INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

VIGILANCIA GEOQUÍMICA DE FUMAROLAS Y FUENTES DE AGUA ASOCIADAS AL VOLCÁN TICSANI (MOQUEGUA), PERIODO 2007

POR:

Lic. PABLO MASIAS ÁLVAREZ

Arequipa, 2007

RESUMEN

El monitoreo geoquímico del volcán Ticsani durante el periodo del 2007 consistió en la medición de parámetros fisicoquímicos y el análisis químicos de 13 fuentes de aguas termales, frías y 2 lagunas cercanas al volcán, también se realizó la medición de la temperatura de una de las fuentes termales y de las fumarolas de la cumbre de manera continua, no se observó cambios significativos.

La mayoría de fuentes de aguas (calientes y frías), presentan gran estabilidad de los parámetros fisicoquímicos, en el caso de algunas fuentes como Cuchumbaya las variaciones se deben a la mezclas de aguas. En las lagunas (Toro Bravo y Camaña) la variación de la temperatura es debido a la estación del año y la hora del muestreo. Los resultados de la medición permanente de la temperatura de la fuente de agua Hierba Buena muestra un promedio de 42.08ºC, con algunas anomalías, las que no guardan relación con el sismo de Pisco ocurrido el 15 de agosto del 2007 (Cruz et al, 2007).

La temperatura en las fumarolas en el periodo octubre 2006 a junio 2007 tienen un promedio de 16.2ºC, mientras que la temperatura del ambiente presentó un promedio de - 0.9ºC. Asimismo se observó algunos cambios en los registradores térmicos de las fumarolas (suelo y ambiente) donde ambos mantienen un comportamiento similar, pero se observo una disminución en el ambiente de -10,1ºC en febrero 2007.

ÍNDICE

1. CONSIDERACIONES GENERALES 4

1.1 Introducción 4

1.2 Localización 5

1.3 Contexto Geológico 5

2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS 5

2.1 Ubicación de las fuentes de agua 5

2.2 Ubicación de las fumarolas de a cumbre del volcán 9

2.3 Métodos de muestreo 10

2.4 Medición continua de la temperatura 11

3. RESULTADOS 15

4. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN 17

5. CONCLUSIÓN 25

6. RECOMENDACIONES 25

7. REFERENCIAS 27

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Introducción

El volcán Ticsani es un estrato volcán catalogado como posiblemente latente con muchas fases de colapso (Fidel et al., 1997) que presenta una historia eruptiva reciente. Los estudios vulcanológicos estratigráficos muestran 3 grupos de depósitos asociados al crecimiento de domos, emisiones de flujos y, caídas de cenizas y pómez: erupción sub pliniana "Pómez Ticsani Gris" (hace aproximadamente 10600 años) y erupción de moderada magnitud "Cenizas Ticsani Gris", (entre 10600 a 400 años), erupción con emisión de pómez "Pómez Ticsani Parduzco" (menor a 400 años) (Mariño, 2002; Mariño et al., 2003).

El interés por el estudio químico de las fuentes de agua situadas cerca del volcán Ticsani, permiten 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 para la vigilancia; pero en el caso del volcán Ticsani, el muestreo de los gases no es conveniente, porque estos son muy diluidos y no es posible utilizar algunos equipos de medición de gases. Por lo cual una opción para el estudio geoquímico del volcán Ticsani es mediante el estudio de las variaciones de composición de las aguas termales (Cruz, 2006).

A partir de la crisis sísmica de Calacoa en octubre del 2005 que se toma como un riesgo latente la posibilidad de una próxima erupción del volcán Ticsani, es en ese momento que se realiza un estudio geoquímico donde se determina que no presenta anomalías con respecto a los datos tomados en el año 1999 (Rivera et al., 2006), para obtener resultados concretos del comportamiento regular de la actividad volcánica del Ticsani era necesario que la vigilancia fuera con mayor frecuencia. El Instituto Geologico Minero y Metalurgico (INGEMMET) en el año 2006 inicia el monitoreo geoquímico de aguas (13 fuentes de agua y 2 lagunas cercanas al volcán) y fumarolas (cercanas a la cumbre), durante el 2007 continua con el monitoreo, se la instala un sensor térmico de alta sensibilidad en la fuente Hierba Buena (quebrada Quelajahuira), además una pequeña estación de monitoreo en las fumarolas del volcán, colocando un sensor de temperatura en el suelo y otro sensor en el aire para la medición continua de la temperatura (Ubeda, 2007), con equipos de la Universidad Complutense de Madrid.

1.2. Localización

El Volcán Ticsani se localiza (8146408S, 329698N, 5409 msnm), a 59 km al Noroeste de la ciudad de Moquegua, en la región Moquegua y forma parte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales ZVC (Fig. 1), aunque no fue considerado por De Silva y Francis (1991).

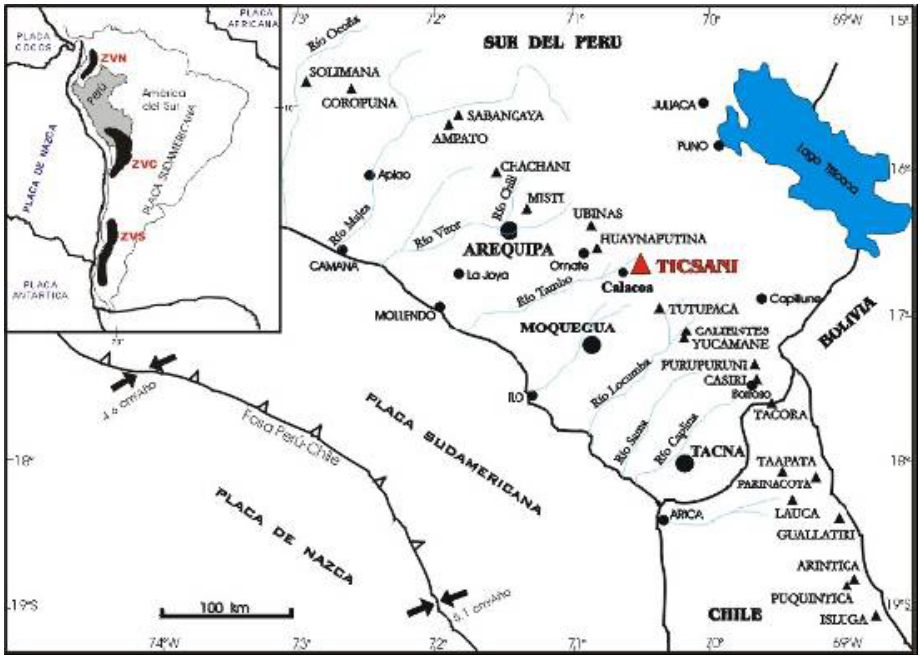

Fig. 1 - Mapa de ubicación del volcán Ticsani (Mariño, 2003).

