Proceedings of the
Latin-American Geothermal Congress 2025
LGC 2025
San Salvador, El Salvador
22–26 Sept. 2025

Evaluación Geofísica Integrada del Potencial Geotérmico en el Sur de Honduras: Caso de Estudio en el Departamento de Choluteca

Pineda-Mejía E., Izaguirre-Sánchez N. *, García-Williams M.
Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Honduras
(Correos: epinedam@enee.hn, nizaguirres@enee.hn, mgarciaw@enee.hn)
*Autor que presenta.

Palabras clave: AMT, gravimetría, inversión conjunta, modelo 3D, resistividad, TEM.

Resumen

Para explicar las estructuras del subsuelo, las trayectorias de fluidos, la variación de temperatura y las estimaciones geotérmicas de recursos, se utilizan sofisticados instrumentos y herramientas de modelado geofísico. Se realizó un estudio centrado en el uso de técnicas geofísicas integradas para evaluar el potencial geotérmico en el departamento de Choluteca en sur de Honduras. Para comprender mejor las formaciones geológicas y sus propiedades geotérmicas se desarrolló un modelo completo del subsuelo mediante una combinación de técnicas gravimétricas, magnetotelúricas/audio-magnetotelúricas (MT/AMT) y electromagnéticas transitorias (TEM).

Introducción

En regiones sin manifestaciones volcánicas la exploración geotérmica requiere de distintos enfoques de exploración directa e indirecta [1] y con una configuración específica de técnicas de geofísica enfocadas en las características inferidas del lugar a explorar. En el sur de Honduras, especialmente el departamento de Choluteca, se presenta un entorno geológico favorable, debido a su cercanía con fallas regionales y la presencia de manifestaciones hidrotermales. Éste estudio emplea una amalgama de técnicas clásicas utilizadas en geofísica, de las cuales se extrajeron datos que se procesaron en distintos softwares, para luego hacer una inversión conjunta de los mismos, que permite inferir con alta precisión estructuras profundas relacionadas con el sistema geotérmico de Choluteca. Posteriormente, se generaron cortes interpretativos en 2D y modelos en 3D que permiten una caracterización del subsuelo detallada.

Metodología

Se realizó una campaña que incluyó la adquisición de datos gravimétricos en 365 estaciones distribuidas sobre un área de aproximadamente 420 km², los resultados permitieron generar datos de anomalías de Bouguer y residuales para el análisis de estructuras profundas. Para complementar la caracterización eléctrica del subsuelo se realizaron 74 sondeos MT/AMT, divididos entre frecuencias altas y bajas, abarcando profundidades de investigación de hasta 25 km. Los datos electromagnéticos obtenidos pasaron por varios tipos de corrección por efectos de estática y ruido, mediante la ejecución específica de 7 sondeos TEM, la inversión de los datos se realizó de manera secuencial con modelos 1D, 2D y 3D [2],

destacando el modelo tridimensional como el producto central del análisis estructural. Se armó un modelo 3D del cual se extrajeron perfiles verticales en direcciones estratégicas los cuales fueron interpretados como cortes representativos de las estructuras relacionadas al campo geotérmico, además se llevó a cabo una inversión conjunta tomando en cuenta los datos de resistividad y los contrastes de densidad derivados de la gravimetría, utilizando un enfoque de gradientes cruzados [3], permitió integrar ambos dominios físicos en secciones coherentes, reduciendo ambigüedades y fortaleciendo la interpretación estructural del subsuelo.

Resultados

El modelo de resistividad 3D muestra un sistema estructural en bloques bien definidos, relacionado a fracturas profundas [4] donde se observa una capa superficial con resistividades bajas, generalmente menores a 20 Ω·m, atribuida a materiales arcillosos alterados o zonas de acumulación de agua meteórica. Bajo esta capa, aparecen dominios resistivos de entre 100 y 1000 Ω·m, a profundidades variables entre 1 y 4 km, que sugieren la presencia de cuerpos rocosos compactos, posiblemente relacionados con estructuras que describen un reservorio con una posible fuente de calor relacionada a un gradiente geotérmico elevado un posible adelgazamiento cortical y fallamiento profundo en un régimen transtensional [5]. Los perfiles orientados en las direcciones norte-sur y este-oeste muestran alineamientos estructurales coincidentes con las principales fallas regionales, la actividad de estas fallas determina el comportamiento y naturaleza del reservorio, delimitando estructuras que encierran zonas conductoras profundas con geometría vertical e inclinada y un subsuelo fracturado con numerosas fallas locales, dichas estructuras se interpretan como rutas preferenciales para el ascenso de fluidos geotermales. La visualización volumétrica del modelo complementa esta información, al mostrar en tres dimensiones la distribución espacial de los contrastes resistivos y su conexión con las estructuras interpretadas.

Discusión

Después de un análisis de los perfiles del modelo tridimensional se realizó una identificación precisa de zonas conductoras asociadas con estructuras tectónicas profundas, la correlación entre las anomalías de baja resistividad y estructuras previamente identificadas mediante gravimetría viene a reforzar la hipótesis de que el sistema geotérmico se desarrolla en un entorno controlado por fallamiento normal o transtensional regional [6]. Al presentar un conjunto de cuerpos resistivos encajonados por zonas conductoras se infiere un posible mecanismo de confinamiento térmico y circulación vertical de fluidos, la integración con datos de densidad mediante inversión conjunta aporta una mayor solidez al modelo interpretativo [7] ya que las coincidencias espaciales entre contrastes de resistividad y densidad respaldan la existencia de discontinuidades geológicas relevantes. este enfoque mejora sustancialmente la capacidad predictiva para identificar zonas prospectivas en un entorno geológico sin expresión volcánica superficial.

Conclusiones

Al integrar los datos geofísicos como gravimetría, TEM y MT/AMT de manera conjunta se logró construir un modelo 3D que resulta tener coherencia y precisión al momento de estudiar la resistividad y densidad, siendo de gran utilidad en la caracterización del subsuelo del área de estudio. Los perfiles que fueron extraídos del modelo tridimensional revelan un conjunto de estructuras profundas con zonas conductoras verticales, cuerpos resistivos encajonados, actividad de fallar y que describen configuraciones típicas de sistemas geotérmicos activos. La inversión conjunta mejoró la resolución estructural al correlacionar contrastes de resistividad y densidad, lo que permitió identificar zonas con alta probabilidad de circulación de fluidos calientes. No se logró identificar estructurar de intrusivos magmáticos recientes en el área de estudio, por lo que se propone como fuente de calor un gradiente geotérmico elevado asociado a adelgazamiento cortical y fallamiento profundo en un entorno tectónico transtensional. El enfoque utilizado es replicable en otras regiones no volcánicas del istmo centroamericano y constituye una herramienta robusta para la planificación de futuras etapas de exploración geotérmica.

Figura 1. Presenta el mapa general del área de estudio, con la ubicación de estaciones geofísicas (gravimetría, AMT, MT y TEM) y los cinco perfiles utilizados en la inversión conjunta, este mapa permite visualizar la cobertura de datos y la organización espacial del modelo geofísico.

