Brotes Científicos
REVISTA DE INVESTIGACIONES ESCOLARES

Vol. 8, n.°1 | Págs. 36-47 (2026)
ISSN 0719-8558

Sostenibilidad
Ciencias naturales y exactas

Laguna del Maule y su influencia en los enjambres sísmicos en la comuna de San Clemente

Laguna del Maule and its influence on seismic swarms in the commune of San Clemente

Artículo de investigación
Research Article

Editor de área
Dr. Manuel Ignacio Azócar

Artículo recibido: 17 de octubre de 2025
Artículo aceptado: 6 de febrero de 2026
Artículo publicado: 30 de octubre de 2026

Este proyecto fue presentado en la XXVI Feria Nacional de la Ciencia y la Tecnología, 1º Feria Cientifica y Tecnologica del Colegio Las Rastras Talca, V Feria Científica del JIM Talca 2025, Valdiciencia Austral: Miradas Interdisciplinarias 2024, y 7ª Feria Nacional de Ciencias Escuela Costanera, obteniendo en las tres primeras ferias mencionadas: 1.er lugar en la categoría A Ponencia, 1.er lugar Enseñanza Media y 3.er lugar Enseñanza Media respectivamente.

Cómo citar
Huina, F. (2026). Laguna del Maule y su influencia en los enjambres sísmicos en la comuna de San Clemente. *Brotes Científicos, Revista de Investigaciones Escolares, 8*, 36-47.
DOI: https://doi.org/10.35588/bc.v8.69

Estudiante
Fernanda Huina Vera
Cursos
III y IV medio
Colegio
Liceo Bicentenario de Excelencia
Santa Marta de Talca
Profesora guía
Javiera Carrasco Rojas
del Departamento de Ciencias, Liceo Bicentenario de Excelencia Santa Marta de Talca

Resumen

La investigación se focaliza en la sismología del Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLM) en Chile. Para ello se considera la estructura interna de la Tierra, sismología volcánica, geología del sector y sistemas de fallas. El objetivo de la investigación es analizar la relación que existe entre el CVLM y los enjambres sísmicos en la comuna de San Clemente, Región del Maule. Para ello se utiliza una extensa revisión bibliográfica de textos científicos acerca de la geología en las coordenadas 36°03'32.4"S 70°30'03.6"W, monitoreo de sismos y reportes de actividad volcánica durante el año 2024 y parte del año 2025, también se entrevista a geólogos pertenecientes a la Universidad Católica del Maule y por último el desarrollo de una impresión 3D del Complejo Volcánico. Los resultados indican una relación directa entre el CVLM y la ocurrencia de enjambres sísmicos a causa de que el CVLM tiene una tendencia a originar sismos por fracturación de roca, conocidos como volcanotectónicos; sin embargo, debido al sistema de fallas presentes en el sector se localizan dos principales fracturas, las cuales son la falla Troncoso y falla Laguna Fea, por lo que se generan eventos sísmicos de carácter tectónico, lo cual provoca una mayor complejidad en la comprensión de la sismología del lugar. El estudio de este tipo de fenómenos es esencial para la comprensión científica de profesionales y de la población local, pues permite descartar mitos acerca del comportamiento de esta formación volcánica. A futuro, se proyecta aplicar un plan de evacuación frente a cualquier amenaza de erupción o posibles lahares e inundaciones del CVLM para poblaciones aledañas.

Palabras clave: volcán, enjambre sísmico, Laguna del Maule, fallas, sismología volcánica.

Brotes Científicos
REVISTA DE INVESTIGACIONES ESCOLARES

Abstract

This research focuses on the seismology of the Laguna del Maule Volcanic Complex (CVLM) in Chile. It takes into account the Earth's internal structure, volcanic seismology, local geology, and fault systems. The study aims to analyze the relationship between the CVLM and seismic swarms in the commune of San Clemente, Maule Region. The methodology involves an extensive literature review of scientific texts regarding the geology at coordinates 36°03'32.4"S 70°30'03.6"W, the monitoring of earthquakes and volcanic activity reports from 2024 through early 2025, interviews with geologists from the Universidad Católica del Maule, and the creation of a 3D model of the volcanic complex. The results indicate a direct link between the CVLM and the occurrence of seismic swarms, as the complex tends to generate earthquakes caused by rock fracturing—known as volcano-tectonic events. However, the local fault system includes two major fractures—the Troncoso Fault and the Laguna Fea Fault—which also generate tectonic seismic events, thereby complicating the understanding of the area's seismology. Studying these phenomena is essential for the scientific understanding of both professionals and the local population, as it helps dispel myths regarding the behavior of this volcanic formation. Future plans include implementing an evacuation strategy for nearby communities in the event of an eruption threat or potential lahars and flooding associated with the CVLM.

