



GEOQUIMICA DE GASES DEL CAMPO GEOTERMAL EL TATIO (NORTE DE CHILE)

Martínez, C^a., Campano, P^b., Medina, E^b., Tassi, F^c.

^a *Compañía Minera Ojos del Salado, Tierra Amarilla s/n, Copiapó, Chile.*

^b *Depto. de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Av. Angamos 0610, Antofagasta, Chile.*

^c *Depto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Florencia, Via La Pira 4, Florencia 50121, Italia.*

INTRODUCCION

El campo geotérmico El Tatio, en la Segunda Región de Antofagasta, Chile (22°20'S, 68°01'W), en una zona de intenso volcanismo, y corresponde a una depresión volcano-tectónica orientada N-S, denominada Graben El Tatio.

Para el muestreo de gases se utilizaron ampollitas de vidrio de 120 ml con 40 ml de una solución 4N NaOH y de 60 ml con 20 ml de una solución 0,15M Cd(OH)₂ + 4M NaOH, estas últimas son apropiadas para la precipitación de sulfuros insolubles (CdS) al reaccionar el H₂S con el Cd²⁺.

GEOQUIMICA DE GASES

Las especies gaseosas encontradas en El Tatio evidencian una composición natural heterogénea del reservorio, el cual está compuesto por 36 gases distintos, de los cuales 10 son gases inorgánicos (no condensables) y representan el 50.74 %, mientras que el agua representa el 49.25 %, y ambos sumados constituyen el 99.9 % del total de los gases en la fase vapor, siendo el 0.1 % restante gases orgánicos.

Las condiciones térmicas del reservorio muestran que las temperaturas de emergencia varían entre 48,3°C y 91,6°C evidenciando una estrecha correlación con los fluidos de emisión (Tassi *et al.*, 2003), mientras que las temperaturas de sub-superficie fueron calculadas con el geotermómetro H₂/Ar de Chiodini *et al.* (2001) y varían en un rango entre 228°C y 246°C.

GASES NO CONDENSABLES

La composición de los gases en el reservorio está caracterizada por la presencia de CO₂ y H₂S principalmente, los cuales representan el 98,69% y 0,14% de los gases no condensables, respectivamente. El 1,17% restante corresponde a CH₄, N₂, Ar, O₂, Ne, H₂ y He.

En El Tatio los altos valores de la razón N₂/Ar >100 (Figura 1), excepto las muestras del Géiser Blanco, sugerirían una amplia contribución de N₂ no atmosférico (Tassi *et al.*, 2003), tal como suele ocurrir en gases de sistemas volcánicos asociados a límites de placas convergente (también llamados gases “andesíticos”; Giggenbach, 1996).

Los contenidos de O₂, Ar y Ne indican que las muestras de gas han sido afectadas por una limitada contaminación con aire. En la Figura 2 se comparan los valores de la razón Ar/Ne entre ASW (1700 - 940 para el agua pura con un rango de temperatura entre 20 y 80°C) y el aire (Ar/Ne = 518), indicando que estos dos componentes tienen un origen completamente atmosférico. A diferencia del Ar y Ne, el O₂ aparece fuertemente empobrecido, posiblemente porque ha sido consumido por las reacciones redox de las especies gaseosas y por la interacción agua-roca (Tassi *et al.*, 2005).

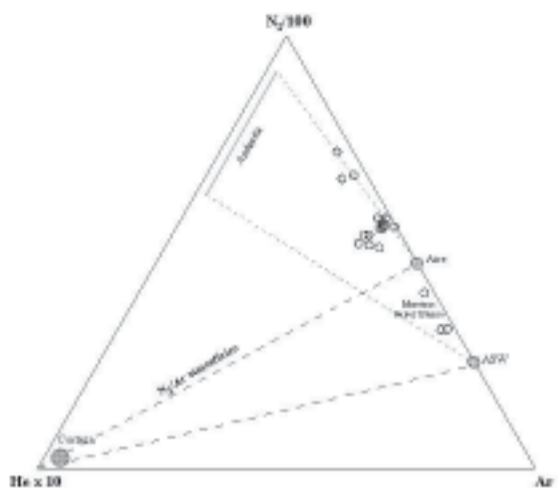


Fig. 1. Diagrama triangular Ar-N₂/100-He*10 para las muestras de gas del campo geotérmico El Tatio. Se reportan las composiciones de Aire y Aire Saturado en Agua (ASW). También los campos de límites de placas convergentes (“andesita”) y corteza (Giggenbach *et al.*, 1996 en Tassi *et al.*, 2005).

