CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS FUENTES TERMALES ALREDEDOR DEL VOLCÁN TICSANI (MOQUEGUA)

Vicentina Cruz

INGEMMET, Av. Canadá Nº 1470, San Borja Lima 41, Perú, Apartado 889 (vcruz@ingemmet.gob.pe)

El volcán Ticsani se encuentra ubicado en la zona volcánica de los Andes Centrales (ZVC, De Silva y Francis, 1991), en la Cordillera Occidental de los Andes a 60 km al noreste de la ciudad de Moquegua (Fig. 1), entre las coordenadas 70°36'O y 16°44'S, a 5,408 msnm. Comprende dos edificios: "Ticsani Antiguo" y "Ticsani Moderno". El edificio "Ticsani Antiguo" es un estratovolcán formado por flujos de lavas, rocas volcanoclásticas e ignimbríticas. El "Ticsani Moderno" está conformado por tres grupos de depósitos: a) Lavas en bloques. b) Flujos piroclásticos de bloques y cenizas ligados al colapso sucesivo de domos. c) Caídas piroclásticas recientes, depósito de lapilli pómez "Ticsani gris", depósito de ceniza "Ticsani gris" y depósito de pómez "Ticsani parduzco" (Mariño, 2002).

La existencia de un sistema hidrotermal se evidencia por la presencia de gases fumarólicos en el flanco sureste del cráter, en la cima y alrededor del volcán Ticsani con la presencia de fuentes termales en un radio aproximado de 10 km, la mayoría de las fuentes termales muy calientes están localizadas en el río Putina con temperaturas hasta de 94 °C.

El interés por el estudio químico de las aguas termales, situadas cerca del volcán Ticsani, puede permitir correlacionar los fluidos volcánicos con la actividad volcánica, debido a que estos fluidos asociados, son frecuentemente inducidos a variaciones químicas. Por lo tanto, el estudio de las aguas es importante para ser aplicados en el estudio geoquímico del volcán Ticsani. El estudio de la composición de los gases fumarólicos es también sumamente interesante; pero en el caso del volcán Ticsani, el muestreo de los gases no es conveniente, por que los gases son muy diluidos. Así que actualmente es imposible hacer un muestreo continuo de estos fluidos. Por lo cual, la mejor opción para el estudio geoquímico del volcán Ticsani es mediante el estudio de las variaciones de composición de las aguas termales.

A raíz de los constantes movimientos sísmicos y su posible relación con la reactivación del volcán Ticsani, en el mes de octubre de 2005, se ha efectuado el muestreo de aguas termales para realizar una primera caracterización geoquímica de estos fluidos asociados al volcán. Este muestreo se ha realizado en un radio de 10 km desde el volcán Ticsani (Fig. 2), para lo cual se ha tomado 2 muestras debidamente filtradas: Una para el análisis de cationes con adición de HNO₃, para reducir la formación de especies precipitantes. La segunda para el análisis de aniones sin adición de ácido. Además, se determinaron in situ la temperatura y pH. En laboratorio se efectuó el análisis de iones disueltos (aniones: Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, cationes: Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) por medio de absorción atómica (horno de grafito y flama) y por vía volumétrica y gravimetría (Tabla 1).

Para una primera clasificación de las aguas termales asociados al volcán Ticsani, se usó el diagrama de Langelier (Fyticas, et al.; 1989), donde se muestra que las aguas se localizan dentro del grupo de aguas sulfato-cloruro alcalinas (Fig. 3), dentro del cuadrante de las proporciones químicas $Cl^{-} + SO4^{2-} / Na^{+} + K^{+}$.

El diagrama binario Na-Cl muestra una relación lineal entre todas estas aguas (Fig. 4). Además del contenido de Na⁺ y Cl⁻ divide a las aguas en dos grupos. Las aguas del grupo A tienen alto contenido de Na⁺ y Cl⁻, característica de aguas <u>cloruro alcalinas</u> que circulan a profundidad y salen a la superficie con temperaturas altas y con pH neutro hasta alcalino. Las aguas del grupo B presentan bajos contenidos de Na⁺ y Cl⁻, por su condición de aguas frías. La fuente termal Secolaque (67,4 [°]C) clasificada dentro del grupo B nos indica que ha sufrido mezcla con las aguas del río Putina, por su ubicación en el cauce de este río.

El diagrama binario Na/K (monovalente)-Ca/Mg (bivalente) muestra otro tipo de relaciones entre las aguas muestreadas (Fig. 5). Las aguas localizadas a lo largo del río Putina todas están sobre una misma línea (línea roja) que indicaría la posibilidad de que las aguas del río Putina sean una fuente de contaminación de las aguas termales.

Las aguas de las lagunas Toro Bravo y Camaña presenta una distribución de elementos monovalentes y bivalentes completamente diferentes (línea azul) a las aguas localizadas en el río Putina. Para precisar esta diferenciación se ha hecho uso del diagrama binario K-Cl (Fig. 6), donde se muestra también la repartición de las fuentes en dos grupos diferentes, apoyando la hipótesis de una distribución diferente de los elementos químicos entre las aguas de las lagunas Toro Bravo y Camaña y las aguas localizadas a lo largo del río Putina. Esto podría indicar que las aguas provienen de dos reservorios diferentes: 1) Aguas caliente provenientes de reservorios profundos. 2) Aguas frías provenientes de la infiltración de las aguas meteóricas.