Keywords: volcano, seismic swarm, Laguna del Maule, faults, volcanic seismology.

CC BY

1. Introducción

El CVLM es una formación geológica que presenta un conjunto de volcanes, conos, flujos de lava, entre otras estructuras de carácter volcánico, que se encuentra ubicado en la comuna de San Clemente, Región del Maule, el cual últimamente ha llamado la atención de geólogos nacionales e internacionales, dado que según los registros del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) el complejo presenta irregularidades. Su estudio considera factores geológicos y geográficos, incluyendo la estructura interna de la Tierra, la configuración del relieve en el sector cordillerano, el reconocimiento de formaciones geológicas relevantes, y la dinámica de fluidos magmáticos que circulan en el subsuelo del complejo volcánico.

El objetivo de la investigación es analizar la relación que existe entre el CVLM y los enjambres sísmicos registrados en la zona. A partir de esto, se busca identificar los distintos tipos de enjambres sísmicos en la zona, las características geográficas mediante una exhaustiva búsqueda bibliográfica de estudios previos acerca del CVLM, además de una entrevista con dos geólogos, académicos de la Universidad Católica del Maule. Se incorpora además el monitoreo a través de reportes de actividad volcánica y sismogramas diarios emitidos por SERNAGEOMIN. Finalmente, se desarrolla un modelo en 3D que permite evidenciar las características geográficas y las zonas con mayor actividad sísmica, lo que contribuye al fortalecimiento del conocimiento geológico en la comunidad educativa, promoviendo la educación científica y el conocimiento acerca de los fenómenos naturales.

Los resultados obtenidos muestran que los enjambres sísmicos y el CVLM están vinculados directamente, pues los movimientos telúricos corresponden, principalmente, a sismos producidos por el movimiento de magma y ruptura de roca dentro del complejo, eventos comunes en sistemas volcánicos activos, además de una anomalía, refiriéndose a esto como intrusión de magma a la cámara magmática del complejo que aumenta los sismos y deformación de este mismo. Sin embargo, el estudio permitió la identificación de dos fallas geológicas independientes, las cuales pueden ser causantes de otros sismos aparte de los propios del CVLM, añadiendo complejidad a la perspectiva sísmica del sector.

En conclusión, esta investigación es esencial para la comprensión científica y la educación en las comunidades cercanas, además de la posible ejecución a futuro de un plan de prevención de riesgos geológicos que puedan afectar a la población del sector. Al integrar lo antes mencionado se fortalece la capacidad de actuación frente a emergencias y se promueve una cultura resiliente y respetuosa con los fenómenos naturales que son característicos de nuestro planeta, evitando de esta manera posibles desastres que pongan en riesgo la integridad física y mental de las personas y el entorno ambiental.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 36-47 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

2. Formulación de la investigación

2.1 Problema de investigación

La comuna de San Clemente tiene un alto nivel de sismicidad, específicamente en la zona de la Laguna de Maule, pero se desconoce si es causada por fallas geológicas o por razones de origen volcánico en la zona.

2.2 Pregunta de investigación

¿Los enjambres sísmicos producidos en la comuna de San Clemente se relacionan con la Laguna del Maule?

2.3 Hipótesis

Existe una relación entre la Laguna del Maule y los enjambres sísmicos, ya que el complejo volcánico activo puede generar sismos de baja magnitud debido al movimiento de las placas tectónicas.

2.4 Objetivo general

Analizar la relación entre el Complejo Volcánico Laguna del Maule y los enjambres sísmicos de la zona.

2.5 Objetivos específicos

2.5.1 Identificar los distintos tipos de enjambres sísmicos en la zona y las características geográficas del Complejo Volcánico Laguna del Maule.

2.5.2 Conocer la naturaleza de los movimientos telúricos de la zona mediante entrevista semiestructurada a dos Geólogos expertos en Vulcanología.

2.5.3 Desarrollar un modelo en 3D que permita visualizar las características geográficas y las zonas con mayor actividad sísmica.

3. Marco teórico

3.1 Estructura interna de la tierra

El planeta Tierra está compuesto por diversas capas, las cuales son: el núcleo, el cual se divide en interno y externo; el manto, el cual se divide en superior e inferior; finalmente, como la capa más externa tenemos a la corteza terrestre, que es la más delgada o fina (Iturralde-Vinent, 2007).

