



## Proyecto GC-GEOTERMIA\_01

# VOLUMEN VI. Información complementaria: Estudios de Tomografía de Ruido Sísmico para la Exploración Geotérmica de Gran Canaria

---

## ÍNDICE

1. ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA DE RUIZO SÍSMICO PARA LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA DE GRAN CANARIA	4
2. AGRADECIMIENTOS	8
3. REFERENCIAS	8

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Mapa geológico de la isla de Gran Canaria modificado de Bacells et al. (1990). Blanco, triángulos grises y negros indican la posición de las estaciones temporales desplegadas durante las dos fases de la campaña de exploración geotérmica. Los dos triángulos rojos indican la posición de las estaciones sísmicas permanentes operadas por INVOLCAN para el monitoreo de volcanes. El recuadro muestra la Archipiélago de las Islas Canarias, con la isla de Gran Canaria resaltada en rojo.

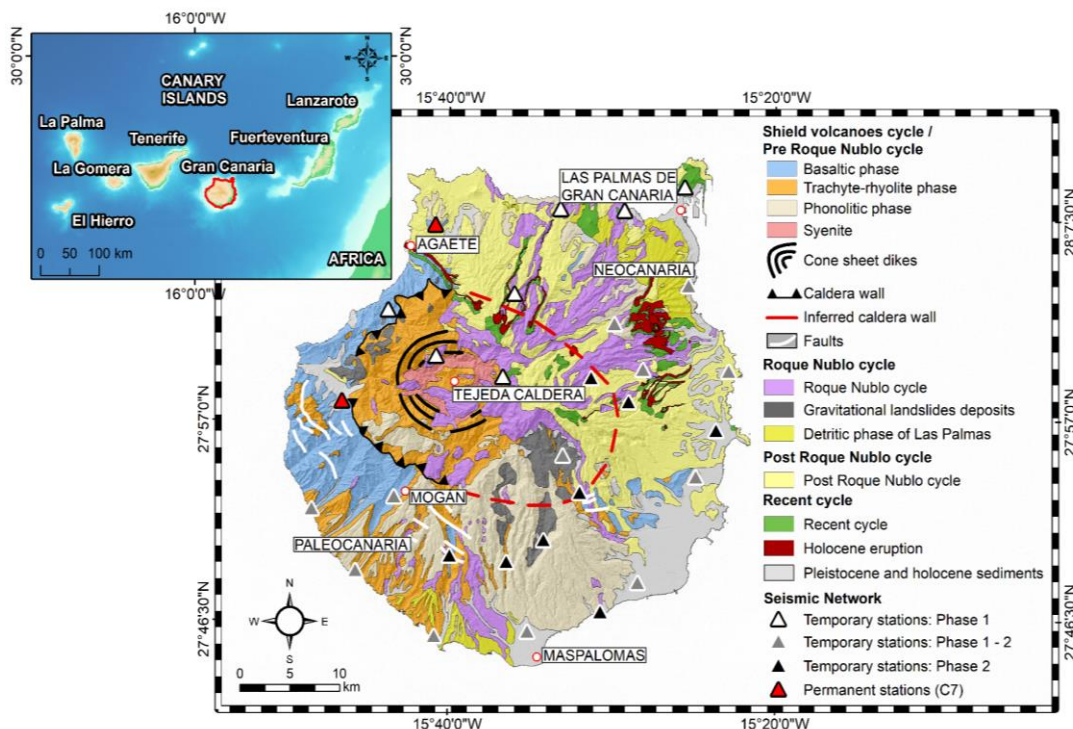
**Figura 2.** Mapas de velocidad relativa de onda S. Las líneas negras representan los diques del cono (interior) y pared de la caldera (exterior). La línea discontinua negra representa la pared de la caldera inferida. Las líneas blancas muestran las tendencias de las anomalías de alta velocidad.

**Figura 3.** Gradientes de velocidad horizontal. (A) Mapa en  $Z = 600$  m BSL de la velocidad de onda S y (C) el modelo de resistividad de Ledo et al. (2021) a la misma profundidad. (B) mapa con el logaritmo del gradiente horizontal total ( $\log T_{HDw}$ ) calculado a partir del modelo de panel A. Los triángulos blancos representan los sitios MT correspondientes a las zonas conductoras Ledo et al. (2021). Las líneas negras representan los diques del cono (interior) y pared de la caldera (exterior), y las líneas blancas representan la localización de fallas.

