

## **CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE UN RESERVOIRIO GEOTÉRMICO EN UNA ZONA VOLCÁNICA**

**Yenny Casallas<sup>1</sup>, Délmir Villatoro<sup>2</sup>, Elizabeth Torio Henríquez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Servicio Geológico Colombiano. Grupo de Exploración de Recursos Geotérmicos, [ycasallas@sgc.gov.co](mailto:ycasallas@sgc.gov.co),

<sup>2</sup>Instituto de Fomento Municipal de Guatemala. Programa de Aguas Subterráneas, [delmarvillatoro@gmail.com](mailto:delmarvillatoro@gmail.com).

<sup>3</sup>LaGeo S.A. de C. V. Área de Geología, [ehenriquez@lageo.com.sv](mailto:ehenriquez@lageo.com.sv).

### **RESUMEN**

Dentro del marco del Programa Regional de Entrenamiento (PREG), junto con el soporte técnico y logístico de LaGeo S.A de C.V., se hizo la caracterización térmica de un reservorio geotérmico ubicado dentro de un sistema volcánico activo por medio de la aplicación de técnicas de laboratorio, tales como microscopía óptica para la identificación de minerales de alteración hidrotermal y microtermometría de inclusiones fluidas (IF) para conocer la temperatura y salinidad de los fluidos originarios formadores de roca. Además, junto con la comparación de los rangos de temperatura obtenidos por mineralogía e IF y los registros de temperatura estabilizada de los pozos, se logra conocer la evolución térmica del reservorio, contribuyendo así, en la actualización del modelo conceptual de un campo geotérmico.

Las muestras analizadas corresponden a testigos de roca en zona de reservorio de tres pozos profundos. Se tuvo en cuenta cinco muestras de vetillas de calcita y anhidrita para realizar secciones doblemente pulidas y posteriormente microtermometría, y muestras de secciones delgadas para la identificación de minerales indicadores de temperatura. Con ellos se obtuvo rangos de temperatura de reservorio para los intervalos de las muestras analizadas y se compararon con los perfiles de temperatura estabilizada de los registros de pozo, con el fin de comprender y conocer la evolución y estado térmico del reservorio.

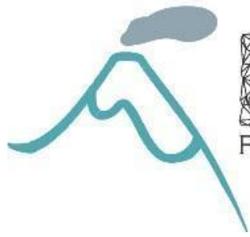
### **METODOLOGÍA**

Se hizo revisión bibliográfica sobre la geología de la zona, de los pozos ubicados en cercanías al área de estudio y revisión de los reportes geológicos y litológicos de pozo. Posteriormente se seleccionaron y prepararon las muestras a analizar. La selección de las muestras para realizar la preparación de secciones doblemente pulidas y posteriormente la microtermometría, se hizo teniendo en cuenta aquellas muestras que representaban eventos secundarios a la formación de la roca y en las que se formaron minerales de alteración de alta temperatura. La petrografía se hizo de muestras de rocas de zona de reservorio de los pozos A, B y C.

Utilizando petrografía de minerales de alteración hidrotermal de los testigos de roca de los tres pozos, se obtuvo los rangos de temperatura mineralógica para el reservorio geotérmico analizado. Con las temperaturas de homogenización (Th) de las IF, se obtuvo la temperatura en la que se encontraba el sistema cuando la inclusión quedó atrapada en el cristal. Y se compararon éstas temperaturas con las registradas en pozo para determinar la evolución de la temperatura con el tiempo.