3.2 Límites tectónicos

Dentro del límite de la corteza y la parte superior del manto se encuentran la litosfera y la astenosfera. Se puede decir que la litosfera "flota" sobre la astenosfera, además se encuentra dividida por fragmentos, los cuales reciben el nombre de placas tectónicas (Anguita, 1995). Estas pueden tener diversos tipos de límites y movimientos identificados como divergente, transformantes y convergentes (Fernández et al., 2019). En cambio, la astenosfera es la parte superior del manto y se encuentra en un estado viscoso, lo que le permite fluir provocando el movimiento de las placas tectónicas.

3.3 Fallas geológicas

Es un elemento geológico que se define como "una fractura en las rocas en la que ocurre un desplazamiento relativo entre los bloques que separan la falla" (SERNAGEOMIN, 2021).

3.4 Sismicidad

En contextos volcánicos, la sismicidad puede clasificarse en diversos tipos según el mecanismo que los origina. Según Ibáñez y Carmona (2000), los tipos de sismos son:

3.4.1 Volcanotectónico (VT)

Sismos producidos por la ruptura de roca en el interior del volcán a causa del movimiento del magma.

CC BY

3.4.2 Largo periodo (LP)

Movimiento telúrico producido por el movimiento de fluidos volcánicos.

3.4.3 Tremor (TR)

Sismo producido por el continuo movimiento de fluido volcánico.

3.4.4 Muy largo periodo (VLP)

Sismo por movimiento de fluidos que puede indicar nuevos aportes de magma.

3.4.5 Tornillo (TO)

Sismo LP que posee una señal u onda parecida a un tornillo.

3.4.6 Híbrido (HB)

Sismo causado por la ruptura de roca y movimiento de fluidos.

3.5 Enjambre sísmico

Se define como una secuencia de sismos de baja magnitud que se producen en un sector específico, los cuales no son provocados por un sismo de magnitud mayor (Centro Sismológico Nacional, s. f.).

3.6 Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLM)

3.6.1 Geología del sector

El Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLM) se define como "Conjunto de centros de emisión formados por diferentes estructuras y productos volcánicos yuxtapuestos, que en algunos casos comparten un sistema alimentador y pueden estar genéticamente relacionados" (SERNAGEOMIN, 2019), presenta una variedad de formaciones, como conos, volcanes de escudo y flujos de lava, un área basal 370 km^2 y un volumen aproximado de 170 km^3 (SERNAGEOMIN, 2022). Además de pertenecer a un reservorio magmático silícico rico en cristales (Miller et al., 2017a).

Se encuentra ubicado en la Séptima Región de Chile, es un volcán tipo II, lo que indica un alto nivel de riesgo específico, debido a "erupciones en tiempos históricos y/o instrumentalmente se ha observado actividad que podría ser indicativa de una reactivación en los próximos años" (SERNAGEOMIN, 2025) o intensa actividad geológica (Figueroa, 1988; Honores, 2013), por lo que diversos autores han advertido sobre su potencial peligro volcánico al tener un historial de erupciones explosivas (Amigo et al., 2012) y mantener un constante monitoreo (Silva et al., 2018; Sruoga et al., 2015).

3.6.2 Alertas volcánicas

En Chile existe un sistema de alerta en donde se han establecido cuatro niveles de alerta volcánica según el estado de la dinámica de un volcán: verde (sin variación), amarilla (inestable), naranja (variación significativa) y roja (desarrollo esperado de un evento eruptivo). Durante parte del año 2024, el CVLM se encontraba en estado verde tras haber estado en el 2023 y parte del 2024 en alerta amarilla (SERNAGEOMIN, s.f.). Sin embargo, en el año 2025 se encuentra inestable.

3.6.3 Tipos de rocas

El sector en donde se ubica esta formación se encuentra constituido por rocas principalmente de carácter ígneo, destacando principalmente las rocas basálticas, andesitas y flujos de lava (Honores, 2013).

4. Metodología

4.1 Revisión bibliográfica

Se recopilaron y analizaron textos científicos, los cuales se dividen en la tectónica de placas y actividad sísmica en el CVLM, añadiendo monitoreo semanal por medio del visor interactivo de SERNAGEOMIN en las coordenadas 35°59'S – 70°35'W.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 36-47 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

4.2 Entrevista a geólogos expertos

Para complementar la revisión bibliográfica, se realizó una entrevista semiestructurada con Álvaro Aravena y Francisco Cáceres, especialistas en geología y vulcanología de la Universidad Católica del Maule.

El propósito de esta entrevista fue conocer la dinámica de la Laguna del Maule mediante el diálogo constante con los geólogos y la observación de un modelo geológico del Paso Internacional Pehuenche, en donde se visualizaba el CVLM.