## **1. ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA DE RUIZO SÍSMICO PARA LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA DE GRAN CANARIA**

La tomografía de ruido sísmico o ambient noise tomography (ANT) es una técnica de exploración geofísica que usa el ruido sísmico ambiental para obtener un modelo tridimensional de velocidad de onda S de alta resolución de los primeros kilómetros de la corteza. Esta técnica está bien consolidada y ha sido ampliamente utilizada en diferentes zonas de estudio a escala continental (p. ej., Yang et al., 2007; Saygin y Kennett, 2010), a escala regional (p. ej., Shapiro et al., 2005; Sabra et al., 2005) y escala local como volcanes (p. ej., Brenguier et al., 2007; Masterlark et al., 2010; Cabrera-Pérez et al., 2022), campos geotérmicos (p. ej., Yang et al., 2011), géiseres (p. ej., Nayak et al., 2018), fallas (p. ej., Mordret et al., 2019), etc. La metodología que constituye esta técnica consta de los siguientes pasos: (i) el preprocesamiento de datos de ruido sísmico, (ii) la correlación cruzada de señales de diferentes parejas de estaciones, (iii) la extracción de las curvas de dispersión, (iv) la obtención de los mapas de velocidad de grupo o fase de ondas superficiales para diferentes periodos y (v) la inversión en profundidad (Shapiro et al., 2005).

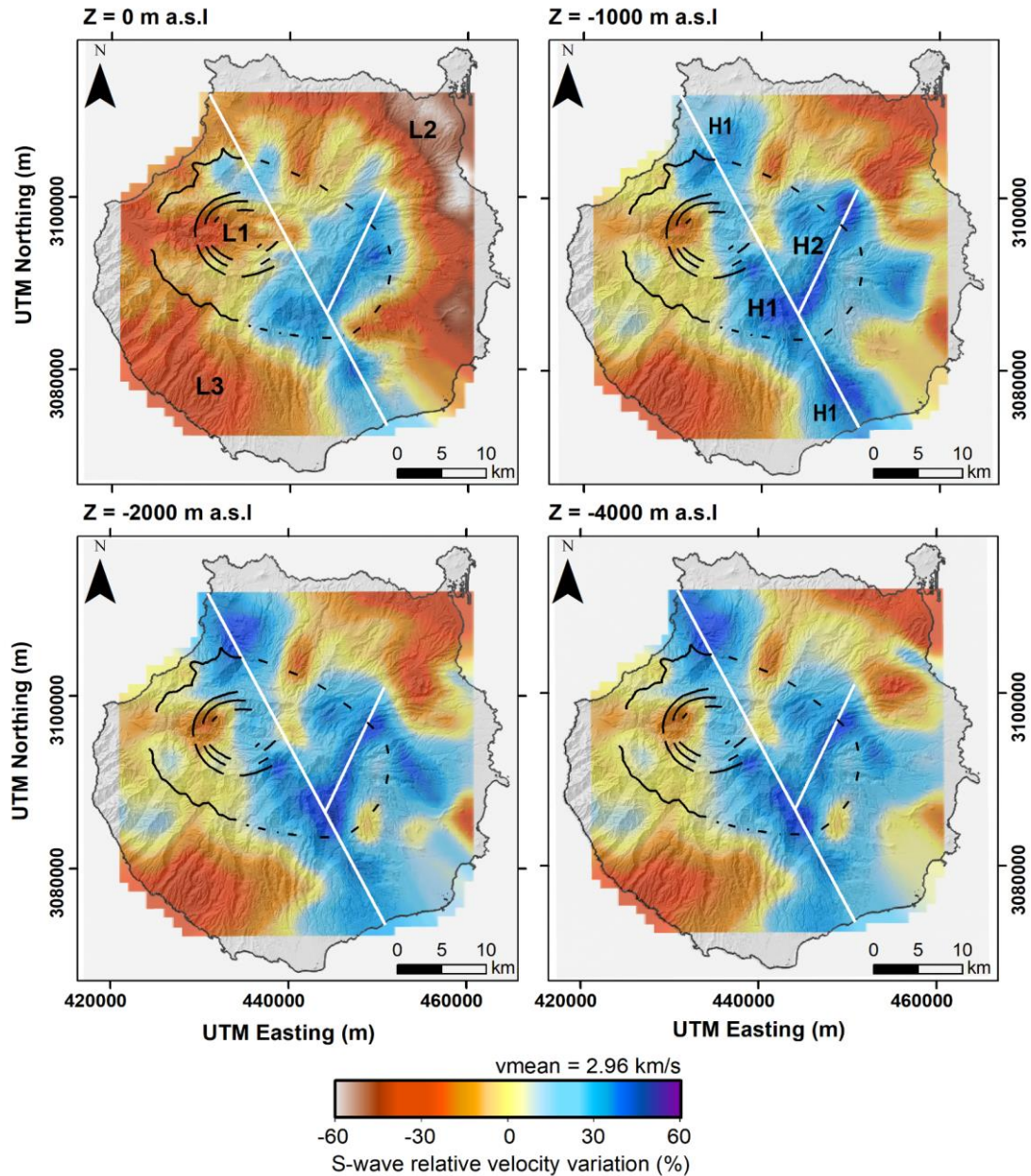
Los datos utilizados en este trabajo provienen de una campaña de exploración geotérmica realizada en Gran Canaria por el Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) en 2019-2020. Durante esta campaña, se instalaron en la isla 28 estaciones sísmicas de banda ancha (Nanometrics © Trillium Compact 120s y Güralp ©, 3ESPC Series) en dos fases (Figura 1). En la primera fase, instalamos 20 estaciones cubriendo toda la isla. Después de dos meses de registros, se trasladaron 8 estaciones durante un mes al Este y sureste de la isla para aumentar la densidad en estas zonas. El motivo de esta densificación es la existencia de anomalías observadas en estudios previos de exploración geotérmica (Ledo et al., 2021; Rodríguez et al., 2021). Además, hemos utilizado dos estaciones permanentes operadas por INVOLCAN para la monitorización volcánica (Figura 1).