Según el diagrama ternario propuesto por Giggenbach (1988), las aguas termales pueden ser divididas dentro de los siguientes tipos hidroquímicos, sobre la base de contenidos relativos de Na, Ca y Mg y las concentraciones relativas de Cl, SO_4 y HCO_3 (Brombach et al.; 1999). Siguiendo el diagrama ternario de Na-Ca-Mg se observa que las aguas muestreadas se agrupan dentro de las aguas alcalinas (Fig. 7) caracterizadas generalmente por presentar altas temperaturas y posiblemente con alto contenido de minerales. Las fuentes termales con altas temperaturas son las que se localizan en el cauce del río Putina y la quebrada Quebaya. Las fuentes frías corresponden a las lagunas Toro Bravo y Camaña, y las aguas del río Putina.

El diagrama ternario de Cl-SO4-HCO₃ (Fig. 8) ilustra que las fuentes termales se agrupan dentro de las aguas cloruro-sulfatadas, que podrían mezclarse a profundidades variables con condensados volcánicos, lo cual confirmaría que estas aguas provienen de un reservorio profundo. Estos diagramas reafirman que las fuentes termales asociadas al volcán Ticsani son aguas sulfato cloruro alcalinas. Por otro lado, se observa que las aguas frías (lagunas Toro Bravo y Camaña) presentan mayor contenido de sulfatos, esto podría asociarse a la condensación de gases volcánicos cerca de la superficie con aguas meteóricas. Estas aguas pudieron ser inusualmente ácidos, sin embargo debido a las reacciones de roca–agua influenciada por el pH ácido y la temperatura, hacen que aparezcan nuevos elementos como el sodio, potasio y otros cationes que contribuyen al cambio de su pH, en aguas básicas o alcalinas (Nicholson, 1993).

La elaboración e interpretación de estos primeros datos geoquímicos sobre el volcán Ticsani, muestra que las aguas pueden estar influenciadas por componentes volcánicos que podrían estar relacionados a un reservorio magmático profundo del volcán Ticsani (Fanara, 1998; Nuccio et al., 1999; Paonita, 1995).

Las aguas alrededor del volcán Ticsani pueden ser producto de dos procesos de mezclas: La primera puede ser producto de las relaciones entre el sistema hidrotermal y las aguas meteóricas y la segunda en un contexto más profundo, puede ser el reflejo de las relaciones entre la fuente magmática que da origen al sistema hidrotermal del volcán Ticsani y reservorios profundos de agua que existen gracias a la presencia de fallas.

REFERENCIAS

Brombach, T.; Marini, L. & Hunziker, J. (2000).- Geochemistry of the thermal springs and fumaroles of Basse-Terre Island, Guadalupe, Lesse Antilles. Bull. Volcanol, 61, 477-490.

- De Silva, V. & Francis, P. (1991).- Volcanoes of the Central Andes. Springer, Berlin, 216p.
- Fanara, C. (1998).- Metodi di campionamento e analisi dei gas. Studio sulla caracterizzazione genetica dei fluidi di fumarolici di Vulcano. Corso di laure in Zcienze Geologiche. Universita degli studi di Palermo.
- Fyticas, M.; Kavouridis, T.; Leonis, C.; Marini, L. (1989).- Geochemical exploration of the three most significant geothermal areas of Lesbos Island, Greece. Geothermics 18, 465-475.
- Giggenbach, W. (1988).- Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. Geochim Cosmochin Acta 52: 2749-2765.

XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú

Mariño, J. (2002).- Estudio Geológico Vulcanológico y evaluación de peligros del volcán Ticsani (Sur del Perú). Tesis profesional, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Nicholson, K., (1993).- Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Tecniques. Springer-Verlag edition, Germany.

Nuccio, P.; Paonita, A.; Sortino, F., (1999).- Geochemical modeling of mixing between magmatic and hydrotermal gases: the case of Vulcano Island, Italy. EPSL 167, 321-333.

Paonita, A. (1995).- Genesi dei gas fumarolici di Vulcano (Isole Eolie). Corso di Laurea in Scienze Geologiche. Universita degli studi di Palermo.





Fig. 1. Mapa de ubicación del volcán Ticsani.

Fig. 2. Mapa de localización de fuentes termales asociadas al volcán Ticsani.

Tabla	1. Com	posición	química	de las	fuentes	Ubinas	Termal	l y Fría	(Concent	traciones	en mg/	1)
												_

Fuentes	Fecha	T ⁰C	pН	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Sr mg/l	Li mg/l	HCO ₃ - mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO4 ⁻ mg/L
Putina I	07/10/05	93,4	8,6	60	6,3	590	60	2,1	4,16	106,9	688,1	385,2
Putina II	07/10/05	94,5	7,75	38	3,2	620	60	1,2	4,15	41,59	689,5	396,8
Secolaque	07/10/05	67,4	7,15	50	5,5	340	36	0,92	2,03	92,68	438,3	129,6
Río Putina I	07/10/05	11,9	7	15	5,4	29	5,3	0,18	0,057	36,84	26,52	28,4
Río Putina II	07/10/05	32,1	7,4	39	6,3	280	32	0,84	1,64	67,73	346,1	157,64
Cuchumbaya	08/10/05	51,6	6,5	140	24	640	54	2,9	4,16	218,6	745,3	482,4
Laguna Toro Bravo	17/10/05	9,2	10	16	11,3	140	57	0,24	< 0,02	136,7	159,1	129,3
Laguna Camaña	17/10/05	11,6	10	24	4	235	138	0,29	< 0,02	242,4	283,3	1320,7

XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú