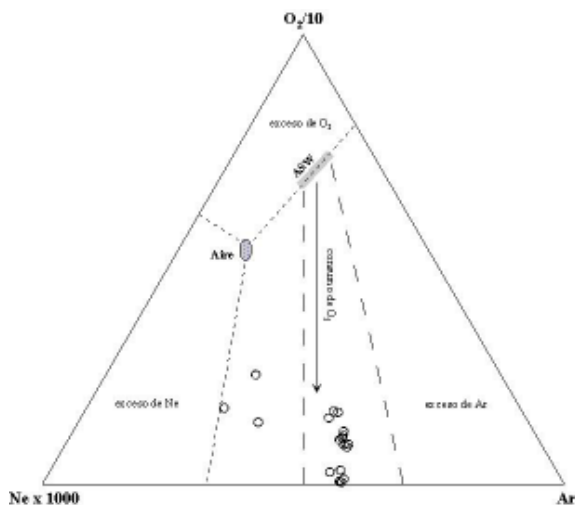


Fig. 2. Diagrama triangular Ar-O₂/10-Ne*1000 para las muestras de gas del campo geotérmico El Tatio. Se reportan las composiciones de Aire y Aire Saturado en Agua (ASW) (Tassi *et al.*, 2005).

GASES ORGANICOS

Dentro de la gran variedad de gases detectados en las fuentes termales del campo geotérmico El Tatio, la gran mayoría corresponde a gases de origen orgánico. Estos gases corresponden a hidrocarburos livianos ($C_2 - C_9$) pertenecientes a los grupos de los alcanos, alquenos, aromáticos y heterocíclicos.

Los gases alcanos son típicos de temperaturas muy baja o de emisiones frías, en la cual los componentes orgánicos derivan directamente de la materia orgánica y en condiciones muy reducidas (Capaccioni *et al.*, 2001).

En condiciones más oxidadas, y preferentemente a altas temperaturas y bajas presiones se produce la oxidación de los alcanos y la formación de alquenos (Taran y Giggenbach, 2004).

Los contenidos relativos de los grupos de hidrocarburos son proyectados en un diagrama triangular alquenos-aromáticos-alcanos (Figura 3).

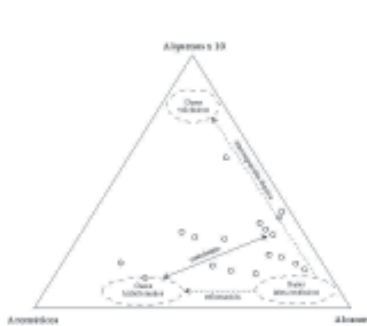


Fig. 3. Diagrama triangular $\Sigma_{\text{alcanos}} - \Sigma_{\text{alquenos}} * 10 - \Sigma_{\text{aromáticos}}$ para las descargas de gas del campo geotérmico El Tatio. Se reportan las composiciones de gases de sistemas hidrotermal, volcánico e intra-cratónico (Capaccioni *et al.*, 1993 en Tassi *et al.*, 2005).

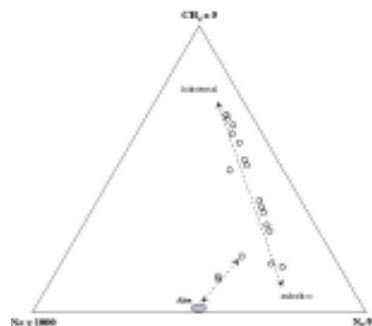


Fig. 4. Diagrama triangular $N_2/50 - CH_4 - Ne * 100$ para las muestras de gas del campo geotérmico El Tatio (Tassi *et al.*, 2005).

