

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS FUENTES TERMALES EN EL CAMPO GEOTERMAL DE CALIENTES, TACNA

Vicentina Cruz¹, Koji Matsuda²

¹INGEMMET, Av. Canadá N° 1470, San Borja Lima 41, Perú, Apartado 889 (vcruz@ingemmet.gob.pe).

²West Japan Engineering Consultants, INC, Space cube Bldg., 2F, 7-11, 1-Chome, Haruyoshi Chuo-ku, Fukuoka, Japan, 810-0003 (mazda@wjec.co.jp).

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se muestran los resultados obtenidos de los estudios geoquímicos realizados en el campo geotermal de Calientes – Tacna, efectuados por el INGEMMET en cooperación con el West Japan Engineering Consultants, INC. El campo geotermal de Calientes está ubicado al sur del Perú, en la región Tacna, Provincia y distrito de Candarave (Fig. 1, 2), el cual se caracteriza por la presencia de una gran cantidad de fuentes termales. En octubre del 2007 se realizó el estudio mediante la aplicación de métodos geoquímicos para la interpretación de las características químicas e isotópicas de las aguas termales y su aplicación en la geotermia.

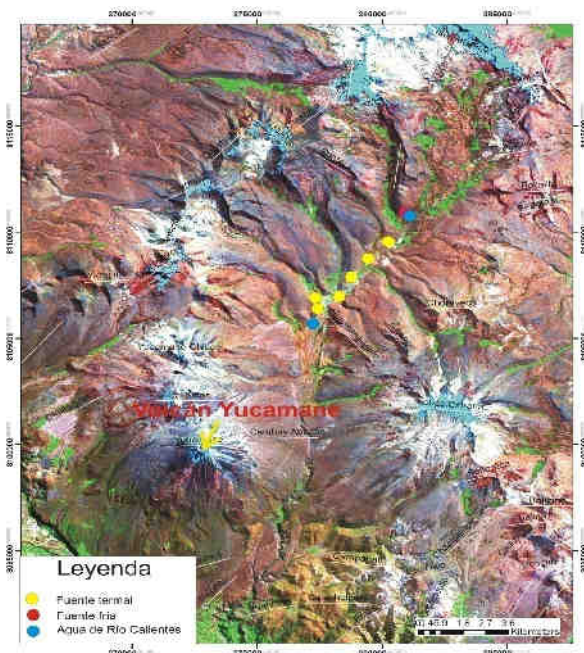


Fig. 1. Mapa de localización de las fuentes termales de Calientes



Fig. 2. Foto de la zona geotermal de Calientes

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos durante la misión de campo, llevado a cabo entre el 10 y 11 de Octubre del 2007 (Tabla 1), muestran que las aguas asociadas a la zona geotermal de Calientes, presentan temperaturas entre 50 y 87°C y pH entre 6 y 8, con excepción del agua del río Calientes en su parte alta que presentó un pH ácido de 3.5 (Tabla 1). Los resultados de la composición química e isotópica de las fuentes termales de la zona de Calientes se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

Las 6 fuentes termales (TC-4, TC-10, TC-15, TC-31, TC-41, TC-47) directamente asociadas a la zona geotermal de Calientes, han mostrado concentraciones de sodio y potasio entre rangos de 774mg/L a 1190mg/L y 48.6mg/L a 112 mg/L respectivamente, también se observó elevada concentración en el ion cloro cuyos rangos fueron entre 271mg/L y 1900 mg/L. Algunos componentes no están presentes en el listado de las tablas 2 y 3, debido a que sus concentraciones fueron muy bajas, tal es el caso de los iones nitratos, yoduros y nitritos.

La mayoría de estas fuentes presentan burbujas lo que indica que hay presencia de CO₂. La concentración de los iones bicarbonatos oscila desde 83mg/L a 195mg/L, la concentración de sulfatos desde 21mg/L a 128mg/L. La concentración de calcio y magnesio son bajos, en comparación con los iones descritos. El cloro es el principal anión dominante en estas aguas, seguido del catión sodio. También se ha observado que las aguas son mayormente de pH neutro y químicamente son aguas cloruro – sódicas, típico de aguas de reservorio geotérmico.