### **RESULTADOS**

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, utilizando como técnicas de laboratorio

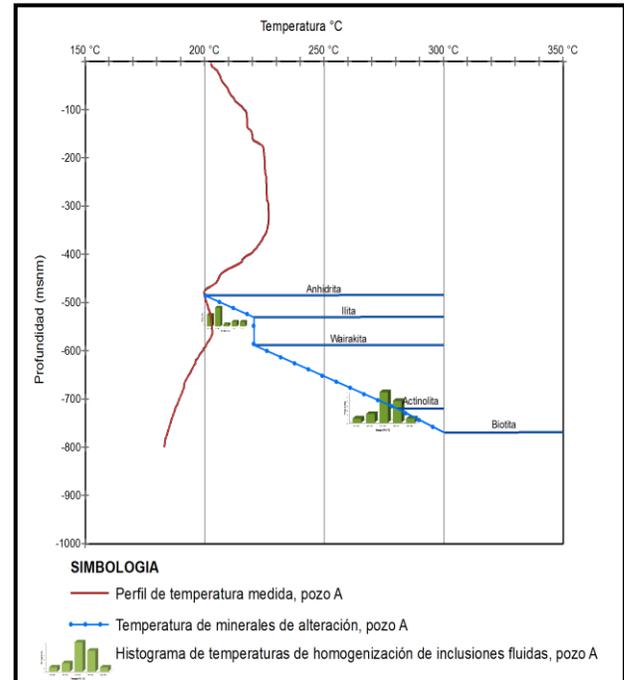


petrografía de minerales de alteración hidrotermal y microtermometría de inclusiones fluidas hospedadas en venas secundarias de calcita y anhidrita, en las muestras analizadas de testigos de roca de la zona de reservorio de un campo geotérmico. Para cada testigo de pozo, se han propuestos rangos de temperatura (Tabla 1) de acuerdo:

- Petrografía de minerales de alteración hidrotermal
- Facies mineralógicas sugeridas teniendo en cuenta la presencia y abundancia de minerales indicadores
- Temperaturas de homogenización (Th) de las inclusiones fluidas.

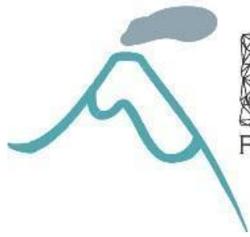
Estos rangos de temperaturas propuestos son comparados con las temperaturas estabilizadas de los registros de pozo. Gracias a esta comparación se encontró:

- a) El testigo 1 del pozo A, ubicado aproximadamente a -500 msnm, se encuentra en equilibrio térmico con los fluidos geotérmicos, ya que los rangos de temperaturas mineralógicas (indicados por anhidrita, ilita, wairakita), la barra de mayor frecuencia del histograma de Th de IF medidas en este testigo y la temperatura estabilizada de pozo, coinciden, tal como se muestra en la Figura 1.
- b) El testigo 2 del pozo A, ubicado aproximadamente a -700 msnm, presenta enfriamiento, ya que la temperatura mineralógica indicada por actinolita y biotita y los rangos encontrados para las IF son mayores que las temperaturas registradas en pozo (Figura 1).



**Figura 1: Perfil de correlación de temperaturas estabilizadas de pozo, con temperaturas mineralógicas y de IF del Pozo A.**

- c) El pozo B se encuentra en equilibrio con el fluido geotérmico ya que las temperaturas indicadas por albita, anhidrita e ilita, coinciden con las mayores frecuencias de las Th de las IF medidas y con los registros de temperatura estabilizada de pozo, así como se muestra en la Figura 2.
- d) El testigo de roca analizado del pozo C, ubicado en el fondo del pozo, aproximadamente a -980 msnm presenta una inversión térmica o enfriamiento, ya que los rangos de temperaturas mineralógicas dados por epidota y actinolita, los cuales coinciden con los rangos de mayores frecuencias de las Th de las IF (>280 °C), son mayores que los registros de temperaturas estabilizadas de pozo (Figura 3).



e) En los sectores donde hay inversión térmica o enfriamiento implica que la temperatura a la cual se formaron estos minerales secundarios y las inclusiones que quedaron atrapados dentro de los cristales, probablemente son fluidos más recientes o debido a una infiltración de agua fría al fondo.