4.3 Monitoreo de sismología y actividad volcánica

Se utilizaron las plataformas digitales de SERNAGEOMIN[1] y Servicio Geológico Minero Argentino (SegemAR)[2], las cuales proporcionan reportes de actividad volcánica (RAV), reportes especiales de actividad volcánica (REAV), cámaras en línea tiempo real, sismogramas diarios, registro de parámetros geodésicos, geoquímicos y/o de actividad superficial últimos 12 meses, registro sísmico de los últimos 12 meses y alertas volcánicas. Además del "Visor Chile Preparado" de Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SERNAPRED)[3], que otorga un mapa de amenaza volcánica, volcanes geológicamente activos y peligrosidad.

Según todos los registros analizados se da paso a la recopilación de datos.

4.3.1 Recopilación de datos mediante un gráfico

Se desarrolló un gráfico de líneas en donde la variable independiente (Eje Y) corresponde al número de sismos producidos en la zona correspondiente a CVLM, entre un rango de 0 a 35.000 sismos, y como dependiente (Eje X) los tipos de sismos registrados en los reportes de actividad volcánica desde el año 2024 al año 2025. Cada recta representa un tipo de sismo producido en el lapso de tiempo establecido.

1 https://rnvv.sernageomin.cl/complejo-volcanico-laguna-del-maule/
2 https://oavv.segemar.gob.ar/monitoreo-volcanico/laguna-del-maule/
3 https://www.visorchilepreparado.cl/

4.4 Representación física de la Laguna del Maule

A continuación, se detalla el procedimiento de la elaboración en 3D del CVLM.

4.4.1 Identificación de zona sísmica. Se identificó la zona con mayor sismicidad de la comuna de San Clemente realizando un modelo tridimensional.

4.4.2 Modelamiento 3D. Se utilizó la plataforma TouchTerrain[4] para modelar el territorio geográfico físico tridimensional de la Laguna del Maule a escala, para ello se necesitaron las siguientes coordenadas: *36°03'32.4"S 70°30'03.6"W.*

4.4.3 Impresión 3D. Se utilizó la impresora 3D MakerBot con uso de ácido poliláctico (PLA), que permitió la elaboración de un modelo físico, en donde se puede observar con mayor facilidad la geografía del complejo volcánico.

4.4.4 Ornamentación de impresión. Prosiguiendo con la representación física del Complejo Volcánico Laguna del Maule, se aplicó pintura acrílica, para darle una imagen realista al modelo.

5. Resultados

5.1 Sismología y geología de CVLM

El CVLM se encuentra en la placa continental Sudamericana, en una zona de convergencia, con subducción de la placa oceánica (placa de Nazca), perteneciendo de esta forma al arco posterior de la zona de subducción (Hildreth et al., 2010), movimiento el cual es responsable del vulcanismo andino (Fernández et al., 2019; Anguita, 1995).

Se identifica la falla Troncoso como la principal fractura dextral de la zona (Figura 1), que se extiende desde el borde SW de la Laguna del Maule hasta 30 km al SW, aproximadamente hasta el lago Dial (González y Vergara, 1962; Muñoz y Niemeyer, 1984) con una

4 https://touchterrain.geol.iastate.edu/

CC BY

orientación aproximada de N45°E. La falla se encuentra bastante próxima a una zona de deformación asociada a la activación de movimientos magmáticos (Le Mével et al., 2021; Miller et al., 2017b; Peterson et al., 2020), lo que explica su reactivación con movimiento normal durante este evento de inflación geodésica (Garibaldi et al., 2020).

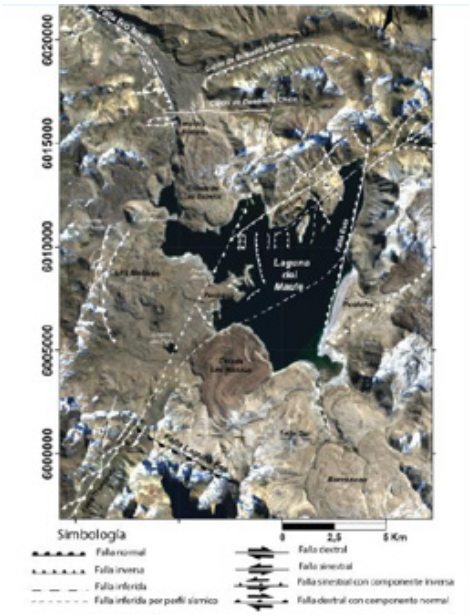


Figura 1

Sistema de fallas del Complejo Volcánico Laguna del Maule. Nota. Extraído de Arratia (2024).