1.3. Contexto Geológico

El volcán Ticsani es un volcán activo, que entre el Pleistoceno y el Holoceno ha emplazado varios flujos de de lavas, depósitos de avalancha de escombros, 3 domos de lavas y ha presentado erupciones explosivas con emplazamientos de flujos piroclásticos (hace 10,600 mil años) y caídas de pómez (hace menos de 400 años). Todos estos depósitos yacen en inmediaciones del volcán (Mariño, 2002).

2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS

2.1 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE MONITOREO

Las fuentes de vigilancia asociadas al sistema del volcán Ticsani, se localizan dentro de un radio menor a los 12 km (Tabla 1, Fig. 2). La mayor cantidad de fuentes se encuentran en el flanco Noreste del volcán en el cauce del río Putina cerca al puente a San Cristóbal (Fig. 3 A) y en la parte mas alta en la zona de Secolaque (a 9 km) (Fig. 3 B) donde se encuentra la fuente del mismo nombre (Fig. 4) y las cercanas al puente que une el pueblo de Calacoa con el de San Cristóbal (a 11 km) (Fig. 3 B) donde se encuentran las fuentes Putina Puente Arriba 1 (Fig. 5), Putina Puente Arriba 2 (Fig. 6), Putina 1 (Fig. 7), Putina 2 (Fig. 8). Estas fuentes se caracterizan por presentar temperaturas elevadas entre 81,0 y 91,5 ºC con presencia de gran cantidad de

vapor. En la misma dirección a mayor altura existe una zona donde surgen aguas termales de las paredes de la quebrada (a 6 km) donde existe un punto de monitoreo llamado Ticsani 1 (24ºC) (Fig. 9). Al Norte y a mayor altura se ubica la fuente Ticsani 2 (11ºC). Hacia el Este del volcán se encuentra la el pueblo de Cuchumbaya, junto al río del mismo nombre se encuentra el complejo de piscinas de aguas termales (9 km), donde se encuentran los puntos de monitoreo Cuchumbaya 2 (48ºC), Cuchumbaya 4 (48ºC) (Fig. 10) , y a pocos metros la fuente Cuchumbaya Fría (17ºC) (Fig. 11), a un kilómetro en la quebrada Quelajahuira se encuentra el punto de monitoreo Hierba Buena con 42ºC (Fig. 12). Hacia el Suroeste se encuentra una zona de fuentes termales donde se encuentra el punto de monitoreo Rincón de Las Fuentes Termales con 32ºC a 6.5 km (Fig. 13) y a mayor altura los surgimientos Soquesane 1 a 5 km con 22ºC y Soquesane 2 con 18ºC (Fig. 14). Hacia el Este y Sureste se ubican las lagunas Camaña a 3 km (Fig. 15). y Toro Bravo a 5 km ambas con una temperatura muy variable entre 5 a 14ºC.

Tabla 1. Coordenadas UTM y altura de los puntos de monitoreo,
Putina P. A.: Putina Puente Arriba.

Nº	Puntos de monitoreo	Longitud (m)	Latitud (m)	Altura msnm
1	Laguna Toro Bravo	334754	8144433	4704
2	Laguna Camaña	332869	8144636	4691
3	Hierva Buena	320563	8146953	4559
4	Putina P. A. 1	319623	8149105	3064
5	Putina P. A. 2	319545	8149046	2928
6	Putina 1	319317	8149033	2906
7	Putina 2	319317	8149033	2906
8	Ticsani 1	325390	8149218	4132
9	Ticsani 2	328837	8150200	4465
10	Soquesane 1	326329	8142977	4215
11	Soquesane 2	325708	8142764	4136
12	Rincon F. Termales	324404	8142680	3928
13	Secolaque	322090	8151066	3617
14	Cuchumbaya 2	320637	814723	3292
15	Cuchumbaya	320637	814723	3292
16	Cuchumbaya fría	320502	8147187	3191
17	Pared río Putina	319317	8149033	2906
18	Fumarola (cumbre)	329662	8146413	5347