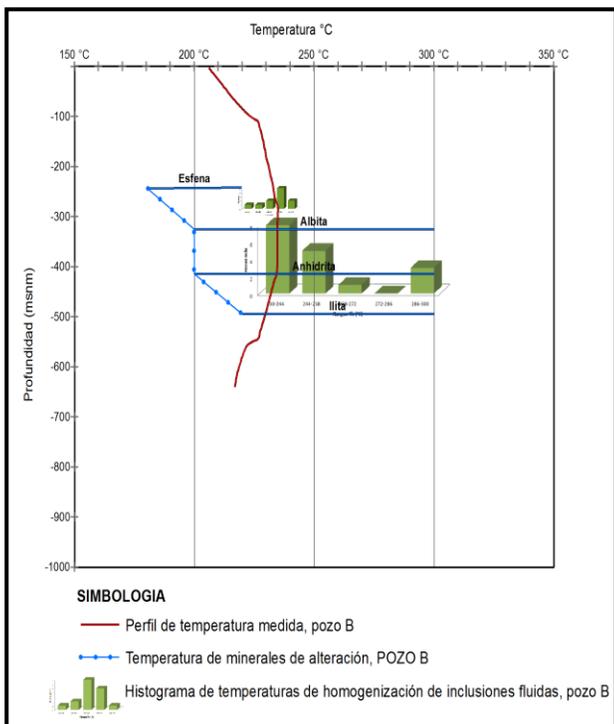


Figura 2: Perfil de correlación de temperaturas estabilizadas de pozo, con temperaturas mineralógicas y de IF del Pozo B.

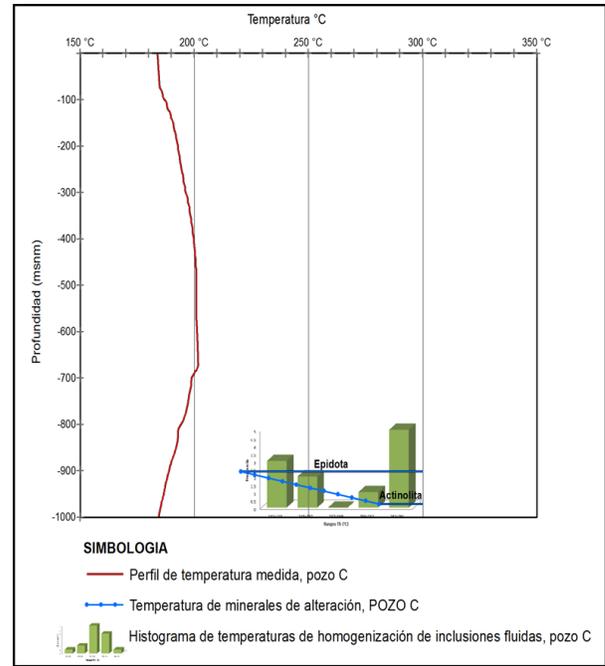


Figura 3: Perfil de correlación de temperaturas estabilizadas de pozo, con temperaturas mineralógicas y de IF del Pozo C.

Para visualizar estos resultados que se obtuvieron por técnicas de laboratorio y comparándolos con los registros de temperatura estabilizada de pozo, se realizaron los perfiles de la Figura 4 y de la Figura 5. En ellos se muestra una correlación de las temperaturas mineralógicas, de homogenización de IF y las registradas en las medidas de pozo. Esta información es compilada en un modelo de temperaturas mostrado en la Figura 6.

A pesar de que hay evidencias de enfriamiento, el reservorio en general es de alta temperatura con intervalos desde 200°C y más de 280°C. Los intervalos son ajustados gracias a las Th, ellos muestran intervalos más precisos para cada rango o testigo analizado en cada pozo.