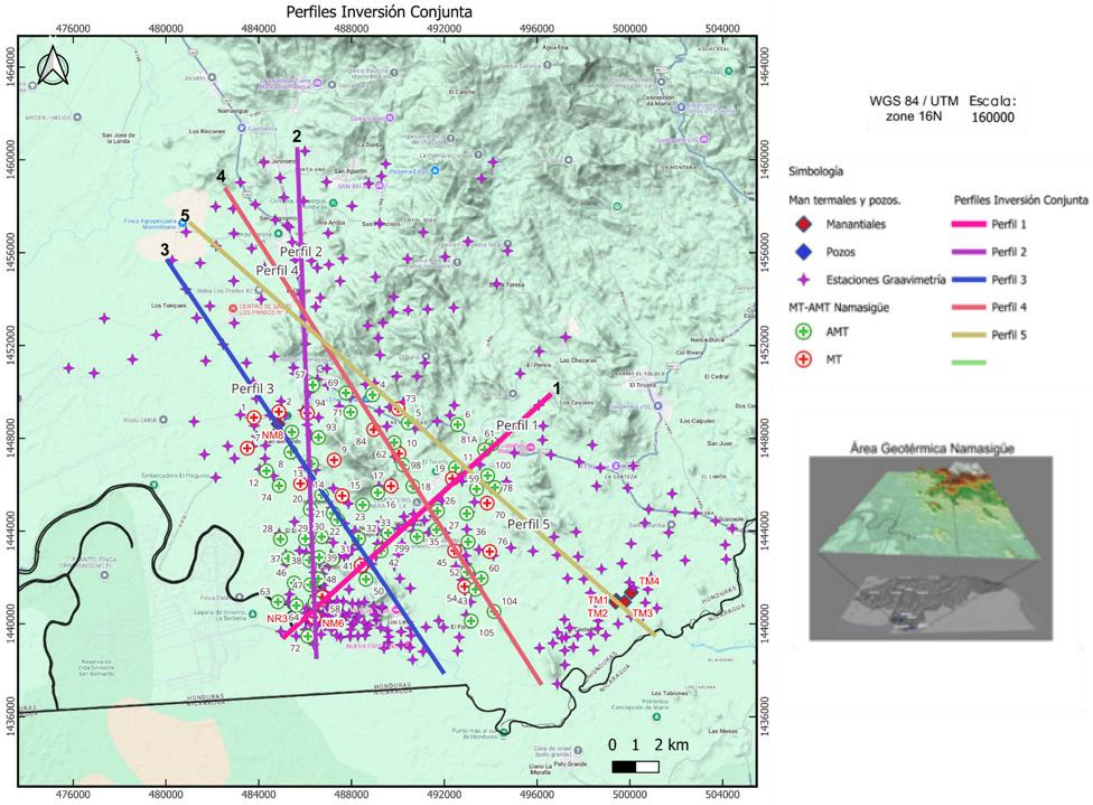
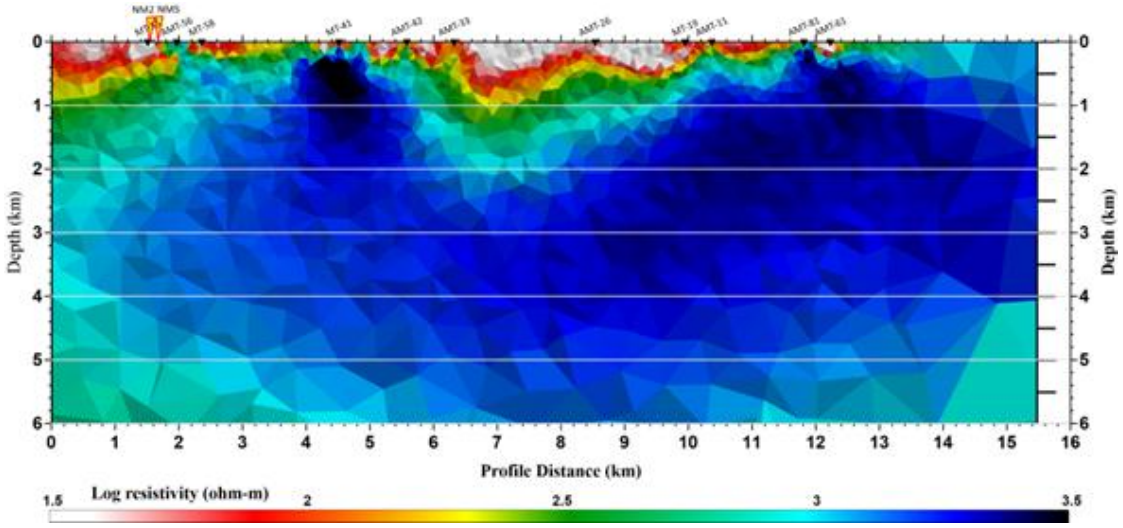


Figura 2. Muestra el corte vertical del modelo 3D de resistividad correspondiente al Perfil 1. Se observan zonas conductoras someras y profundas asociadas a alteración hidrotermal y estructuras de permeabilidad, así como cuerpos resistivos interpretados como unidades potencialmente reservorio.



Referencias

[1] Henríquez, C. (2015). "Geothermal development in Honduras." *World Geothermal Congress*. Disponible: https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/01058.pdf
[2] Rodi, W., & Mackie, R. L. (2001). "Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion." Geophysics, vol. 66, no. 1, pp. 174–187.
[3] Gallardo, L. A., & Meju, M. A. (2003). "Characterization of heterogeneous near-surface materials by joint 2D inversion of DC resistivity and seismic data." Geophysical Research Letters, vol. 30, no. 13, p. 1658.
[4] Simpson, F., & Bahr, K. (2005). Practical Magnetotellurics. Cambridge: Cambridge University Press.
[5] Rogers, R. D., Karason, H., & van der Hilst, R. D. (2002). "Epeirogenic uplift above a detached slab in northern Central America." Geology, vol. 30, no. 11, pp. 1031–1034.
[6] Finch, R. C., & Ritchie, A. W. (1991). "The Guayape fault system, Honduras, Central America." Journal of South American Earth Sciences, vol. 4, no. 1–2, pp. 43–60.
[7] Moorkamp, M., Heincke, B., Jegen, M., Roberts, A. W., & Hobbs, R. W. (2011). "A framework for 3-D joint inversion of MT, gravity and seismic refraction data." Geophysical Journal International, vol. 184, no. 1, pp. 477–493.