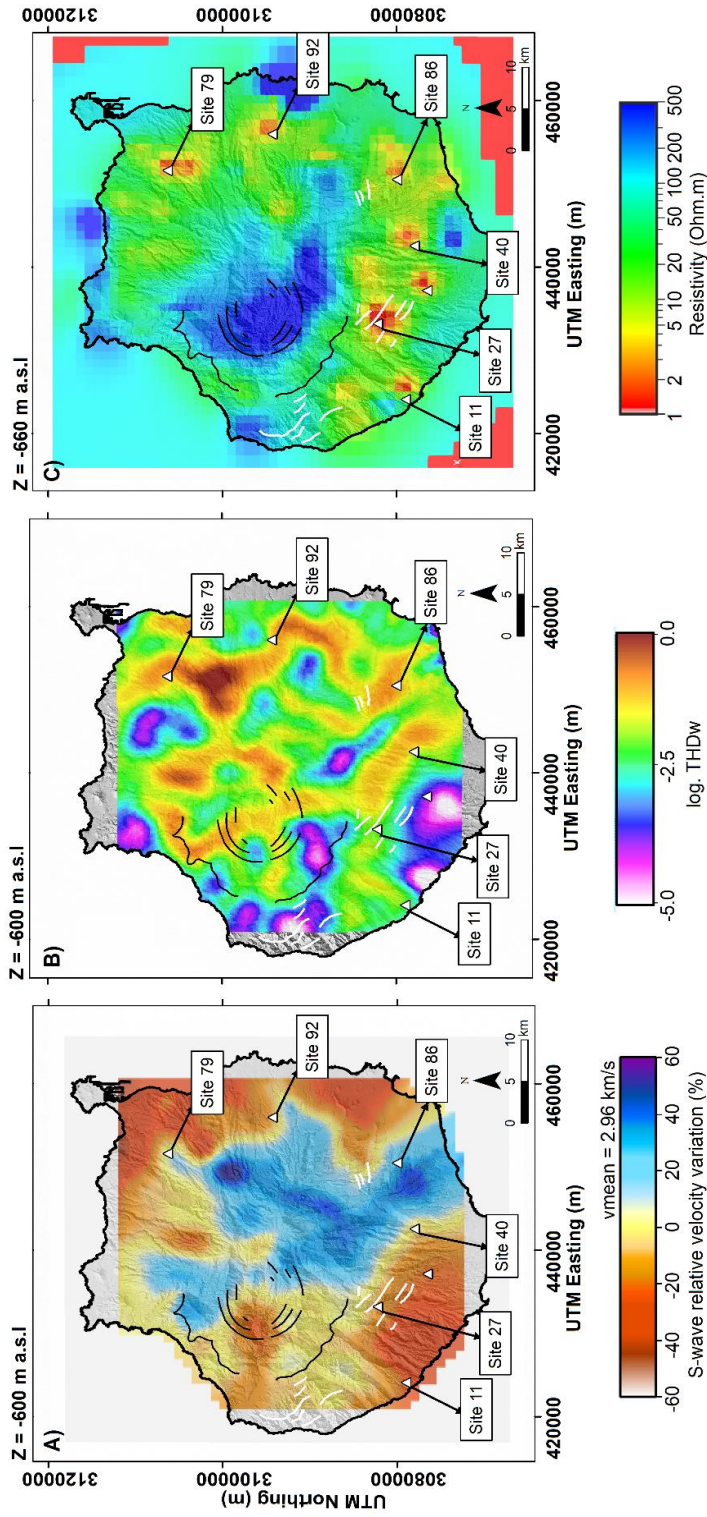
**Figura 1.** Mapa geológico de la isla de Gran Canaria modificado de Bacells et al. (1990). Blanco, triángulos grises y negros indican la posición de las estaciones temporales desplegadas durante las dos fases de la campaña de exploración geotérmica. Los dos triángulos rojos indican la posición de las estaciones sísmicas permanentes operadas por INVOLCAN para el monitoreo de volcanes. El recuadro muestra la Archipiélago de las Islas Canarias, con la isla de Gran Canaria resaltada en rojo.