El diagrama de Schoeller (Marini, 2000) (Fig. 3) muestra que las fuentes TC-4, TC-10, TC-15, TC-41 y TC-47, presentan dentro de su composición química altas concentraciones de sodio (Na) y cloro (Cl), a diferencia de la fuente TC-31 cuyos valores son bajos en Cl, SO₄ y HCO₃, posiblemente por sufrir dilución con aguas meteóricas. También notamos que la muestra colectada en la parte alta del río, presenta como anión dominante el SO₄ característico de aguas ácidas, coincidiendo con el pH de 3.1 obtenido en el campo. Asimismo, notamos que la muestra colectada en la parte baja del río presenta alta concentración de cloruros, lo que indica que el agua del río Calientes está siendo alimentada por aguas con altas concentraciones de cloruros, provenientes de las fuentes termales, que se localizan cerca a la orilla.

Los resultados químicos obtenidos en las aguas termales, también fueron ploteados en el diagrama de Langelier (Fig. 4) (Fyticas et al., 1989), donde se observa que todas las aguas termales se agrupan dentro del cuadrante de las proporciones químicas Cl + SO₄ – Na + K. Esto nos indica que las aguas son del tipo cloruro - sódica ó alcalina. Asimismo notamos que la fuente TC-31 y las aguas del río Calientes se separan, debido a que son las aguas que sufren mezclas con aguas meteóricas y en el caso del río Calientes con las aguas termales.

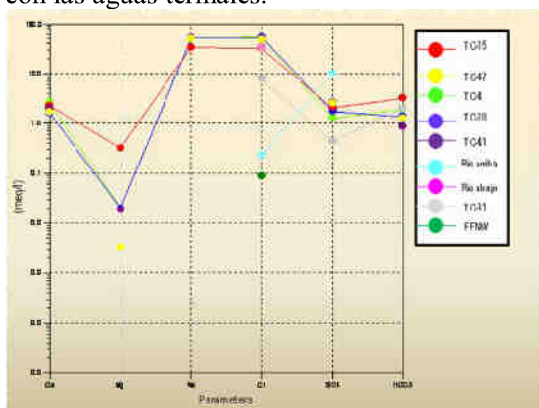


Fig.3. Diagrama de Schoeller

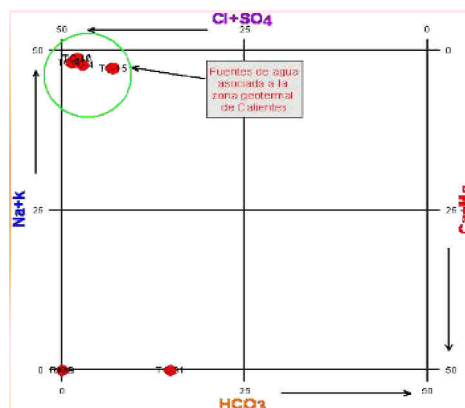


Fig. 4. Diagrama de Langelier

Según el diagrama ternario Cl-SO₄-HCO₃ (Giggenbach, 1988)(Fig. 5), las fuentes termales se agrupan dentro de las aguas cloruradas profundas, que es típico de fluidos geotérmicos profundos y que en su mayoría se encuentra en sistemas de alta temperatura; es decir que son características de áreas que contienen calor, fuentes con flujos grandes de agua y altas concentraciones de cloruros que son alimentados directamente desde reservorios clorurados a nivel profundo. Esto quiere decir que las aguas en la zona de Calientes provienen de reservorios geotérmicos (Nicholson, 1993).

Siguiendo con el diagrama de Piper (Fig. 6), las aguas en estudio se ubican también dentro del cuadrante de aguas cloruro alcalinas. Lo que indica que el tipo químico principal de agua geotermal es Na-Cl, siendo los iones dominantes en la composición química de las aguas. El diagrama de Piper no hace más que apoyar la hipótesis mostrada por el diagrama de Langelier.

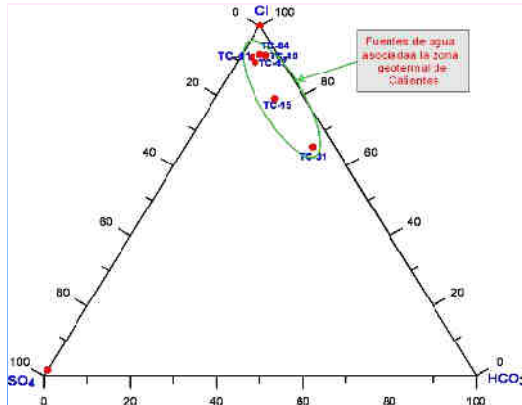


Fig. 5. Diagrama ternario (Giggenbach, 1998).