También se localiza una segunda falla de gran importancia, identificada como falla Laguna Fea. Ambas fracturas se encuentran activas (Rojas, 2019), en donde se producen enjambres sísmicos de carácter tectónico, por su deslizamiento y posible expansión de material volcánico en la zona (Cardona et al., 2015; Arratia, 2024).

Refiriéndonos a la actividad sísmica del sector hay un aumento significativo de movimientos volcanotectónicos y deformación entre los años 2024 y 2025 (Figura 2), considerándose como un registro históricamente elevado (SERNAGEOMIN, 2025). Esto es un claro ejemplo de que el Complejo Volcánico Laguna del Maule tiene la tendencia a generar movimientos sísmicos originados por la ruptura frágil en rocas corticales (Cardona et al., 2018).

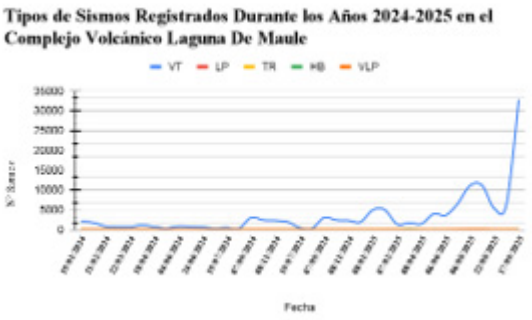


Figura 2

Tipos de sismos registrados durante 2024–2025 en el CVLM. Nota. Elaboración propia a partir de reportes de SERNAGEOMIN.

Sin embargo, según entrevista realizada a Francisco Cáceres, Álvaro Aravena y lo señalado por Cardona (2018) y Fournier et al. (2010) el complejo volcánico posee una anomalía en su dinámica, puesto que en la zona suroeste se encuentra una deformación de más de 20 cm/año (Le Mével et al., 2021) por intrusión de magma, fluidos hidrotermales o una inflación de cámara magmática dentro del complejo (Figura 3), lo que demuestra un aumento de sismos relacionados con la dinámica de fluidos. Estos resultados coinciden con estudios que muestran la existencia de magma a poca profundidad bajo la Laguna del Maule, entre aproximadamente 2 y 8 km, el cual está parcialmente fundido y puede causar el levantamiento del terreno (Wespestad et al., 2019). Además, otros trabajos indican que este magma está conectado con una fuente más profunda, lo que sugiere que el sistema volcánico se encuentra activo (Bai et al., 2020).

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 36-47 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

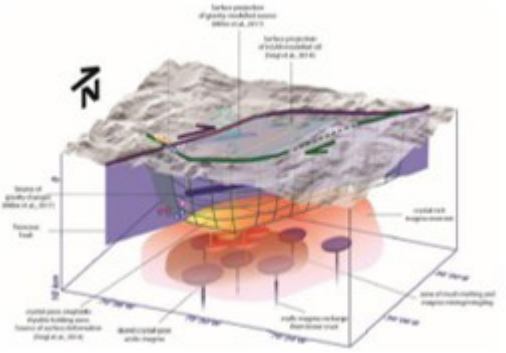


Figura 3

Sistema de fallas Troncoso y Laguna Fea. Nota. Extraído de Cardona et al. (2018).

5.2 Modelamiento 3D CVLM

El modelamiento tridimensional del área de estudio permitió obtener representaciones digitales y físicas del relieve. El modelo digital (Figura 4, a), generado mediante TouchTerrain, mostró con mayor facilidad características geológicas del sector mencionado como elevaciones, valles, domos y cuerpos de agua.

La impresión en 3D del modelo físico (Figura 4, b) corrobora las características visualizadas en el modelo digital previamente realizado, además, proporcionó una herramienta tangible para la interpretación del lugar y mejora la comunicación de hallazgos a la comunidad.

De esta manera, el resultado no solo demuestra la utilidad del modelamiento digital, sino también el valor del modelo físico como apoyo en la validación y difusión científica.

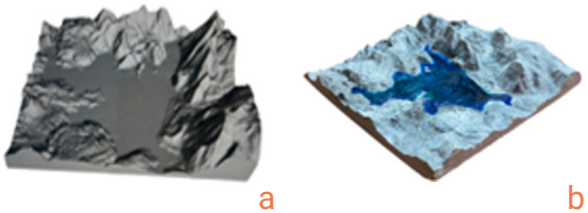


Figura 4

a) Imagen del modelo 3D en digital diseñado por el equipo mediante TouchTerrain. b) Modelo tridimensional físico finalizado.