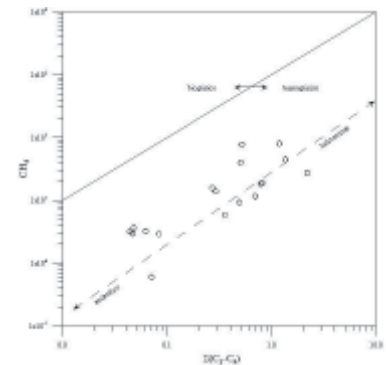


Fig. 5. Diagrama binario $CH_4 - \Sigma(C_2 - C_9)$ para las muestras de gas del campo geotérmico El Tatio.

En la Figura 4 (diagrama $N_2 - CH_4 - Ne$) se presentan las muestras de gas, se observan dos alineamientos bien definidos (marcados con líneas segmentadas), lo que sugiere la mezcla de importantes procesos entre los componentes: a) atmosférico, b) hidrotermal y c) magmático (andesítico).

Similarmente, la distribución de gases en el diagrama CH_4 vs. $\Sigma(\text{C}_2\text{-C}_9)$ (Figura 5) parece estar relacionada con la mezcla de componentes hidrotermales ricos en hidrocarburos, producidos a través de procesos termogénicos (Hunt, 1984), posiblemente con componentes magmáticos, caracterizados por los bajos contenidos de gases orgánicos.

CONCLUSIONES

En el campo geotérmico El Tatio, la fase vapor evidencia un amplio rango de concentraciones de gases, tanto orgánicos como inorgánicos (no condensable), siendo estos últimos los de mayor importancia, representando el 99.9 % del total del gas en la fase vapor.

El mayor constituyente de los gases no condensables es el CO_2 con concentraciones de hasta 992.831 $\mu\text{mol/mol}$, el H_2S muestra proporciones que varían entre 25,89 y 4.261 $\mu\text{mol/mol}$. Los contenidos de gases residuales es variable, destacando el N_2 , CH_4 , H_2 y He, mientras que los contenidos de CO, HF, HCl y SO_2 resultan inferiores a los límites de detección de las pruebas químicas (0.001 $\mu\text{mol/mol}$).

Finalmente, se podría establecer que los compuestos orgánicos detectados en El Tatio evidencian que las condiciones redox, los agentes catalizantes y las temperaturas que caracterizan el ambiente de dicho campo geotérmico son capaces de producir una variedad tal, de compuestos químicos, normalmente no observables en ambientes volcánicos e hidrotermales.

REFERENCIAS

- Capaccioni, B., Tassi, F. y Vaselli, O. (2001). Organic and inorganic geochemistry of low temperatura gas discharges at the Baia di Levante beach, Volcano Island (Aeolian Archipelago, southern Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 108, 173-185.
- Chiodini, G., Marini, L. y Russo, M. (2001). Geochemical evidence for the existence of high-temperature hythermal brines at Vesuvio Volcano, Italy. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65, 2129-2147.
- Giggenbach, W.F. (1996). Chemical composition of volcanic gases. In: *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer Verlag, Berlin, pp. 222-256.
- Hunt, J.M. (1984). Generation and migration of light hydrocarbons. *Science* 226, 1265-1270.
- Taran, Y. y Giggenbach, W.F. (2004). Evidence for metastable equilibrium between hydrocarbons in volcanic gases. Eleventh International Symposium on Water Rock Interaction. Saratoga Springs, New York.
- Tassi, F., Vaselli, O., Capaccioni, B., Viramonte, J., Martínez, C., Aguilera, F. y Montegrossi, G. (2003). Le manifestación gassose del campo geotermico del Tatio (Cile settentrionale). 4th FIST congreso, Bellaria, Italy.
- Tassi, F., Martínez, C., Vaselli, O., Capaccioni, B. y Viramonte, J. (2005). Light hydrocarbons as redox and temperature indicators in the geothermal field of El Tatio (northern Chile). *Applied Geochemistry* 20, 2049-2062.