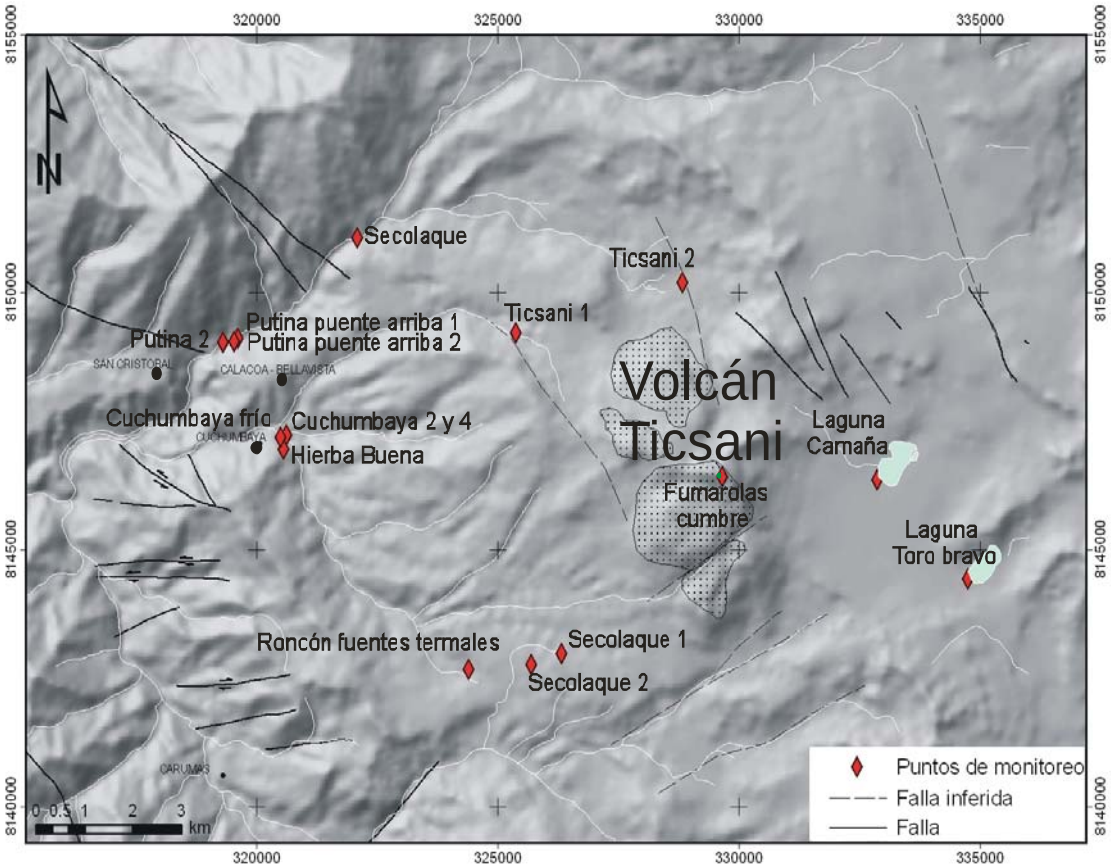

Fig. 2 - Ubicación de los puntos de monitoreo en los alrededores del volcán Ticsani.

Fig. 3 - Fotos del río Putina, (1) zona del puente que une Calacoa con San Cristóbal, (2) zona de Secolaque en la parte alta del río.

Fig. 4 - Foto fuente
Secolaque.

Fig. 5 - Foto fuente
Putina Puente Arriba 1.

Fig. 6 - Foto fuente
Putina Puente Arriba 2.

Fig. 7 - Foto fuente
Putina 1.

Fig. 8 - Foto fuente
Putina 2.

Fig. 9 - Foto fuente
Ticsani 1.

Fig. 10 - Foto fuente
Cuchumbaya 4.

Fig. 11 - Foto fuente
Cuchumbaya Frío.

Fig. 12 - Foto fuente Hierba Buena.

Fig. 13 - Foto fuente Rincón Fuentes

Fig. 14 - Foto fuente Soquesane 2.

Fig. 15 – Foto laguna Camaña.

2.2 Ubicación de las fumarolas en la cumbre del volcán Ticsani

En la cumbre del volcán Ticsani (long. 329698, Lat. 8146408, Alt. 5409 msnm) se observó actividad fumarólica leve. Los gases volcánicos son diluidos, con emisiones de baja concentración y visibles a poca distancia. Los gases están distribuidos a lo largo del flanco Suroeste y cima del cráter C3 (Fig. 16) (Mariño, 2003). Estas se encuentran alineadas en dirección Este – Oeste, cubriendo una distancia de aproximadamente 600 m. En la parte más baja (5304 msnm), al lado Este, se encuentra una antigua mina de azufre, es aquí donde se encuentran las fumarolas con color blanquecino, olor sulfuroso y con temperaturas mayores a los 75ºC.

Hacia el lado Oeste con mayor altura (5397 msnm), las fumarolas son incoloras y se caracterizan por presentar una temperatura alrededor de 15ºC y humedad que es evidenciada por la presencia de vegetación de color café. En esta zona se instalaron los sensores térmicos.

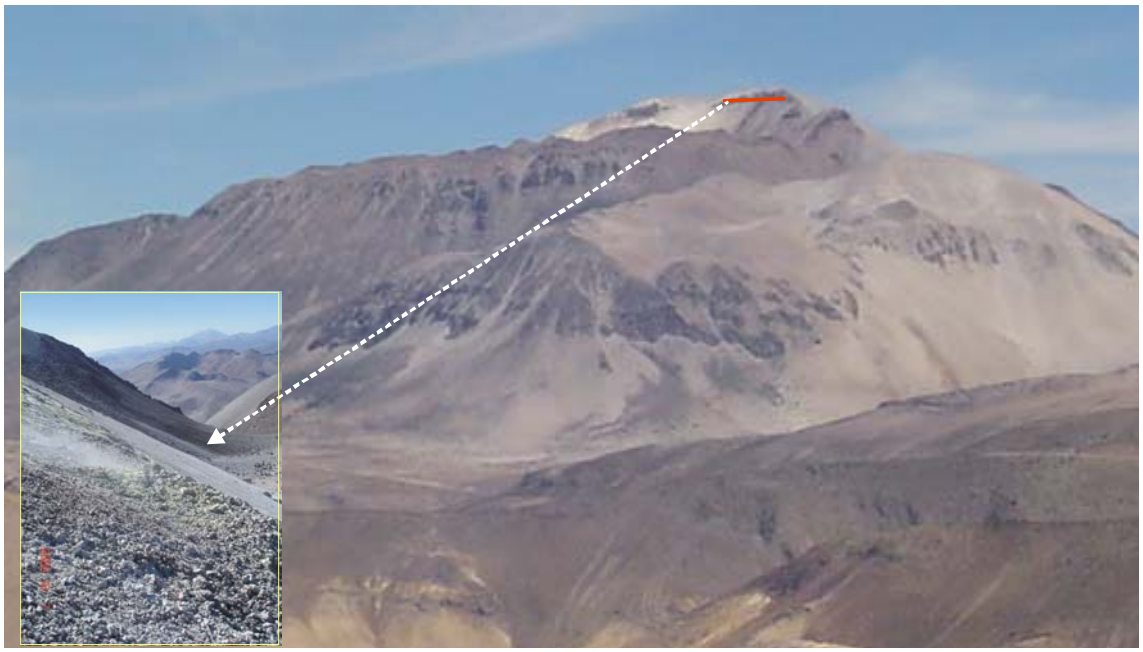

Fig. 16 - Foto del flanco Suroeste del volcán Ticsani, donde se encuentra marcada de color rojo la zona de las fumarolas las que se pueden apreciar con mayor detalle en el recuadro del lado izquierdo de la foto.