6. Discusión y conclusión

El CVLM está en constante actividad sísmica, específicamente volcanotectónica (Cardona et al., 2015), lo que mantenía a la comuna en alerta amarilla. En 2024 la alerta descendió a verde debido a que se consideró aquel comportamiento natural del CVLM, aunque igualmente presenta constante actividad sísmica tipo VT (SERNAGEOMIN, s.f.). Sin embargo, el presente año volvió a ascender a alerta amarilla por constantes enjambres sísmicos VT y una tasa de deformación elevada en comparación con años anteriores (SERNAGEOMIN, 2025). Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, s. f.), el registro de cambios en el comportamiento del complejo y el tipo de sismos ocurridos se pueden relacionar con una posible erupción volcánica.

La hipótesis planteada se confirma, ya que el CVLM presenta actividad tectónica debido al desplazamiento de ambas fallas mencionadas anteriormente (Falla Troncoso y Laguna Fea), no obstante, no es el principal factor de los enjambres sísmicos, puesto que los movimientos VT provocados por la fracturación de roca son elevados, y son causados por la actividad y movimiento de fluidos magmáticos debido a una intrusión magmática al complejo (Cardona et al., 2018; Singer et al., 2014).

Durante el transcurso del año 2024 la tendencia de generar sismos volcánicos tectónicos se concentra en el SE de la laguna. Además, fueron sismos considerados de baja magnitud, pues la mayoría, no supera los 3 grados de magnitud en escala de Richter.

Sin embargo, durante el año 2025 se registró un aumento significativo en los eventos sísmicos alrededor de toda la laguna, sobre todo en el sector suroeste, en donde se encuentra la intersección de las dos fallas principales, que casualmente es el mismo sector que se encuentra protegido por emisión de gases de dióxido de carbono a un radio de 2 km. En comparación con el año anterior, se ve un aumento en la magnitud de algunos de los eventos sísmicos, llegando a magnitudes sobre los 3 grados, y en ocasiones 4 grados de magnitud.

CC BY

El Complejo Volcánico Laguna del Maule está presentando una actividad anormal ante estos hechos, por lo cual se encuentra en alerta amarilla para la Región del Maule.

7. Proyecciones e importancia

Los riesgos geológicos que poseemos en nuestro país son numerosos, por lo que, hay diversos planes de emergencia y evacuación en distintos casos para proteger a la nación de posibles daños. Cabe mencionar que no se posee ningún mapa o plan de evacuación ante una posible erupción o riesgos geológicos del Complejo Volcánico Laguna del Maule, aun siendo considerada una formación geológica de alto riesgo para la población. Diversos autores se refieren a posibles catástrofes para pueblos aledaños, como lo son lahares e inundaciones de caudales de ríos (Arratia, 2024), expulsión de material piroclástico e incluso ceniza volcánica. Por lo tanto, es de gran importancia tener un plan para actuar frente a una emergencia en donde se vea perjudicada la vida de nuestra población.

Brotes Científicos Revista de Investigaciones Escolares
Vol. 8, n.°1: 36-47 • ISSN: 0719-8558
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica • Universidad de Santiago de Chile

8. Bibliografía

Repositorio Institucional Universidad de Concepción. https://repositorio.udec.cl/items/ecb7c785-7a12-42da-a1a1-b6987fc23e89

Bai, T., Thurber, C., Lanza, F., Singer, B., Bennington, N., Keranen, K., & Cardona, C. (2020). *Teleseismic tomography of the Laguna del Maule volcanic field in Chile*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125*(8), e2020JB019449. https://doi.org/10.1029/2020JB019449

Cardona, C., Tassara, A., Lara, L. E., Thurber, C., Gil, F., & Morales, S. (2015). Actividad sísmica del Complejo Volcánico Laguna del Maule (Chile). En *Actas del XIV Congreso Geológico Chileno* (Vol. 3, pp. 222-225). XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile. https://repositorio.sernageomin.cl/handle/0104/22703

Cardona Idárraga, C. E. (2018). *Modelo de fuente de sismicidad volcánica y su relación con deformación cortical de gran escala en un sistema riolítico: Complejo Volcánico Laguna del Maule* [Tesis doctoral, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3183

Cardona, C., Tassara, A., Gil-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. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.01.009

Centro Sismológico Nacional. (s. f.). *Glosario: Enjambre sísmico*. https://www.sismologia.cl/informacion/glosario.html

Fernández, C., Alfaro, P., Gutiérrez-Alonso, G., & Alonso-Chaves, F. M. (2019). ¿Qué mueve las placas tectónicas? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 27*(3), 238-245. https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/372905

Figueroa, O. (1988). Características geomorfológicas del área de la Laguna del Maule. VII Región. *Revista de Geografía Norte Grande, 15*, 7-10. https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/39747

