

Aplicación de métodos hidrogeoquímicos y geotermométricos al estudio del potencial geotérmico del sur de Tenerife.

Implementation of hydrogeochemical and geothermometric methods to the study of the geothermal potential of southern Tenerife

África Gamisel Muzás¹, Antonio José Olaiz Campos², Álvaro Arnáiz Giménez-Coral² y Axel García Craviotto²

¹ Universidad Complutense de Madrid, C. de José Antonio Novais, 12, 28040 (Madrid) afrigami@ucm.es

² Repsol Exploración S.A, C. de Méndez Álvaro, 44, 28045 (Madrid) antoniojose.ol aiz@repsol.com arnaizg@repsol.com axel.garcia@repsol.com

ABSTRACT

This study shows the southern Tenerife context and its high geothermal potential. Firstly, a groundwater hydrogeochemical analysis is carried out, based on the Piper diagram, the Giggenbach triangle diagram to the Log (K²/Ca) vs. Log (K²/Mg) diagram. Thus, the bicarbonate-sodium rich character of the waters is defined as well as a different advance in the maturity path of the waters. To conclude, the silica geothermometer is applied, to be precise, the chalcedony polymorph one. Then, reliable temperatures at which the aquifer could be estimated.

Key-words: Tenerife, hydrogeochemistry, geothermometer, chalcedony.

Geogaceta, 73 (2023), 23-26

<https://doi.org/10.55407/geogaceta95147>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

El vulcanismo todavía activo que presenta la isla de Tenerife la postula como un terreno muy favorable para el aprovechamiento de recursos geotérmicos pese a la incertidumbre existente sobre la caracterización de su estructura interna.

Si bien es cierto que los estudios geoquímicos han demostrado ser de gran utilidad en las etapas de exploración de las zonas con alto potencial geotérmico, a día de hoy no existen estudios publicados con respecto a la isla. Dichos estudios podrían esclarecer aspectos como la temperatura de los fluidos en profundidad o su naturaleza.

El objetivo del estudio es caracterizar la firma hidrogeoquímica de las aguas subterráneas muestreadas al sur de Tenerife, así como realizar una estimación de las temperaturas a las que el acuífero podría encontrarse en profundidad

Área de estudio

La isla de Tenerife se encuentra en el

centro del archipiélago canario. La zona de estudio se localiza al sur de la isla.

El origen del archipiélago tiene tan solo 70 Ma y existe controversia a cerca de su origen. Las hipótesis de formación se basan bien en una anomalía térmica fósil ligada a la generación de la Cordillera de los Atlas (Anguita y Hernán, 2000) o bien en un punto caliente ligado a una convección mantélica (Carracedo y Troll, 2016).

La isla de Tenerife se encuentra en un estadio de generación de estratovolcanes centrales con el mayor punto de crecimiento del Teide (Geyer y Martí, 2010). Además, presenta una alta sismicidad activa, así como fumarólica.

Según los estadios de formación se pueden diferenciar distintas series geológicas (Fig.1) (Marrero Díaz, 2010):

1. Estadio de formación de escudos basálticos.

a. *Serie basáltica antigua (12Ma)*: conforma los macizos basálticos de Teno, Anaga y Roque del Conde. Corresponden a erupciones efusivas fisurales de basal-

RESUMEN

El presente trabajo trata de poner en contexto el área sur de la isla de Tenerife, un terreno con alto potencial geotérmico. Se realiza un análisis hidrogeoquímico de las aguas subterráneas del entorno, utilizando para ellos métodos de análisis geoquímico como los diagramas de Piper, Giggenbach, y Log (K²/Ca) vs. Log (K²/Mg). Se define un carácter bicarbonatado-sódico para las aguas y se observa un avance diferencial en la trayectoria de madurez de estas. Por último, se aplica el geotermómetro de la sílice, en concreto el del polimorfo de la calcedonia, para estimar las temperaturas a las que podría encontrarse el acuífero en profundidad. Finalmente, se indican aquellos factores que podrían inducir a error y se recomiendan aquellos estudios que podrían solventarlo.

Palabras clave: Tenerife, hidrogeoquímica, geotermómetro, calcedonia.

Fecha de recepción: 22/06/2022

Fecha de revisión: 28/10/2022

Fecha de aceptación: 02/12/2022

tos alcalinos, ankaramitas y basanitas.

b. *Rifts – dorsales (3,9 – 1,5 Ma)*: se expulsan materiales basálticos y traquibasaltos mediante erupciones fisurales estrombolianas.

2. Estadio de vulcanismo central

a. *Edificio Cañadas (3,3 – 0,196 Ma)*: primera representación del vulcanismo central. Magmas basálticos que evolucionan a fonolíticos y generan erupciones de gran explosividad.

b. *Complejo Teide – Pico Viejo (0,2 Ma – actualidad)*: última expresión del vulcanismo central compuesta por una superposición de estratovolcanes. Su última erupción se calcula entre el año 660 – 940 d.C. Son magmas inicialmente basaníticos - basálticos y finalmente traquibasálticos y predominantemente fonolíticos (Carracedo et al., 2007).

3. Erupciones históricas. Se reconocen al menos cuatro. Los materiales expulsados son predominantemente basálticos y las erupciones de tipo estromboliano.

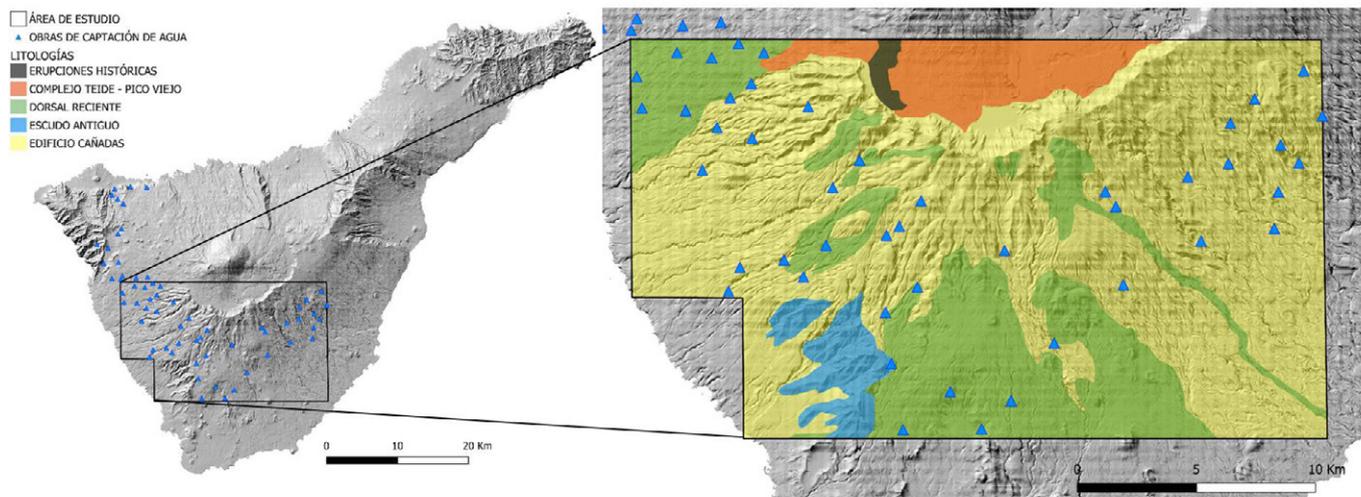


Fig.1. Mapa de localización del área de estudio, mapa geológico simplificado y localización de los puntos de muestreo. Ver figura a color en la web.

Fig.1. Study area location, simplified cartography, and measurement points location. See figure in color in the web.

Respecto a las características hidrogeológicas del área de estudio, cabe destacar los bajos valores de tasa de infiltración (0-250 mm) así como de coeficiente de escorrentía en comparación con el resto de la isla. Por otro lado, la escasez de descargas de agua naturales, en ningún caso termales, constriñe este trabajo a los datos de las obras de captación, en su mayoría galerías.

Metodología

Los datos utilizados en este estudio corresponden a los análisis periódicos realizados por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) en las distintas obras de captación de agua. Se solicitan los análisis correspondientes a los últimos tres años registrados de los puntos de muestreo correspondientes a los sectores hidrogeológicos 203, 204, 303, 411, 421, 422, 431 y 432 (Fig.2), con un total de 186 análisis.

Los análisis fueron sometidos a un control de calidad, habiéndose estimado el balance iónico y el error. El número total de datos utilizados es 137 análisis.

Firma hidrogeoquímica de las aguas

Los resultados de los análisis se representaron gráficamente, utilizando para ello diagramas hidrogeoquímicos específicos a partir de Moreno et al (2008) y adaptaciones para hojas de cálculo de Excel que permiten la interpretación de análisis químicos de aguas. Los diagramas utilizados han sido los de Piper y Giggensbach, así como los de Log (K²/Ca vs. Log K²/Mg) (Fig. 3).

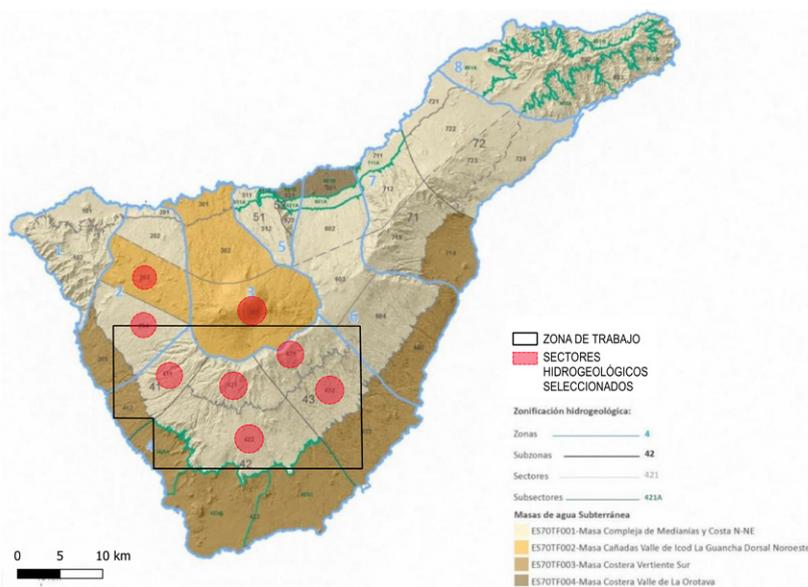


Fig2. Mapa de masas de agua y zonas hidrogeológicas. Modificado de CIATF (2018) Anejo 4 de SEGUNDO CICLO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA. Ver figura a color en la web.

Fig. 2. Water bodies and hydrogeological zones map. Modified from CIATF (2018) Anejo 4 de SEGUNDO CICLO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA. See figure in color in the web.

Geotermómetro de la sílice

Se basa en la solubilidad de la sílice, y es apropiado para reservorios con temperaturas entre los 50 y 300°C y con pH entre 5 y 7.

Se parte de la asunción de que el polimorfo que generalmente controla la solubilidad es el cuarzo y de que el sistema es conductivo (sin pérdida de vapor) (Ecuación I) (Karingithi, 2009).

Sin embargo, las temperaturas que muestra esta ecuación apuntan a la calcedonia como el polimorfo que controla la solubilidad (entre 120 y 180°C). De este

modo, se debe utilizar la ecuación del geotermómetro de la calcedonia para obtener los resultados más fiables (Ecuación II).

$$T^{\circ}\text{C} = (1309 / 5,19 - \log(\text{SiO}_2 \text{ ppm})) - 273,15$$

Ecuación I. Geotermómetro de la sílice sin pérdida de vapor (Fournier, 1977).

Equation I. No steam loss silica geothermometer (Fournier, 1977).

$$T^{\circ}\text{C} = (1112/4,91 - \log(\text{SiO}_2 \text{ ppm})) - 273,15$$

Ecuación II. Geotermómetro de la calcedonia (Arnorsson et al., 1983).

Equation II. Chalcedony geothermometer (Arnorsson et al., 1983)