Pozo / Testigo	Profundidad (TVD)	Profundidad en msnm	Temp. mineralógica (°C)	Minerales indicadores de Temp.	Facies Mineralógicas	Th (°C)	Temp. Registrada en pozo (°C)	Comportamiento del reservorio
A / 1	1474-1479	-530 a -535	200-240	Ilita, anhidrita, wairakita	Filítica-propilitica	201-207	203	En equilibrio con el fluido geotérmico
A / 2	1657-1661	-713 a -717	Mayor a 280	Actinolita, Biotita	Propilitica	272-283	187	Enfriamiento o inversión térmica
B / 1	1229-1231	-283 a -285	200-220	Esfena, Albita	Filítica-propilitica	233-237	234	En equilibrio con el fluido geotérmico
B / 2	1396-1400	-450 a -454	220-240	Ilita, anhidrita	Filítica-propilitica	230-258	231	En equilibrio con el fluido geotérmico
C	1856-1858	-982 a -984	Mayor a 280	Actinolita	propilitica	232-257 > 282	184	Enfriamiento o inversión térmica

**Tabla 1: Correlación entre temperaturas mineralógicas, facies mineralógicas, temperaturas obtenidas con IF (Th) y temperaturas estabilizadas de pozo.**

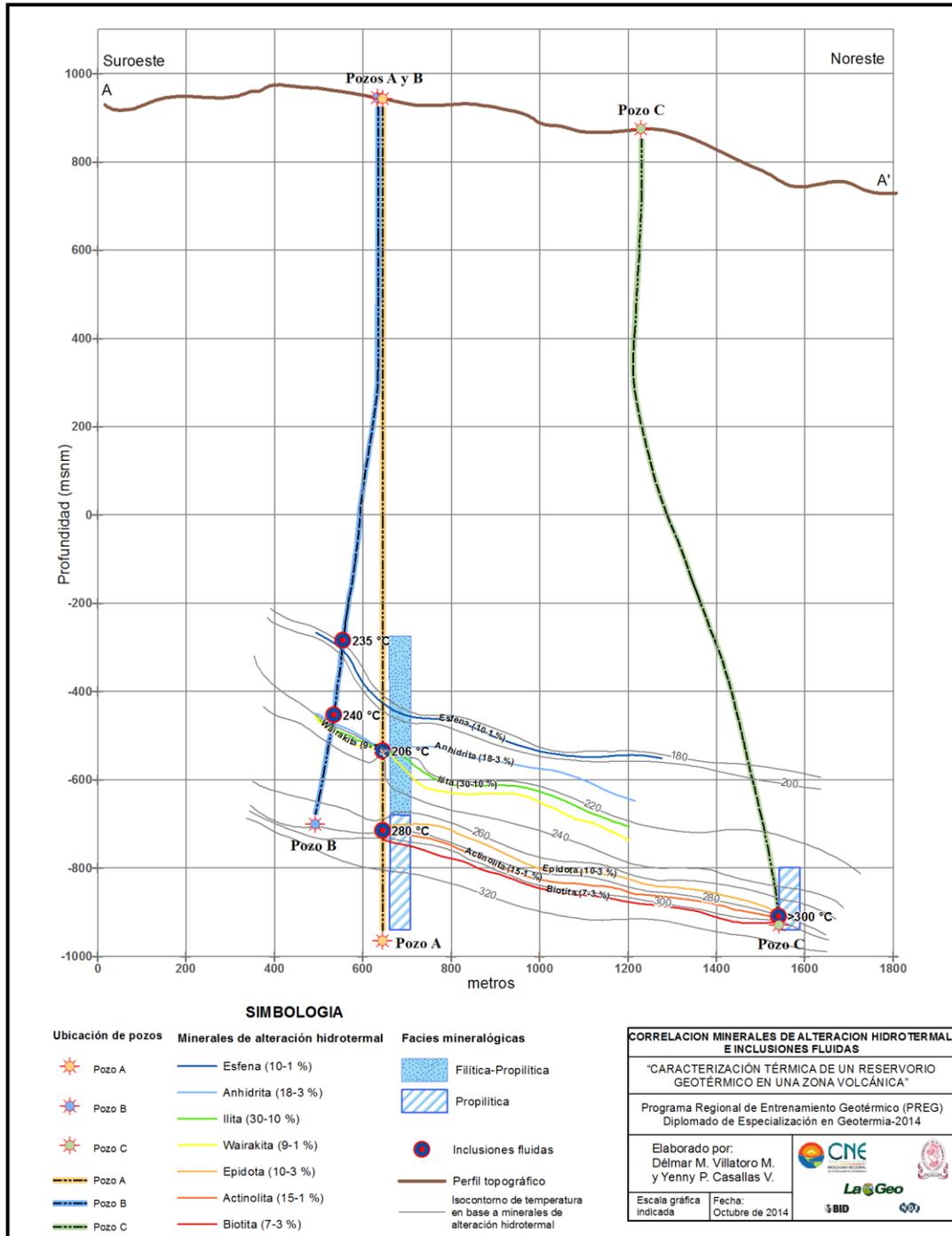


Figura 4: Perfil en el que se correlaciona la temperatura inferida a partir de la mineralogía de alteración hidrotermal y la temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas

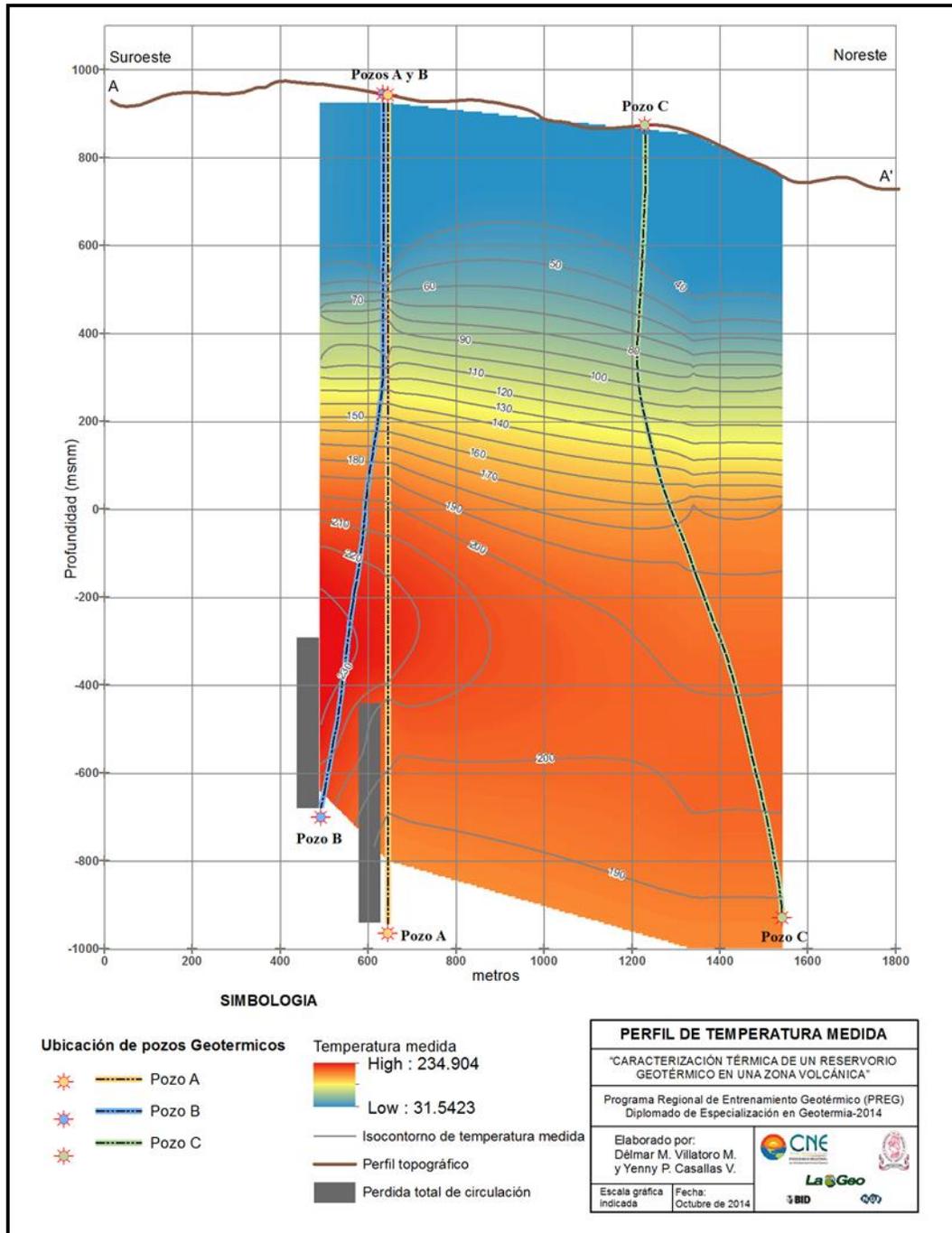


Figura 5: Perfil de temperaturas medidas en los pozos.