Fournier, T. S., Pritchard, M. E., & Riddick, S. N. (2010). Duration, magnitude, and frequency of subaerial volcano deformation events: New results from Latin America using InSAR and a global synthesis. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11*(1). https://doi.org/10.1029/2009GC002558

Garibaldi, N., Tikoff, B., Peterson, D., Davis, J. R., & Keranen, K. (2020). Statistical separation of tectonic and inflationary components of deformation in silicic volcanic fields of Laguna del Maule, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 389*, 106744. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106744

González Ferrán, O. L., & Vergara Martínez, M. (1962). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35 y 38 sur. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 19*(19), 19-121. https://analesfcfm.uchile.cl/index.php/AFCFM/article/view/37172

Hildreth, W., Godoy, E., Fierstein, J., & Singer, B. (2010). *Laguna del Maule volcanic field: Eruptive history of a Quaternary basalt-to-rhyolite distributed volcanic field on the Andean range crest in central Chile* (Boletín N.° 63). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Honores Bravo, C. C. (2013). *Estudio de la deformación de la caldera Laguna del Maule* [Tesis de magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114575

Ibáñez, J. M., & Carmona, E. (2000). *Sismicidad volcánica*. Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica, Serie Casa de los Volcanes.

Le Mével, H., Córdova, L., Cardona, C., & Feigl, K. L. (2021). Unrest at the Laguna del Maule volcanic field 2005-2020: Renewed acceleration of deformation. *Bulletin of Volcanology, 83*(6), 39. https://doi.org/10.1007/s00445-021-01457-0

Miller, C., Le Mével, H., Williams-Jones, G., Tikoff, B., & Currenti, G. (2017a). Microgravity changes at the Laguna del Maule volcanic field: Magma-induced stress changes facilitate mass addition. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122*(4), 3179-3196. https://doi.org/10.1002/2017JB014048

Miller, C., Williams-Jones, G., Fournier, D., & Witter, J. (2017b). 3D gravity inversion and thermodynamic modelling reveal properties of shallow silicic magma reservoir beneath Laguna del Maule, Chile. *Earth and Planetary Science Letters, 459*, 14-27. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.11.007

Muñoz B., J., & Niemeyer R., H. (1984). *Hoja Laguna del Maule: Regiones del Maule y del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Peterson, D., Garibaldi, N., Keranen, K., Tikoff, B., Miller, C., Lara, L., Tassara, A., Thurber, C., & Lanza, F. (2020). Active normal faulting, diking, and doming above the rapidly inflating Laguna del Maule volcanic field, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125*(8). https://doi.org/10.1029/2019JB019329

Amigo, Á., Fierstein, J., & Sruoga, P. (2012). *Avances en el estudio tefrocronológico post-glacial del Complejo Volcánico Laguna del Maule*. En *Actas del XIII Congreso Geológico Chileno*. Antofagasta, Chile.

Anguita, F. (1995). La evolución de la tectónica de placas: El nuevo interior de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 3*(3), 137-148.

Arratia Orellana, B. A. (2024). *Reconocimiento geológico y modelación numérica de inundación holocena asociada al rompimiento de barrera natural en el Complejo Volcánico Laguna del Maule, Región del Maule, Chile* [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción. https://repositorio.udec.cl/items/ecb7c785-7a12-42da-a1a1-b6987fc23e89

Bai, T., Thurber, C., Lanza, F., Singer, B., Bennington, N., Keranen, K., & Cardona, C. (2020). *Teleseismic tomography of the Laguna del Maule volcanic field in Chile*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125*(8), e2020JB019449. https://doi.org/10.1029/2020JB019449

CC BY

Cardona, C., Tassara, A., Lara, L. E., Thurber, C., Gil, F., & Morales, S. (2015). Actividad sísmica del Complejo Volcánico Laguna del Maule (Chile). En *Actas del XIV Congreso Geológico Chileno* (Vol. 3, pp. 222-225). XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile. https://repositorio.sernageomin.cl/handle/0104/22703

Cardona Idárraga, C. E. (2018). *Modelo de fuente de sismicidad volcánica y su relación con deformación cortical de gran escala en un sistema riolítico: Complejo Volcánico Laguna del Maule* [Tesis doctoral, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3183

Cardona, C., Tassara, A., Gil-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. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.01.009

Centro Sismológico Nacional. (s. f.). *Glosario: Enjambre sísmico*. https://www.sismologia.cl/informacion/glosario.html

Fernández, C., Alfaro, P., Gutiérrez-Alonso, G., & Alonso-Chaves, F. M. (2019). ¿Qué mueve las placas tectónicas? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 27*(3), 238-245. https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/372905

