero Argentino. Publicación Geológica Multinacional*, 8. En prensa.
- Le Mevel, H., Córdova, L., Cardona, C. (2021). Unrest at the Laguna del Maule volcanic field 2005–2020: renewed acceleration of deformation. *Bull. Volcanol* 83, 39. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01457-0>
- Olivera Craig, V.H. (2017). Re-localización de eventos de fractura en el área del CVPP mediante optimización de la identificación de arribos y localización conjunta. Director: Badi G. A. [Res. CD 206, Expte. 1100-1999/16].
- Peterson, D. E., Garibaldi, N., Keranen, K., Tikoff, B., Miller, C., Lara, L. E., ... & Lanza, F. (2020). Active normal faulting, diking, and doming above the rapidly inflating Laguna del Maule volcanic field, Chile, imaged with CHIRP magnetic and focal mechanism data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(8), e2019J019329.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades del SEGEMAR por el apoyo constante y a todos los organismos, instituciones y grupos científicos a nivel nacional e internacional que colaboran en esta importante tarea. Al equipo perteneciente al OAVV, especialmente a Nicolas Vigide, Gemma Acosta, Jazmín Yrines y Pablo Forte por sus comentarios y ayuda. Al Gobierno de la Provincia de Neuquén, al personal de OPTIC, DC y personas que hicieron posible la instalación de la red.

Figuras

- Fig.1: Mapa de la red binacional de monitoreo volcánico del CVLdM, perteneciente al OAVV del SEGEMAR de Argentina y al OVDAS del SERNAGEOMIN de Chile.
Fig.2: Mapa con detalle de localización del CVLdM.
Fig.3: Estación Laguna Fea (FEA) perteneciente a la red binacional de monitoreo volcánico del CVLdM.
Fig.4: Ejemplificación gráfica de diferencias en los resultados de localización de sismos utilizando únicamente estaciones de la red en Chile (puntos naranjas), estaciones de la red en Argentina (puntos azules) y utilizando la totalidad de estaciones de la red binacional (puntos amarillos).
Fig.5: Número y magnitud máxima de eventos sísmicos producto del fracturamiento de material rígido para el período de noviembre 2021 a septiembre 2021.
Fig.6: Número y desplazamiento reducido máximo de eventos sísmicos producto de la dinámica de fluidos interna para el período de noviembre 2021 a septiembre 2021.
Fig.7: Mapa con localización preliminar de eventos VT más energéticos ocurridos durante el período de noviembre 2021 a septiembre 2021 y fallas principales presentes en la zona (Peterson et al., 2020)