El modelo de velocidad de onda S obtenido de la ANT ha revelado la presencia de cinco anomalías de velocidad (Figura 2): dos de alta velocidad (H1 y H2) y tres de baja velocidad (L1, L2 y L3). Las anomalías de alta velocidad coinciden con las anomalías observadas en estudios previos de exploración geofísica (Camacho et al., 2000; Krastel and Schmincke, 2002; Blanco-Montenegro et al., 2003). Teniendo en cuenta las observaciones realizadas en estos estudios geofísicos se ha concluido que las anomalías H1 y H2 podrían estar relacionadas con cuerpos intrusivos de alta densidad, relacionados con las primeras fases de formación de la isla. Por otro lado, la anomalía L1 (Figura 2), podría estar relacionada con fracturas generadas durante el colapso de la Caldera de Tejedá. Al igual que en la anomalías de alta velocidad, las anomalías L2 y L3 (Figura 2) también coinciden con zonas de anomalías observadas en estudios previos de exploración geofísica (Camacho et al., 2000; Krastel and Schmincke, 2002; Blanco-Montenegro et al., 2003).. Teniendo en cuenta estos estudio, se ha concluido que las anomalías L2 y L3 están asociadas con materiales porosos y fracturados producidos durante los repetidos episodios eruptivos ocurridos durante la historia geológica de la

isla. Además, considerando las zonas conductoras observadas por Ledo et al. (2021), creemos que estos materiales también podrían verse afectados por fluidos hidrotermales.



**Figura 2.** Mapas de velocidad relativa de onda S. Las líneas negras representan los diques del cono (interior) y pared de la caldera (exterior). La línea discontinua negra representa la pared de la caldera inferida. Las líneas blancas muestran las tendencias de las anomalías de alta velocidad.



**Figura 3.** Gradientes de velocidad horizontal. (A) Mapa en  $Z = 600$  m BSL de la velocidad de onda S y (C) el modelo de resistividad de Ledo et al. (2021) a la misma profundidad. (B) mapa con el logaritmo del gradiente horizontal total ( $\log_{10}$  THDw) calculado a partir del modelo de panel A. Los triángulos blancos representan los sitios MT correspondientes a las zonas conductoras Ledo et al. (2021). Las líneas negras representan los diques del cono (interior) y pared de la caldera (exterior), y las líneas blancas representan la localización de fallas.

Desde el punto de vista de la exploración geotérmica, las anomalías observadas por Ledo et al. (2021) son las más relevantes. El modelo de resistividad obtenido por Ledo et al. (2021) muestra la presencia de zonas conductoras (<10 ohm m) en la parte Este y Sur de la isla (Figura 3.C). Ledo et al. (2021) asocian estas anomalías con la presencia de alteración hidrotermal y la consecuente formación de capas de arcilla de esmectita, producidas por células convectivas aisladas. La parte superior de todas estas anomalías se encuentra alrededor de los 660 m BSL, y sus dimensiones y geometría dependen principalmente de la permeabilidad de la roca, el calor y la tasa de inyección de fluidos (Ledo et al., 2021).

Hemos comparado estas anomalías de alta conductividad con el modelo de velocidad de onda S obtenido de ANT y el gradiente horizontal total de velocidad (THDw) obtenido a 600 m BSL. La comparación se ha realizado a esta profundidad dado que esta es la profundidad a la que se encuentran las anomalías conductoras. Podemos observar en la Figura 3.B que todas las zonas conductoras coinciden con un fuerte gradiente de velocidad de onda S (Fig. 3.B). Estos gradientes de velocidad podrían estar asociados con la presencia de contactos laterales entre diferentes unidades geológicas y/o fallas, que podrían actuar como vías de circulación de fluidos hidrotermales locales (Lehujeur et al., 2018; Granados-Chavarría et al., 2022). Además, observamos que el sitio 27 (Fig. 3.A) coincide espacialmente con fallas conocidas, lo que podría favorecer la circulación hidrotermal local (Schmincke & Sumita, 2010).