2.3 Métodos de muestreo

El muestreo de aguas, se realizó utilizando botellas de polietileno de un litro de capacidad, dependiendo de los análisis que se realicen, es necesario colectar 2 muestras, una para analizar metales disueltos, al cual se hace el filtrado y luego se adiciona ácido nítrico (HNO_3) (Fig. 17 - 1). Una segunda muestra, para analizar aniones simplemente se colecta (no se filtra ni se adiciona ácido). Las muestras son conducidas al laboratorio para realizar los análisis correspondientes, utilizando el método instrumental ICP (Inductively coupled plasma), análisis gravimétricos y volumétricos.

Adicionalmente en cada fuente se miden los parámetros: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad y caudal del agua (Fig. 17 - 2).

Fig. 17 - Fotos (1) toma de muestras y preparación de estas en la laguna Camaña, (2) medición del caudal en la fuente Hierba Buena

2.4 Monitoreo continuo de la temperatura

- Temperatura en aguas termales

El monitoreo continuo de la temperatura de agua se realiza utilizando los regustradores térmicos de acero inoxidable 316L (data logger) HOBO, con termistor de cristal para lecturas de alta sensibilidad, diseñados para permanecer sumergidos en agua, con un rango de temperatura de -40º a +125ºC y una precisión de 0.22ºC a 25ºC (Fig. 18). Estos equipos cuentan con una memoria de 64 Kb donde se almacenan hasta 43000 medidas de la temperatura (http://www.onsetcomp.com). Este registrador, se instaló en la fuente termal Hierba Buena ubicada en la quebrada quelajahuira a 8 km de la cumbre en dirección ESE (ver tabla 1 y Fig. 2), al cabo de un periodo son recogidos para recuperar fácilmente la información acumulada en una computadora mediante un cable con conexión USB y utilizando el software “HOBOwere Pro 2.2.1”.

Los sensores son programados para tomar una lectura en un lapso de 15 minutos y fueron cambiados aproximadamente cada 40 días.

En la quebrada Quelajahuira, en la fuente Hierba Buena, se instaló una pequeña estación para la medición de la temperatura consistente en un tubo de PVC de 4 pulgadas x 35.0 cm con agujeros en las paredes donde se colocan los registradores térmicos, de manera tal que se asegure las mismas condiciones para la medición de la temperatura (Fig. 19).

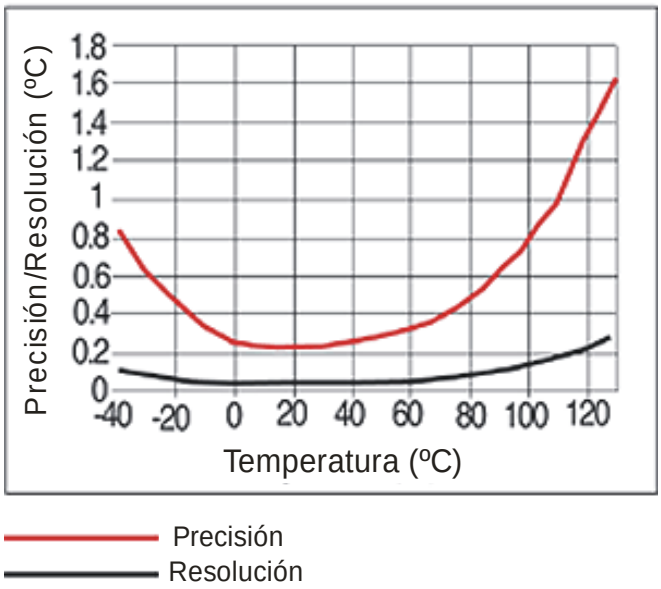

Fig. 18 - Grafica donde se muestra el grado de precisión del equipo HOBO U12 – 015 (modificado de http://www.onsetcomp.com).

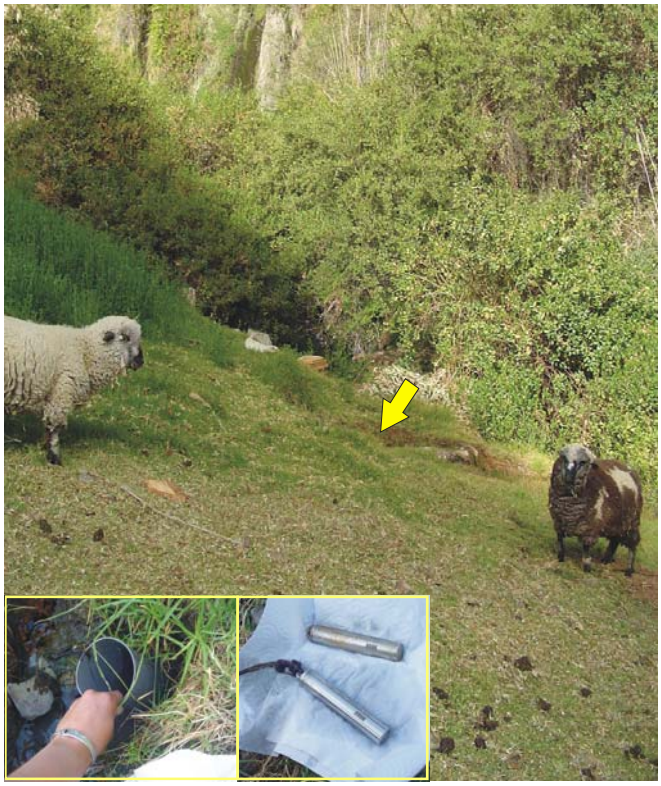

Fig. 19 – Fotos de la fuente Hierba Buena eb la quebrada Quelajahuira, parte inferior izquierda instalación de la estación de monitoreo, parte inferior central censores térmicos HOBO U12 – 015

- Temperatura en fumarolas

La medición continúa de la temperatura en las fumarolas se realiza utilizando registradores térmicos (data logger) UTL-1 (Universal Temperature Logger 1) (Fig. 20), dotado de un termistor TMC-1T, cubierta exterior de Delrin y tapa de aluminio (Fig. 9), un rango de –29ºC a +39ºC y una precisión de +/- 0,1ºC. Estos equipos cuentan con una memoria donde se almacenan las medidas de la temperatura. En la zona de emisiones de gases (Fig. 21 - 1) se instalaron 2 registradores UTL-1 (Fig. 21-3), uno de ellos en el suelo para medir la temperatura de las fumarolas y otro en una roca cercana para medir la temperatura del ambiente. Después de 9 meses (octubre 2006 a junio 2007) fueron recogidos para recuperar la información acumulada en una computadora mediante un cable serial/RS-232 (http://www.utl.ch) utilizando el software "Box Car Pro 4".