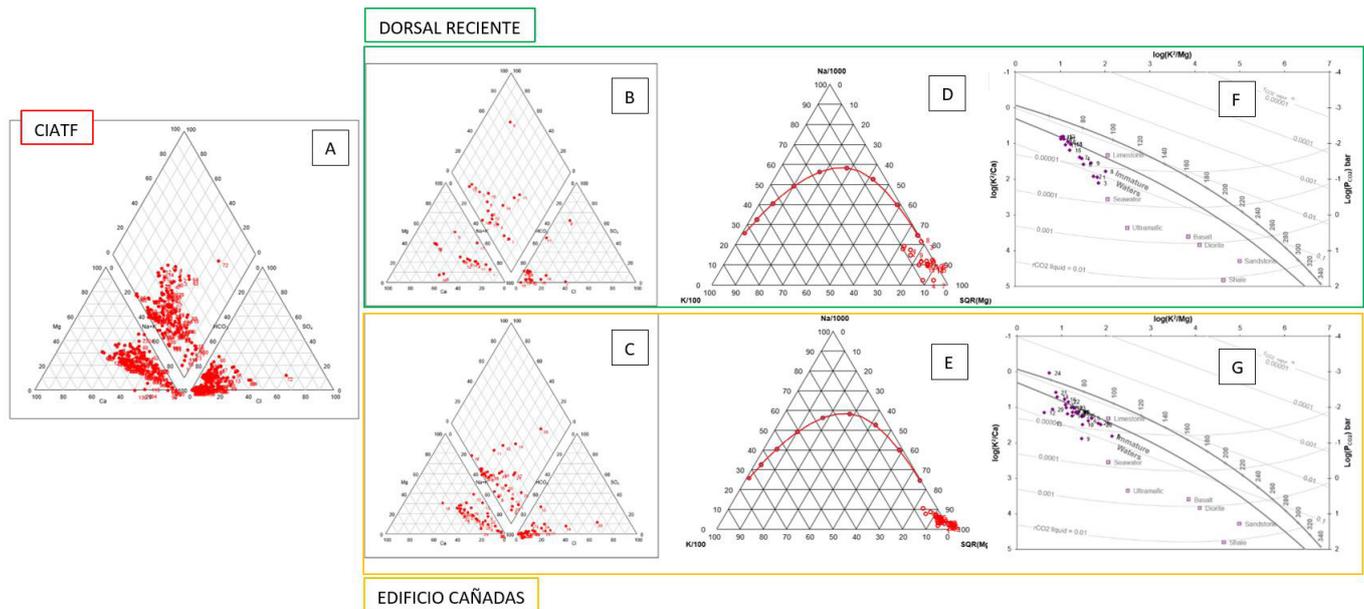


Fig.3. (A) Diagrama de Piper para todos los puntos de muestreo analizados del CIATF. (B) Diagrama de Piper para los puntos de muestreo de la Dorsal Reciente. (C) Diagrama de Piper para los puntos de muestreo del Edificio Cañadas. (D) Triángulo de Giggenbach para los puntos de muestreo de la Dorsal Reciente. (E) Triángulo de Giggenbach para los puntos de muestreo del Edificio Cañadas. (F) Diagrama Log (K^2 /Ca) vs. Log (K^2 /Mg) para los puntos de muestreo de la Dorsal Reciente. (G) Diagrama Log (K^2 /Ca) vs. Log (K^2 /Mg) para los puntos de muestreo del Edificio Cañadas. Ver figura a color en la web.

Fig.3. (A) CIATF measurement points Piper diagram. (B) Recent Rift measurement points Piper diagram. (C) Cañadas Building measurement points Piper Diagram. (D) Recent Rift measurement points Giggenbach triangle diagram. (E) Cañadas Building measurement points Giggenbach triangle diagram. (F) Recent Rift measurement points Log (K^2 /Ca) vs. Log (K^2 /Mg) diagram. (G) Cañadas Building measurement points Log (K^2 /Ca) vs. Log (K^2 /Mg) diagram. See figure in color in the web.

Resultados

Firma hidrogeoquímica de las aguas

Las aguas presentan un carácter bicarbonatado-sódico, lo que coincide con estudios previos. Algo más marcado en aquellos puntos correspondientes a terrenos del Edificio Cañadas respecto a los referentes a los terrenos de la Dorsal Reciente (Fig.3. A, B, C).

El diagrama Mg-Na-K de Giggenbach (1988) muestra la temperatura a la que estas aguas alcanzan un equilibrio parcial. Se observa que para la mayoría de los casos este equilibrio se alcanzaría entre los 60 y los 170°C (Fig.3. D, E).

Los puntos de muestreo localizados tanto en los terrenos de la Dorsal Reciente como en Edificio Cañadas han sido representados en el diagrama Log (K^2 /Ca) vs. Log (K^2 /Mg). Se constata la llegada al equilibrio de las aguas a temperaturas cercanas a los 100°C, siendo más maduras aquellas correspondientes al Edificio Cañadas (Fig.3. F, G).