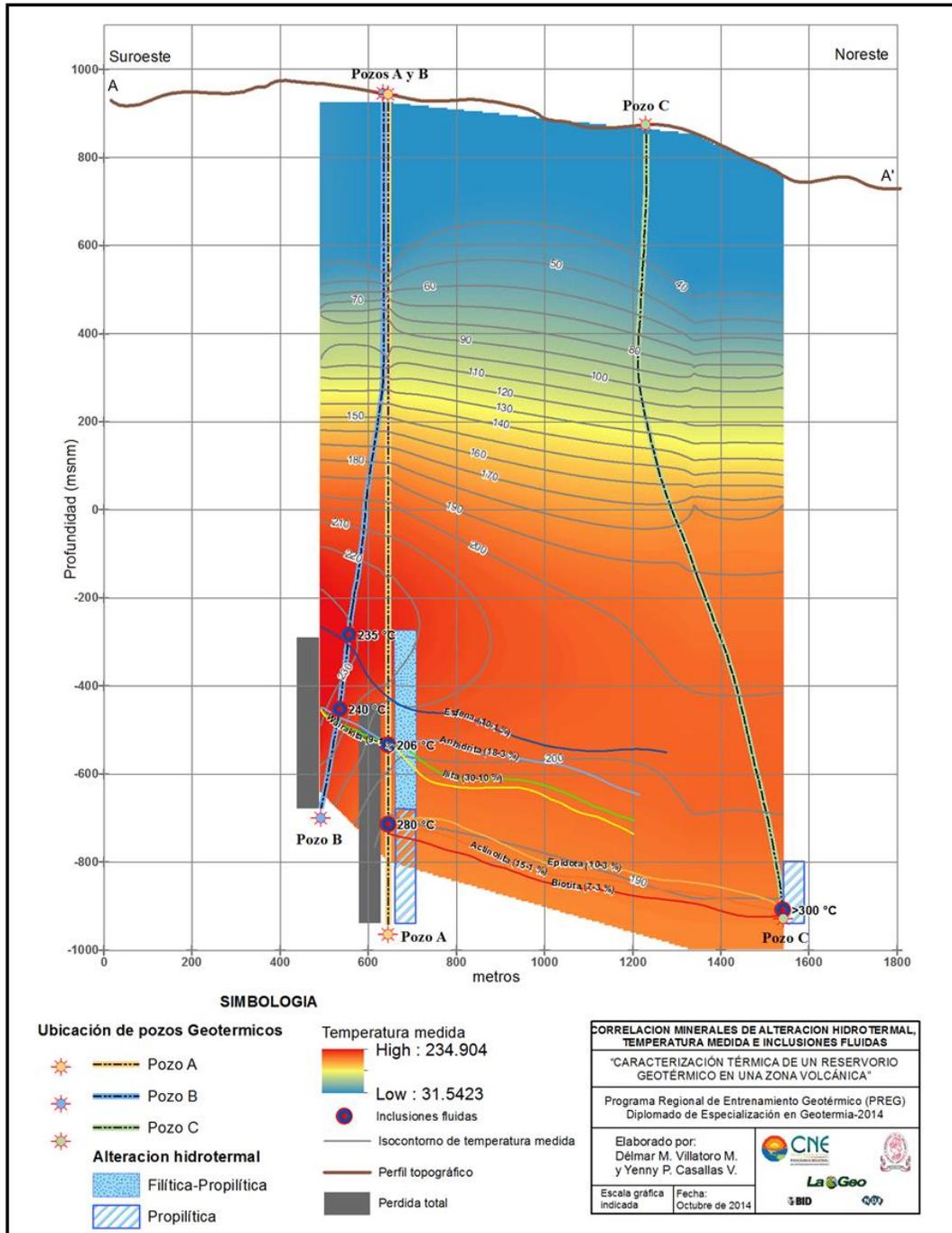
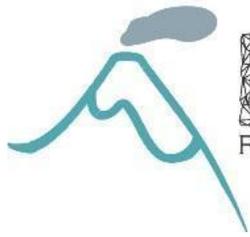