Para continuar con la medición continua de la temperatura, se instalo una estación de monitoreo consistente en un Tubo de 4 pulgada x 1 metro (Fig. 20 - 2) donde se instalaron nuevamente 2 registradores, uno a 80 cm dentro del tubo y otro enterrado a 10 cm de la superficie; también se instaló un registrador para la medición de la temperatura ambiental, estos equipos serán cambiados en junio del 2008.

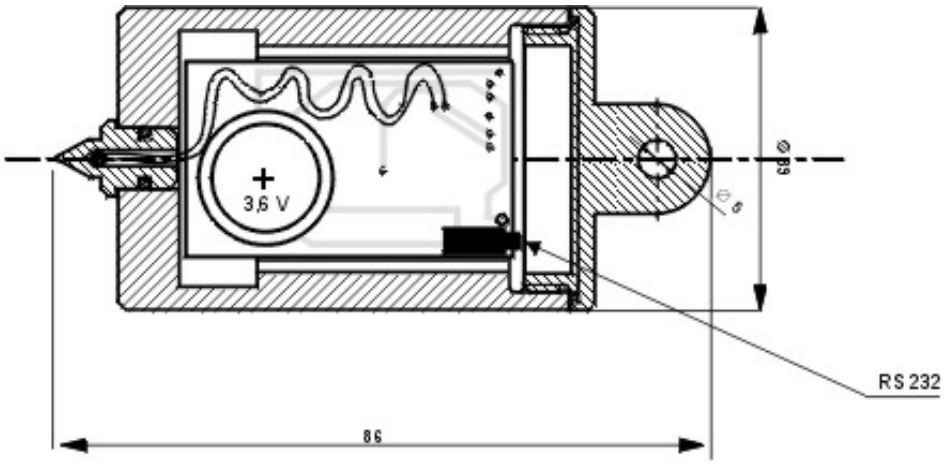

Fig. 20 – Esquema del data logger de temperatura UTL-1 (http://www.utl.ch)

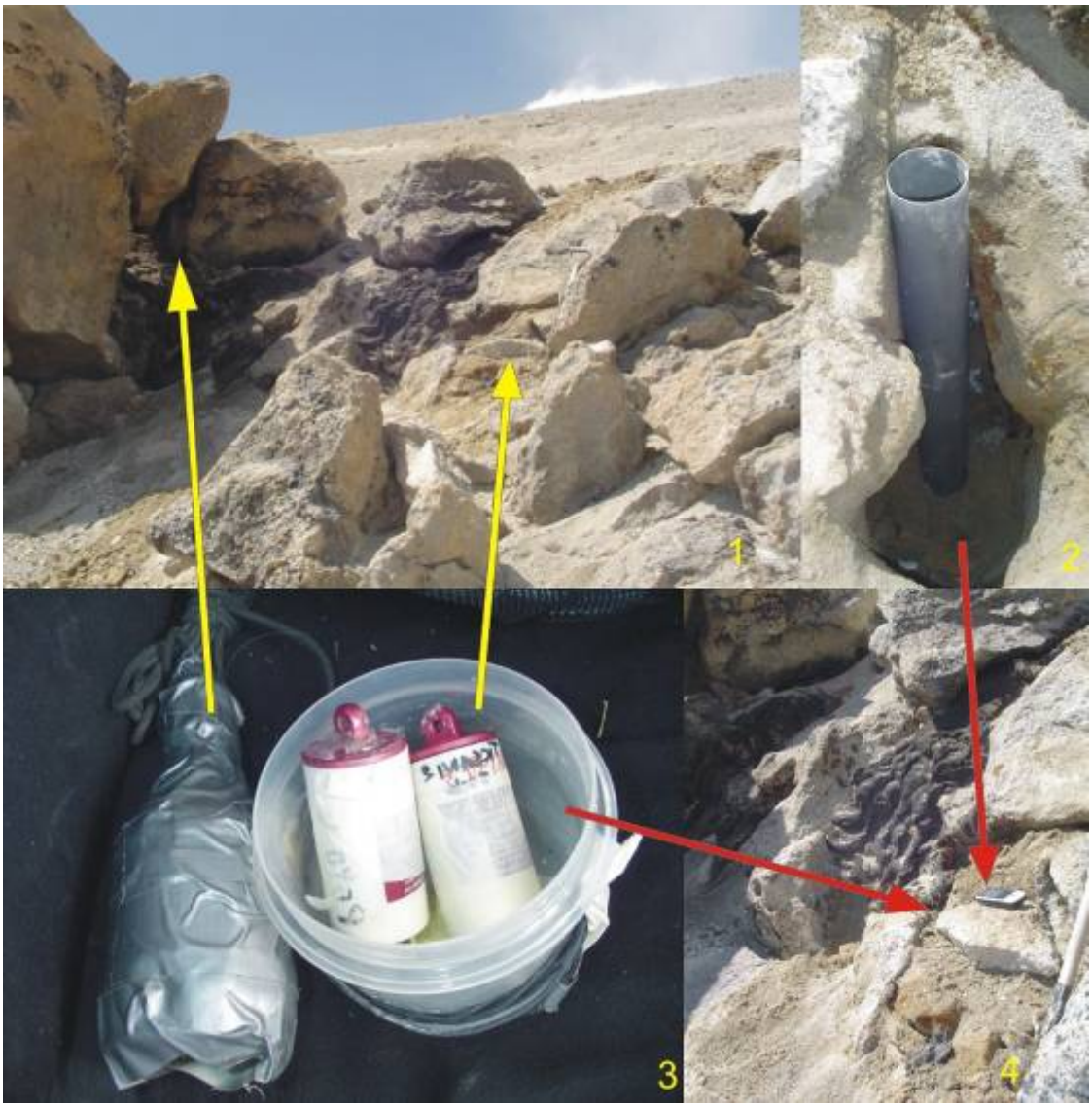

Fig. 21 – Fotos (1) Zona de emisiones de gases de la cumbre del volcán Ticsani, donde se encuentran los registradores térmicos, (2) instalación de la estación de monitoreo, (3) registradores térmicos, (4) Estación de monitoreo.

3 RESULTADOS

Los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos y análisis químicos durante el año 2007, son representados en la tablas 2 y 3.

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Sólidos totales disueltos, Salinidad, Caudal, Nivel) medidos durante el 2007 en las fuentes asociadas al volcán Ticsani.

Fuentes	Fecha	Temp. ºC	PH	Tº medicion pH	cond µS/cm	Tº medicion Cond.	TDS ppm	Tº medicion TDS	sal o/oo	caudal L/s	nivel m
Toro Bravo	18/06/2007	8.10	10.16		566		404				
Toro Bravo	02/10/2007	13.90	10.51		697		432		0.4		
Toro Bravo	11/10/2007	7.30	10.52		632		402		0.4		
Camaña	18/06/2007	5.40	10.17		646		512				
Camaña	02/10/2007	13.70	10.31		913		579		0.6		
Camaña	11/11/2007	11.10	10.24		912		625		0.6		6.1
Hierva Buena	19/06/2007	42.70	6.56		2565		948				
Hierva Buena	28/09/2007	42.70	6.55		2580		948			0.2239	
Hierva Buena	12/11/2007	42.70	6.47		2520		920			0.2778	
Putina P. A. 1	19/06/2007	90.50	8.52	(34.9º)	4600	(36.6º)	1894	(36.6º)			
Putina P. A. 1	28/09/2007	89.90	8.36	(44.9º)	8660		1810				
Putina P. A. 1	11/11/2007	91.30	8.68	(44.9º)	8400		1757				
Putina P. A. 2	19/06/2007	83.00	7.91	(35.6º)	3500	(35.6º)	1417	(35.6º)		0.1759	
Putina P. A. 2	28/09/2007	81.20	6.90	(60.9º)	6070		1651			0.1573	
Putina P. A. 2	11/11/2007	83.30	7.33	(55.0º)	6280		1352				
Putina 2	19/06/2007	91.30	8.12	(31.1º)	3711	(31.1º)	1695	(31.1º)			
Putina 2	15/07/2007	87.00	8.72	(61.0º)	7700		1622				
Putina 2	29/09/2007	89.10	7.89	(59.8º)	7920		1651				
Putina 2	11/11/2007	91.60	8.19	(59.8º)	7780		1598				
Ticsani 1	20/06/2007	24.20	8.02		714		353				
Ticsani 1	30/09/2007	24.80	8.23		719		3.25		0.4		
Ticsani 1	12/11/2007	24.90	8.29		708		515		0.3		
Ticsani 2	20/06/2007	9.50	5.85		74.3		48.9				
Ticsani 2	30/09/2007	10.80	5.99		75.4		49.6		0.1		
Ticsani 2	12/11/2007	11.20	6.76		73.5		48.2				
Soquesane 1	21/06/2007	22.10	6.35		407		209				
Soquesane 1	01/10/2007	22.20	6.57		404		207		0.2		
Soquesane 1	11/11/2007	22.60	6.60		403		206		0.2		
Soquesane 2	21/06/2007	17.90	6.69		305		170.9				
Soquesane 2	01/10/2007	18.20	7.02		305		169.8		0.2		
Soquesane 2	11/11/2007	18.70	7.10		302		167.7		0.2	2.6667	
Rincon F. Termales	21/06/2007	31.60	6.06		774		331				
Rincon F. Termales	01/10/2007	31.70	6.30		773		331		0.3		
Rincon F. Termales	11/11/2007	32.50	6.21		765		325		0.3		
Secolaque	21/06/2007	70.00	6.75	(18.7º)	4760		1177				
Secolaque	29/09/2007	75.50	7.18	(63.6º)	4910		1162				
Secolaque	12/11/2007	76.00	7.19	(63.6º)	4770		1149				
Cuchumbaya 2	21/06/2007	48.00	6.21		5290		1828				
Cuchumbaya 2	01/10/2007	47.50			5200		1825				
Cuchumbaya 2	11/11/2007	46.20	6.26		4930		1716			~ 4.000	
Cuchumbaya 4	22/06/2007	24.40			1524		768				
Cuchumbaya 4	01/10/2007	48.80	6.36		305		169.8				
Cuchumbaya 4	11/11/2007	47.20	6.27		4890		1663				
Calacoa	15/07/2007		9.39	(35.5º)	4600	(35.5º)	1754	(35.5º)			
Pared río Putina	15/07/2007	95.00									

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos realizados a las aguas de las fuentes asociadas al volcán Ticsani, donde no se consideran algunos resultados como: Cu (< 0.005mg/L), Pb (< 0.01), Cd (< 0.005), Cr (<0.01), Be (< 0.005), Bi(< 0.02), Ag (< 0.01), Co (< 0.01), Mo (< 0.02), Ni (< 0.002), Sn (< 0.03), Tl (< 0.1), V (< 0.03) en todos los casos.

Fuentes	FECHA	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Al mg/L	Sr mg/L	Li mg/L	Ba mg/L	$CO_3^{=}$ mg/L	HCO_3^- mg/L	Cl^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	NO_3^- mg/L	Zn mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L
Toro Bravo	18/06/2007	15.81	10.88	127.69	52.22	<0.03	0.178	<0.01	<0.01	64	285	26	117	<0.1	0.008	<0.02	0.05	<0.005
Camaña	18/06/2007	19.35	2.20	156.42	97.80	0.08	0.153	<0.01	0.01	98	407	55	26	0.7	0.039	<0.02	0.23	0.009
Hierva Buena	19/06/2007	190.70	29.58	172.70	13.70	<0.03	1.310	0.51	<0.01	<1	229	145	602	<0.1	0.009	0.56	0.34	0.238
Putina P. A. 1	19/06/2007	27.04	2.01	622.95	60.82	0.18	1.469	4.18	0.09	3	78	804	434	<0.1	0.011	3.74	4.98	0.007
Putina P. A. 2	19/06/2007	72.15	6.13	443.20	38.07	<0.03	1.461	2.60	0.07	<1	261	502	342	<0.1	0.012	2.43	0.08	0.252
Putina 2	19/06/2007	71.28	7.26	524.18	52.56	<0.03	1.636	3.21	0.09	<1	182	690	388	<0.1	0.007	3.20	0.03	0.230
Ticsani 1	20/06/2007	36.46	22.12	70.79	12.96	<0.03	0.200	0.12	<0.01	<1	136	1	219	0.1	0.008	0.02	0.02	<0.005
ticsani 2	20/06/2007	7.72	3.16	7.22	2.17	<0.03	0.048	<0.01	0.01	<1	32	1	18	0.3	0.013	<0.02	<0.01	<0.005
Soquesane 1	21/06/2007	17.68	11.23	51.31	6.66	<0.03	0.121	0.14	<0.01	<1	126	16	75	0.2	0.012	0.06	0.03	<0.005
Soquesane 2	21/06/2007	13.49	8.43	43.23	5.55	<0.03	0.092	0.10	0.02	<1	98	14	62	0.1	0.008	0.06	0.01	<0.005
Rincon F. Termales	21/06/2007	28.40	17.26	79.34	14.46	<0.03	0.182	0.14	0.01	<1	203	17	126	<0.1	0.008	0.02	0.02	<0.005
Secolaque	21/06/2007	101.73	5.48	336.42	38.10	0.46	1.171	2.07	0.08	<1	255	511	155	<0.1	0.007	2.48	1.57	0.721
Cuchumbaya 2	21/06/2007	118.92	21.31	581.98	48.73	0.05	1.896	3.57	0.04	<1	328	711	473	<0.1	0.008	2.55	0.63	0.266

4 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos de la medicion de los parámetros fisicoquimicos (ver tabla 2) se pudo observar variaciones en la temperatura como es el caso de las fuentes Hierba Buena, Ticsani 1, Soquesane 2 y Soquesane la variación es de 0° a 0,8°C, mientras que, en las fuentes Putina P. A. 2 y 1, Ticsani 2, Cuchumbaya 2 y Rincón F. Termales la variación es de 1,1° a 1.9°C, también las lagunas Toro bravo y camaña mostraron variaciones de temperaturas de 6.6°C en Toro Bravo y 7.7°C en Camaña. En el mes de junio, en la fuente Secolaque, se registró una temperatura de 70°C, ascendó hasta 75.5°C en septiembre y 76,0°C en noviembre. Sin embargo, en la mayoría de los casos las variaciones en la temperatura fueron mínimas con tendencias a la estabilidad. En la Fuente Hierba Buena que al parecer tiene una temperatura que no presenta variaciones. De igual manera se puede apreciar en la Tabla 2 que los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (TDS) no presentan cambios significativos.

En la figura 21 se puede observar la formación de grupos, como el de baja temperatura y pH alcalino conformado por las lagunas Camaña y Toro Bravo. Otro grupo de alta temperatura y pH ligeramente alcalino está conformada por las fuentes del río Putina, las fuentes de Cuchumbaya y Hierba Buena forman un grupo de temperatura entre los 40° a 50°C y pH ligeramente ácido; el Rincón de las Fuentes Termales presenta una temperatura mayor a 30°C y pH ligeramente acido, el resto de las fuentes tienen una temperatura entre 10° y 22°C con pH de neutro a ligeramente ácidas a excepción de las aguas del Ticsani 1 que son ligeramente básicas.

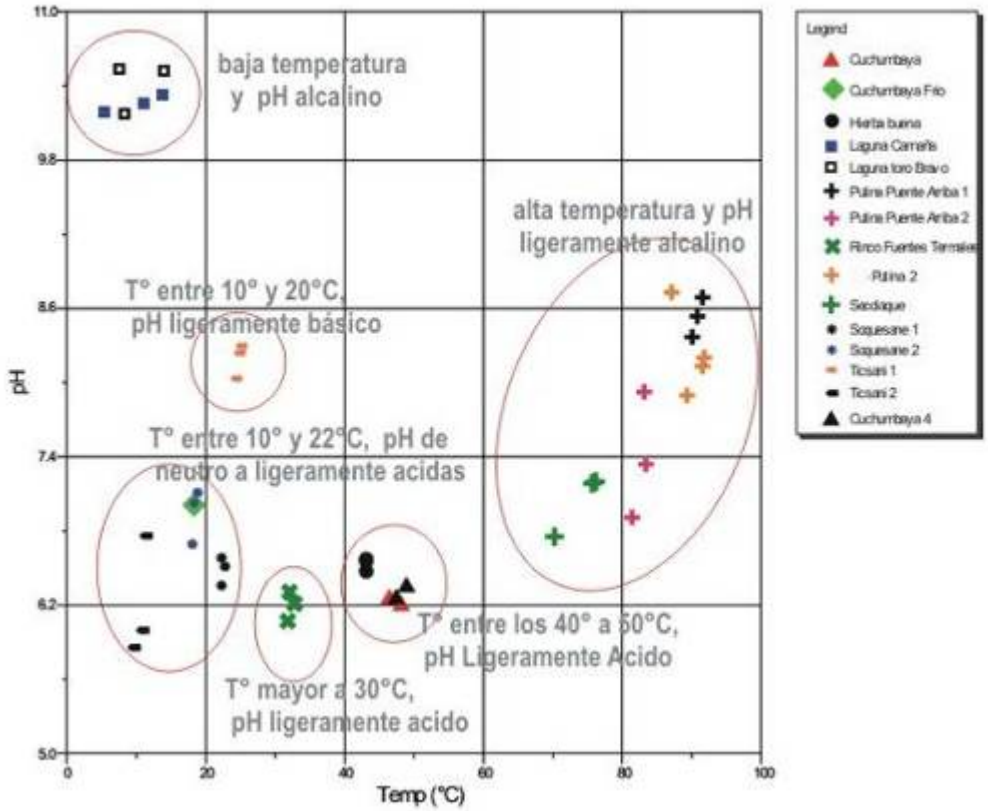

Fig. 21 – Grafica del pH con la temperatura.