Geotermómetro de la sílice

Considerando que el pH varía entre 5 y 7, los valores obtenidos por el geotermómetro sin pérdida de vapor apuntan a

la Calcedonia como polimorfo que controla la solubilidad. Los valores se sitúan entre los 35 y los 140°C siendo superiores a los 90°C para la mayor parte de las muestras del terreno (Fig.4.A).

Discusión y conclusiones

Si bien es cierto que los resultados obtenidos en relación con la firma hidrogeoquímica de las aguas estudiadas confirman lo que previamente se apunta desde otros trabajos, es decir, un carácter bicarbonatado-sódico para las aguas subterráneas del entorno, en este trabajo que se describe una trayectoria de madurez más avanzada de las aguas del Edificio Cañadas.

Sería conveniente que en futuras investigaciones se realicen análisis estructurales de detalle, así como estudios de tiempo de tránsito de los fluidos con el fin de definir sus vías de migración y determinar cómo éstas afectan a la naturaleza de dichos fluidos.

Los resultados obtenidos por el geotermómetro de la calcedonia apuntan a un predominio de temperaturas por encima de los 90°C, llegando en algunos puntos hasta los 140°C. Esto quiere decir que se trata de un sistema geotérmico de

media a alta entalpía que podría ser susceptible de ser aprovechado para la generación de electricidad, así como para el uso directo de las aguas termales.

Sin embargo, no debemos perder de vista algunos de los factores que debilitan la fiabilidad de estos resultados. En primer lugar, tal como se indica con anterioridad, el geotermómetro de la sílice requiere para su uso valores de pH entre 5 y 7, sin embargo, esto no es así para algunas regiones del área de estudio (Fig.4.B) cuyos resultados serían menos fiables.

La baja densidad de puntos de muestreo (Fig.2) es otro de los inconvenientes que impide definir con total seguridad las zonas que en primera instancia podrían ser consideradas como muy favorables por su potencial geotérmico.

De este modo, queda patente la necesidad de futuros estudios multidisciplinarios para una buena descripción del *play* geotérmico en el sur de Tenerife.

Agradecimientos y financiación

Este estudio ha podido realizarse gracias a la beca de ayuda a los Estudios de Máster proporcionada por Repsol Exploración, S.A. en convenio con la Universidad Complutense de Madrid.

Se agradece la ayuda y apoyo brindados tanto por los tutores, entre ellos Álvaro Márquez González, como por el equipo de Proyectos de Geotermia de Repsol.

También se agradece la colaboración y contribución a este trabajo del Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF).

Referencias

Anguita, F. y Hernán, F. (2000). The Canary Islands origin: a unifying model. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 103(1-4), 1-26.

Arnorrsson, S., Gunnlaugsson, E. y Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(3), 567-577.

Carracedo, J. C. y Troll, V. R. (2016). The geology of the Canary Islands. Libro, ISBN: 978-01-280-9663-5 9780128096642.

Carracedo, J. C., Badiola, E. R., Guillou, H., Paterne, M., Scaillet, S., Torrado, F. P., ... y Hansen, A. (2007). Eruptive and structural history of Teide Volcano and rift zones of Tenerife, Canary Islands. *Geological Society of America Bulletin*, 119(9-10), 1027-1051.

CIATF (2018). Plan Hidrológico de Tenerife. Demarcación Hidrográfica ES124 Tenerife. Ciclo de planificación Hidrológica 2015-2021.

Fournier, R. O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5(1-4), 41-50.

Geyer, A. y Martí, J. (2010). The distribution of basaltic volcanism on Tenerife, Canary Islands: Implications on the origin and dynamics of the rift systems. *Tectonophysics*, 483(3-4), 310-326.

Giggenbach W.F., (1988): Geothermal solute equilibria. *Geochimica. Cosmochim. Acta* 52, 2749 – 2765.

Karingithi, C. W. (2009). Chemical geothermometers for geothermal exploration. Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, 1-22

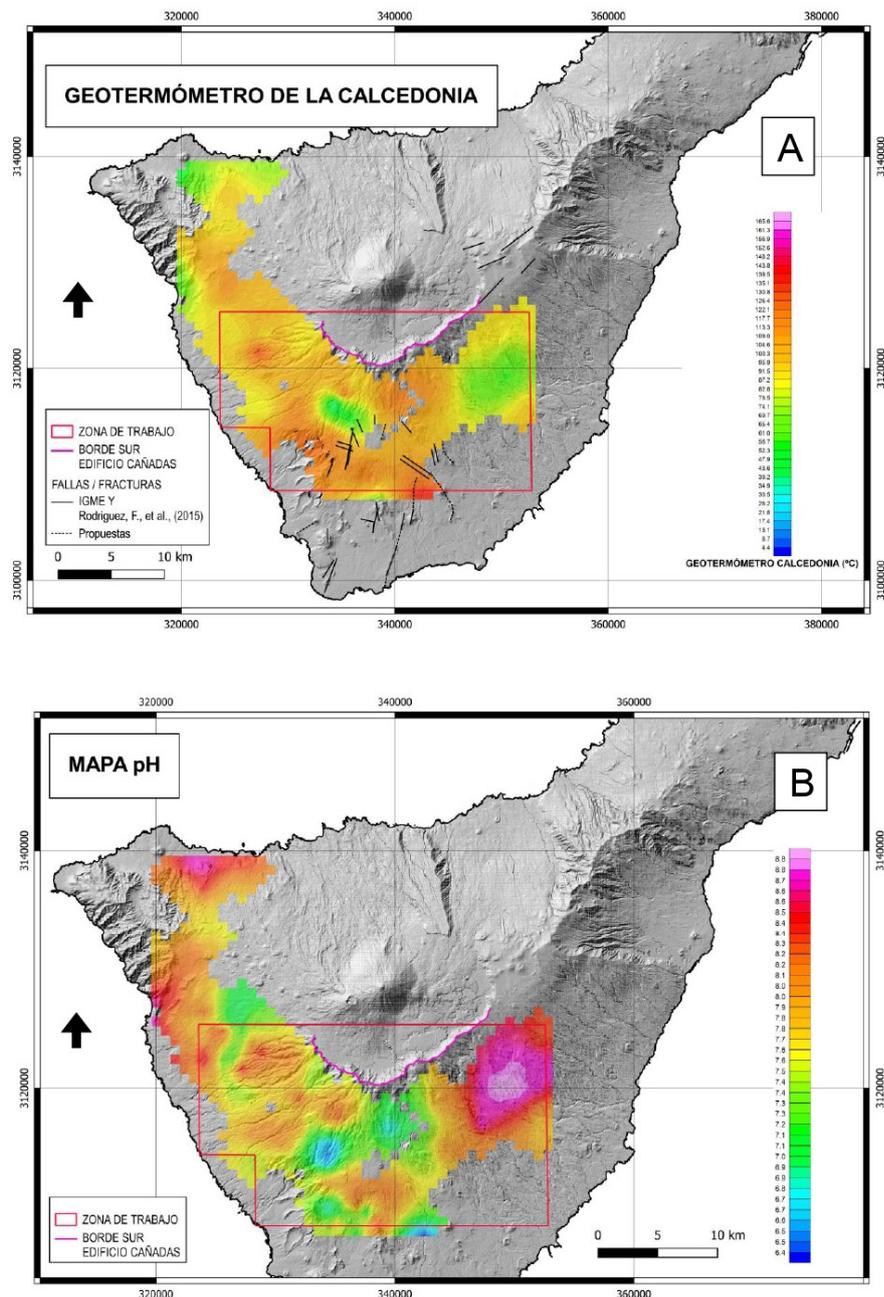


Fig. 4. (A) Mapa de las temperaturas arrojadas por el geotermómetro de la Calcedonia. (B) Mapa de pH en el área de estudio. Ver figura en color en la web.

Fig.4. (A)Chalcedony geothermometer temperatures in the study areas. (B) pH map in the study area. See figure in color in the web.

Marrero Díaz, R. (2010). Modelo hidrogeoquímico del acuífero de las cañadas del Teide, Tenerife, Islas Canarias. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis Doctoral.

Moreno, L. y De la Losa, A. (2008). INAQUAS: Utilidad para la interpretación de análisis químicos de aguas subterráneas. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 1-28.