Figueroa, O. (1988). Características geomorfológicas del área de la Laguna del Maule. VII Región. *Revista de Geografía Norte Grande, 15*, 7-10. https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/39747

Fournier, T. S., Pritchard, M. E., & Riddick, S. N. (2010). Duration, magnitude, and frequency of subaerial volcano deformation events: New results from Latin America using InSAR and a global synthesis. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11*(1). https://doi.org/10.1029/2009GC002558

Garibaldi, N., Tikoff, B., Peterson, D., Davis, J. R., & Keranen, K. (2020). Statistical separation of tectonic and inflationary components of deformation in silicic volcanic fields of Laguna del Maule, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 389*, 106744. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106744

González Ferrán, O. L., & Vergara Martínez, M. (1962). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35 y 38 sur. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 19*(19), 19-121. https://analesfcfm.uchile.cl/index.php/AFCFM/article/view/37172

Hildreth, W., Godoy, E., Fierstein, J., & Singer, B. (2010). *Laguna del Maule volcanic field: Eruptive history of a Quaternary basalt-to-rhyolite distributed volcanic field on the Andean range crest in central Chile* (Boletín N.° 63). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Honores Bravo, C. C. (2013). *Estudio de la deformación de la caldera Laguna del Maule* [Tesis de magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114575

Ibáñez, J. M., & Carmona, E. (2000). *Sismicidad volcánica*. Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica, Serie Casa de los Volcanes.

Le Mével, H., Córdova, L., Cardona, C., & Feigl, K. L. (2021). Unrest at the Laguna del Maule volcanic field 2005-2020: Renewed acceleration of deformation. *Bulletin of Volcanology, 83*(6), 39. https://doi.org/10.1007/s00445-021-01457-0

Miller, C., Le Mével, H., Williams-Jones, G., Tikoff, B., & Currenti, G. (2017a). Microgravity changes at the Laguna del Maule volcanic field: Magma-induced stress changes facilitate mass addition. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122*(4), 3179-3196. https://doi.org/10.1002/2017JB014048

Miller, C., Williams-Jones, G., Fournier, D., & Witter, J. (2017b). 3D gravity inversion and thermodynamic modelling reveal properties of shallow silicic magma reservoir beneath Laguna del Maule, Chile. *Earth and Planetary Science Letters, 459*, 14-27. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.11.007

Muñoz B., J., & Niemeyer R., H. (1984). *Hoja Laguna del Maule: Regiones del Maule y del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Peterson, D., Garibaldi, N., Keranen, K., Tikoff, B., Miller, C., Lara, L., Tassara, A., Thurber, C., & Lanza, F. (2020). Active normal faulting, diking, and doming above the rapidly inflating Laguna del Maule volcanic field, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125*(8). https://doi.org/10.1029/2019JB019329

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2019). *Catastro de volcanes activos de Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2021). *Fallas geológicas*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (s. f.). *Complejo Volcánico Laguna del Maule*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2025, 29 de noviembre). *Reporte especial de actividad volcánica (REAV): Complejo Volcánico Laguna del Maule*. Red Nacional de Vigilancia Volcánica, Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur

Singer, B. S., Andersen, N. L., Le Mével, H., Feigl, K. L., DeMets, C., Tikoff, B., Thurber, C. H., Jicha, B. R., Cardona, C., Córdova, L., Gil, F., Unsworth, M. J., Williams-Jones, G., Miller, C., Fierstein, J., Hildreth, W., & Vazquez, J. A. (2014). Dynamics of a large, restless, rhyolitic magma system at Laguna del Maule, southern Andes, Chile. *GSA Today, 24*(12), 4-10. https://doi.org/10.1130/GSATG216A.1

Sruoga, P., Elissondo, M., Fierstein, J., García, S., González, R., & Rosas, M. (2015). Actividad explosiva postglacial del centro Barrancas, Complejo Volcánico Laguna del Maule. En *Actas del XIV Congreso Geológico Chileno* (pp. 49-52)

United States Geological Survey. (s. f.). *Monitoring volcano seismicity provides insight to volcanic structure*. https://www.usgs.gov/programs/VHP/monitoring-volcano-seismicity-provides-insight-volcanic-structure

Wespestad, C., Thurber, C., Cardona, C., Zeng, X., Bennington, N., Keranen, K., Peterson, D., Unsworth, M., Miller, C., & Williams-Jones, G. (2019). Magma reservoir below Laguna del Maule volcanic field, Chile, imaged with surface-wave tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124*(3), 2858-2872. https://doi.org/10.1029/2018JB016485