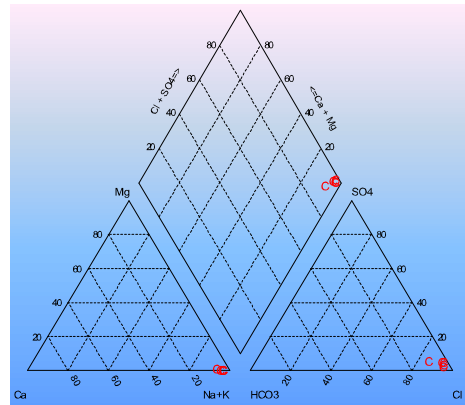


Fig. 6. Diagrama de Piper.

El diagrama binario B – Cl (Fig. 7) muestra que las aguas de la zona geotermal de Calientes presenta elevada concentración del elemento B (boro) y alta relación en la proporción B/Cl, lo que podría indicar que a niveles profundos se está produciendo reacción del agua con las rocas sedimentarias marinas (Shigeno, 1993).

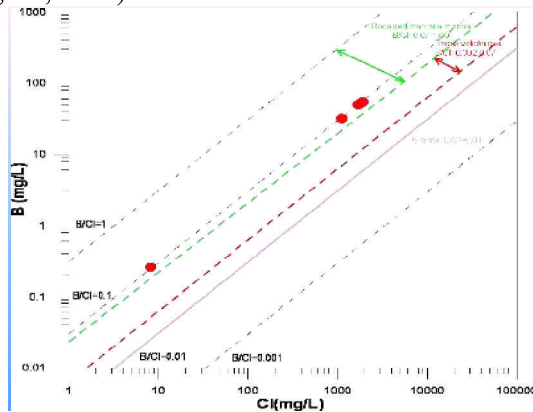


Fig. 7. Diagrama Boro vs Cloruro (Shigeno, 1993).

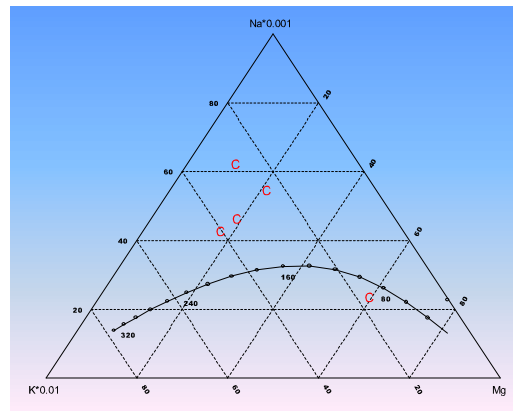


Fig. 8. Diagrama ternario (Giggenbach, 1983).

La evaluación de los datos analíticos ploteados en el diagrama ternario Na-K-Mg (Giggenbach et al., 1983) (Fig.8) nos permite observar que las aguas en estudio mayormente se encuentran dentro del equilibrio total, característicos de aguas provenientes de reservorios geotermales profundos. También se nota que la fuente TC-15 se ubica dentro del equilibrio parcial, esto sugiere que la fuente de agua ha sufrido un proceso de dilución ó mezcla con aguas superficiales.

RESULTADOS DE ISÓTOPOS

Los resultados isotopos (Tabla 2) de las aguas termales de la zona geotermal de Calientes, muestra que las aguas frías presentan valores más negativos de ^{18}O en comparación a las aguas termales, lo que indica que las fuentes de aguas termales son una mezcla de aguas meteóricas con fluidos magmáticos (Craig et al., 1956; Craig, 1963).

La Figura 9 muestra la relaciones entre ^{18}O , en los límites -16.1 a -13.3‰ y δD , en los límites -122 a -111‰. Además se ha observado que los puntos de las fuentes de agua fría (triángulos de color verde) se localizan cerca de la Línea de Agua Meteórica Global (Craig, 1961), indicando que las aguas son alimentadas principalmente por aguas meteóricas a través de un largo periodo de circulación de precipitación de agua de lluvia. Asimismo notamos que los puntos de las fuentes termales (círculos de

color rojo) se alejan de la Línea de Agua Meteorica Global, lo que indica que estas aguas se mezclan con aguas las magmáticas.