## **2. AGRADECIMIENTOS**

Los resultados presentados en este anexo se han conseguido gracias al proyecto “Impulso a la Energía Geotérmica de Alta Entalpía en Canarias” (código 187G0132), financiado por el Gobierno de Canarias y al proyecto “Diseño y desarrollo experimental de métodos geofísicos y geoquímicos para la exploración de recursos geotérmicos de alta entalpía.” (TERMOVOLCAN, RTC-2017-6627-3) cofinanciado por el Plan Estatal de Investigación Científico - Técnica y de Innovación 2013-2016.

## **3. REFERENCIAS**

Blanco-Montenegro, I., Torta, J. M., García, A., & Araña, V. (2003). Analysis and modelling of the aeromagnetic anomalies of Gran Canaria (Canary Islands). *Earth and Planetary Science Letters*, 206(3-4), 601-616.



- Brenguier, F., Shapiro, N. M., Campillo, M., Nercessian, A., & Ferrazzini, V. (2007). 3-D surface wave tomography of the Piton de la Fournaise volcano using seismic noise correlations. *Geophysical research letters*, 34(2).
- Cabrera-Pérez, I., Centeno, R., Soubestre, J., D'Auria, L., Rivera, M., & Machacca, R. (2022). Ambient noise tomography of Misti volcano, Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 426, 107538.
- Camacho, A. G., Montesinos, F. G., & Vieira, R. (2000). Gravity inversion by means of growing bodies. *Geophysics*, 65(1), 95-101.
- Granados-Chavarría, I., Calò, M., Figueroa-Soto, Á., & Jousset, P. (2022). Seismic imaging of the magmatic plumbing system and geothermal reservoir of the Los Humeros caldera (Mexico) using anisotropic shear wave models. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 421, 107441.
- Krastel, S., & Schmincke, H. U. (2002). Crustal structure of northern Gran Canaria, Canary Islands, deduced from active seismic tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115(1-2), 153-177.
- Ledo, J., García-Merino, M., Larnier, H., Slezak, K., Piña-Varas, P., Marcuello, A., ... & Sumita, M. (2021). 3D electrical resistivity of Gran Canaria island using magnetotelluric data. *Geothermics*, 89, 101945.
- Lehujeur, M., Vergne, J., Schmittbuhl, J., Zigone, D., Le Chenadec, A., & EstOF Team. (2018). Reservoir imaging using ambient noise correlation from a dense seismic network. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(8), 6671-6686.
- Masterlark, T., Haney, M., Dickinson, H., Fournier, T., & Searcy, C. (2010). Rheologic and structural controls on the deformation of Okmok volcano, Alaska: FEMs, InSAR, and ambient noise tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B2).
- Mordret, A., Roux, P., Boué, P., & Ben-Zion, Y. (2019). Shallow three-dimensional structure of the San Jacinto fault zone revealed from ambient noise imaging with a dense seismic array. *Geophysical Journal International*, 216(2), 896-905.
- Nayak, A., Taira, T. A., Dreger, D. S., & Gritto, R. (2018). Empirical Green's tensor retrieved from ambient noise cross-correlations at The Geysers geothermal field, Northern California. *Geophysical Journal International*, 213(1), 340-369.
- Rodríguez, F., Pérez, N. M., Melián, G. V., Padrón, E., Hernández, P. A., Asensio-Ramos, M., ... & D'Auria, L. (2021). Exploration of deep-seated geothermal reservoirs in the Canary Islands by means of soil CO<sub>2</sub> degassing surveys. *Renewable Energy*, 164, 1017-1028.

- Sabra, K. G., Gerstoft, P., Roux, P., Kuperman, W. A., & Fehler, M. C. (2005). Surface wave tomography from microseisms in Southern California. *Geophysical Research Letters*, 32(14).
- Saygin, E., & Kennett, B. L. (2010). Ambient seismic noise tomography of Australian continent. *Tectonophysics*, 481(1-4), 116-125.
- Shapiro, N. M., Campillo, M., Stehly, L., & Ritzwoller, M. H. (2005). High-resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise. *Science*, 307(5715), 1615-1618.
- Yang, Y., Ritzwoller, M. H., Levshin, A. L., & Shapiro, N. M. (2007). Ambient noise Rayleigh wave tomography across Europe. *Geophysical Journal International*, 168(1), 259-274.
- Yang, Y., Ritzwoller, M. H., & Jones, C. H. (2011). Crustal structure determined from ambient noise tomography near the magmatic centers of the Coso region, southeastern California. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(2).