Figura 6: Perfil de correlación entre temperaturas medidas, temperaturas inferidas a partir de mineralogía de alteración y temperatura de homogenización de inclusiones fluidas.



## CONCLUSIONES

El pozo A en el intervalo de -530 a -535 msnm, se encontró con mineralogía de alteración hidrotermal, intervalo de temperatura de 200 a 240°C y con IF un intervalo de 201 a 207°C. Para el intervalo -713 a -717 msnm, la temperatura tanto mineralógica como la encontrada con IF indica un rango de 272°C en adelante.

El pozo B presenta evidencias de calentamiento con el tiempo, el rango de temperaturas mineralógicas para el intervalo de -283 a 285 msnm es de 200 a 220°C y de IF es de 233 a 237 °C. En el caso del intervalo -450 a -454 msnm, los intervalos mineralógicos y de IF son 220 a 240 °C y 230 a 258°C, mostrando también aumento para las medidas en las IF.

El pozo C parece haber sufrido dos eventos térmicos, uno con rango de temperatura desde 220°C (obtenida con mineralogía) hasta 258°C (obtenida con IF), y un evento más caliente con temperatura obtenida por ambas técnicas superior a 280°C.

Comparando las temperaturas obtenidas con mineralogía y con IF en los tres pozos, y comparándolas con los registros de pozos, se observa un enfriamiento del reservorio geotérmico a lo largo del tiempo.

## REFERENCIAS

Bodnar, R. (2003). Interpretation of Data from Aqueous-Electrolyte Fluid Inclusions. In Fluid Inclusions. Analysis and Interpretations. Mineralogical Association of Canada. Short Course, Series Volume 32. Pg. 81-100.

Browne, P. R.L. and Gardner, M. W. (1982): Subsurface alteration at the Ngawha geothermal field: a progress report. Proceedings of the Pacific geothermal conference, Part 1 49-54.

Lagat, J. (2010). Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from Olkaria domes geothermal field, Kenya. Geothermal Development Company, Kenya, Nov. 19, 2010.

Reyes, A. (1998). Petrology and mineral alteration in hydrothermal systems: From Diagenesis to volcanic catastrophes. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, NEW ZEALAND Lectures. Reports 1998, Number 18.

Roedder, E. (1984). Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy. Mineralogical society of America. Volume 12.

Whitney, D. et al. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, Volume 95, pages 185-187.