Las aguas termales son enriquecidas por ambos isotopos de ^{18}O y δD . La interacción de las aguas termales con las rocas circundantes se evidencia en la relación de la temperatura con los isotopos (Hitchon and Friedman, 1969). Tal como se observa en la figura 10, donde las aguas termales y frías pueden presentar valores similares de isotopos de δD , mientras que en la Figura 11 podemos notar claramente que las aguas frías muestran valores de isotopos de ^{18}O más negativos que las aguas termales. Asimismo se observa que los isotopos de ^{18}O es enriquecido con el incremento de la temperatura, lo que implica que la interacción entre el agua y la roca, es afectada por la temperatura que puede producir cambios en las capas de las rocas circundantes al acuífero geotermal (Pang, 2000).

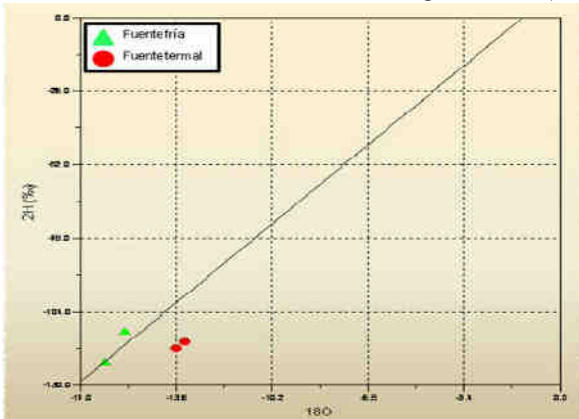


Fig. 9. $\delta^{18}\text{O}$ vs δD para las aguas de Calientes

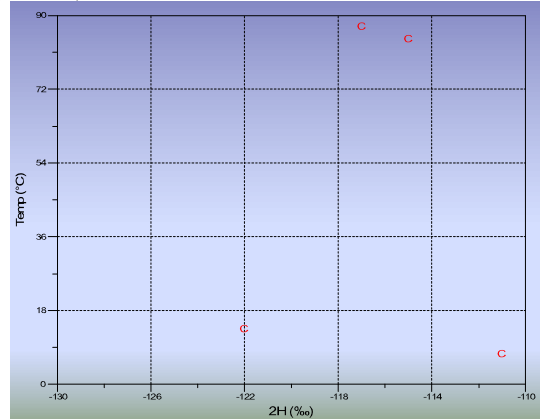


Fig. 10. δD vs temperatura.

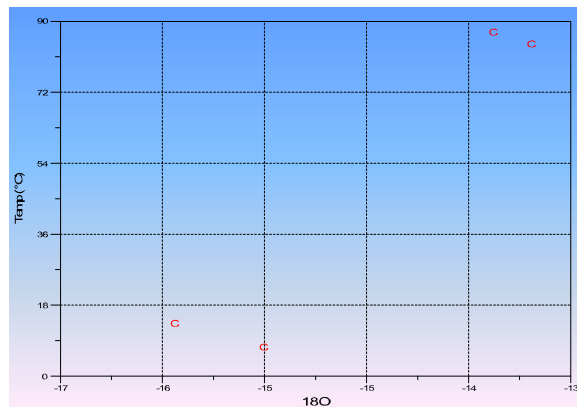


Fig. 11. $\delta^{18}\text{O}$ vs temperatura.

CONCLUSIONES

La caracterización geoquímica de las fuentes termales de la zona geotermal de Calientes aporta las siguientes informaciones sobre los fluidos geotermales:

- Las aguas termales se clasifican dentro de aguas cloruradas – sódicas ó alcalinas, característico de aguas provenientes de reservorios geotermales profundos.
- La relación entre los isotopos estables ^{18}O y δD demuestra que las aguas termales se originan de una mezcla de aguas meteóricas con fluidos magmáticos, en el caso de las aguas frías son de origen meteórico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Craig, H. 1963. Isotopic Geochemistry of Water and Carbon in Geothermal Areas . In: Tongiorgi, E. (ed), Nuclear Geology in Geothermal Areas, Spoleto, 1963. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pias, p. 17-53.
- Craig, H., Boato, G. and White, D. E.. 1956. Isotopic Geochemistry of Thermal Waters. National Acad. Sci. National Research Council Publication 400, p. 29-38.
- Craig, H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric waters. Science, 133, p. 1702-1703.
- Hitchon, B., and Friedman, I., 1969. Geochemistry and Origin of Formation Waters in the Western Canada Sedimentary Basin. I Stable Isotopes of Oxigen and Hydrogen, Geochim. Cosmochim Acta, 33, p. 1321-1349.
- Fyticas, M., Kavouridis T., Leonis, C., Marini L. 1989. Geochemical exploration of the three most significant geothermal areas of Lesbos Island, Greece. Geothermics 18, p. 465-475.
- Giggenbach, W. F. 1988. Geothermal solute equilibria ; derivation of Na-K-Ma-Ca geoindicators. Geochim. Cosmochim. Acta 52, p. 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L. and Truesdell, A. H. 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges NW-Himalaya, India. Geothermics, 12, p. 199-222.
- Marini, L. 2000. Geochemical Techniques for the Exploration and Explotation of Geothermal Energy, Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Universita degli Studi di Genova, Italy.
- Nicholson, K. 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Tecniques. Springer-Verlag edition, Germany.
- Pang, Z. 2000. Isotope Geochemistry of Goothermal Waters in Northern North China Basin: Implications on Deep Fluid Migration, Proceeding of the World Geothermal Congress 2000 Kyushu-Tohoku, Japan, p. 1559-1563.
- Shigeno, H. 1993. Reservoir Environment of the Onuma Geothermal Power Plant, Northeast Japan, Estimated By Forward Analysis of Long-Term Artificial Tracer Concentration Change, Using Singe-box-Model Simulator, Workshop on Geothermal Reservoir engineering, Stanford UniversityCalifornia.

Tabla N°1. Resultado de la composición química de las aguas termales de la zona geotermal de Calientes (WEST JEC Laboratories).

N°	Fuente	Fecha	UTM E	UTM N	Altura (msnm)	Temp. °C	pH	Cond. (µS/cm)	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L	HCO3 mg/L	B mg/L	As mg/L	SiO2 mg/L
1	Fuente Fria NW del rio Calientes	10/10/2007	380888	8110846	4,491	26.9	7.24	110					3.05				0.084	
2	Rio Calientes (parte arriba)	10/10/2007	380992	8110754	4,476	7.4	3.40	907					8.17	479		0.26	<0.005	
3	Fuente termal (TC-4)	10/10/2007	380218	8109551	4,423	87.3	7.60	5,920	1190	112	52.2	0.235	1900	60.2	117	54.8	8.66	263
4	Fuente termal (TC-10)	10/10/2007	379431	8108726	4,389	81.7	7.44	5,900	1180	88.3	32.5	0.242	1860	84.1	83	53.4	6.33	258
5	Fuente termal (TC-15)	11/10/2007	378788	8107828	4,362	86.6	6.90	3,900	774	55.4	45.6	3.87	1110	99.1	195	32.1	5.01	204
6	Fuente termal (TC-31)	11/10/2007	378315	8106970	4,359	54.8	7.53	1,160					271	21	123			141
7	Fuente termal (TC-41)	11/10/2007	377296	8106907	4,328	84.3	7.12	5,690	1180	51.6	39.1	0.224	1810	128	53	52.7	7.88	248
8	Fuente termal (TC-47)	11/10/2007	377398	8106407	4,312	84.3	7.90	5,380	1120	48.6	33.5	0.043	1700	122	78	49.8	8.33	297
9	Rio Calientes (parte baja)	11/10/2007	377268	8105687	4,293	23.8	8.34	4,140					1170				3.93	

N°	Fuente	Fecha	δ D(H2O)	δ 18O(H2O)	δ 34S(SO4)	δ 18O(SO4)
1	Fuente Fria NW del rio Calientes	10/10/2007	-122	-16.1		
2	Rio Calientes (parte arriba)	10/10/2007	-111	-15.4		
3	Fuente termal (TC-4)	10/10/2007	-117	-13.6	6.5	-7.4
4	Fuente termal (TC-41)	11/10/2007	-115	-13.3	10	-6.3