En la temperatura de la fuente Putina 2 (Fig. 22), en 1999 se registro 89,0°C, en el 2005 94,5ºC al comparar estos datos con los obtenidos durante el 2006 y 2007. Se puede apresiar que en este ultimo periodo el índice fluctuación estuvo entre 87,0 y 92.0°C, por lo cual la elevada temperatura registrada en el 2005 de 94,5ºC, posiblemente esté asociada a la crisis sísmica de ese año (Rivera et al., 2006).

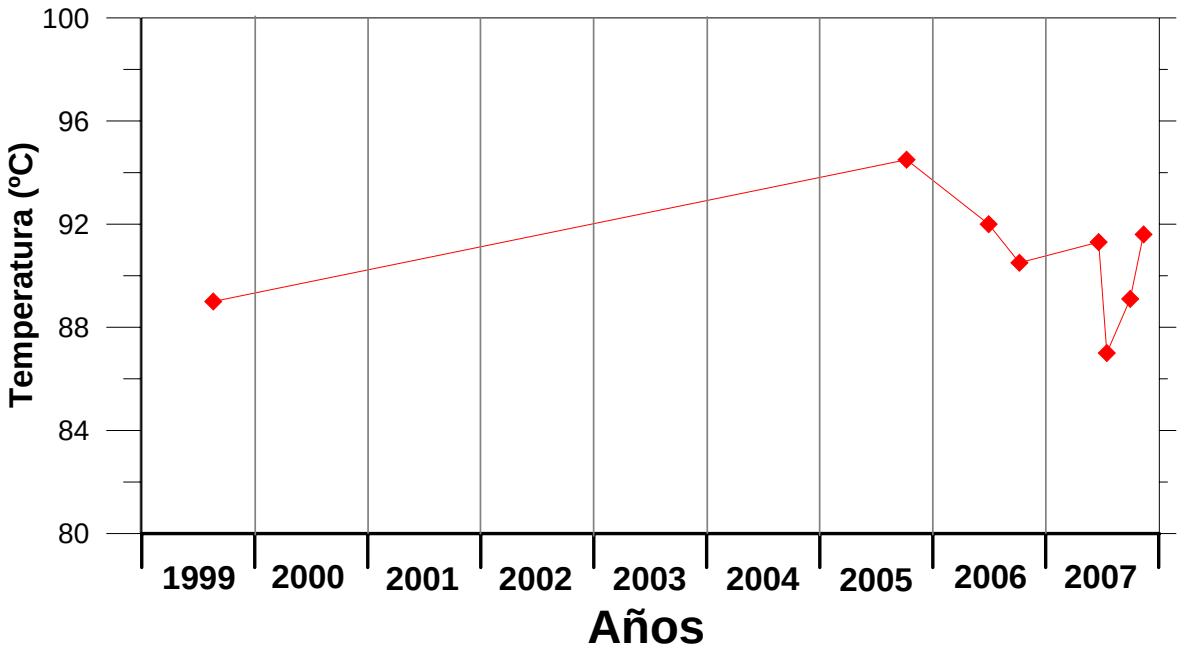

Fig. 22 - Grafica de la temperatura registrada en la fuente Putina 2 entre los años 1999 y 2007.

La fuente termal Cuchumbaya 4, a mediados de 2007 presento un descenso en la temperatura de 50,1ºC en el 2006 a 24,4ºC en junio del 2007, posteriormente se incremento a 48,8ºC en octubre y 47,2 ºC en noviembre, esto fue producto de una dilución con agua proveniente del río, la que es evidente al observar los parámetros de conductividad eléctrica (Λº) y los sólidos totales disueltos (TDS) con variaciones, en junio Λº = 1524 µS/cm y TDS = 768 ppm, disminuyendo estos valores en octubre a Λº =305 µS/cm y TDS = 169 ppm, aumentando notablemente en el mes de noviembre a Λº = 4890 µS/cm y TDS = 1663 ppm, pero se descarta la relación entre estas variaciones la actividad volcánica del Ticsani por tratarse de un hecho aislado.

Durante el periodo de vigilancia continua de la temperatura en la fuente termal Hierva Buena se observo anomalías ligeras entre los 42.25 y 39.20 ºC (Fig. 23), La temperatura promedio para este periodo del 2007 es de 42,077ºC. La variación más notable se observo entre el 21 y 27 de julio llegando a descender a 39,055, retornando como en todos los casos a la temperatura promedio. Durante el periodo de junio a noviembre del 2007 se noto un rango de fluctuación entre 42,238ºC y 39,149ºC.

La vigilancia de la temperatura de las fumarolas se realizo utilizando 2 registradores de temperatura (Fig. 24), el promedio de la temperatura ambiental fue de -0.9ºC y la fluctuación estuvo entre 10,59ºC y -10,58ºC, siendo el día más calido el 14 de diciembre del 2006 y la noche más fría el 21 de mayo del 2007. La temperatura promedio registrada por el sensor del suelo fue de 16,22ºC y la fluctuación estuvo entre 18,19ºC y 12,60ºC, siendo la temperatura máxima

registrada en varias ocasiones entre el 22 y 26 de abril del 2007 y la mínima ocurrió en una anomalía de descenso el 26 de octubre del 2006.
En el mes de febrero del 2007 la temperatura del ambiente descendió, probablemente asociado a la acumulación de nieve, que se presenta durante esa temporada, mientras que la temperatura registrada en las fumarolas no sigue esta tendencia. Entre finales de abril y fines de mayo se registro un descenso de la temperatura en ambos registradores, lo que pudo ser producto del cambio de la estación climática afectando ambos sensores, durante el periodo de octubre del 2006 a junio del 2007,

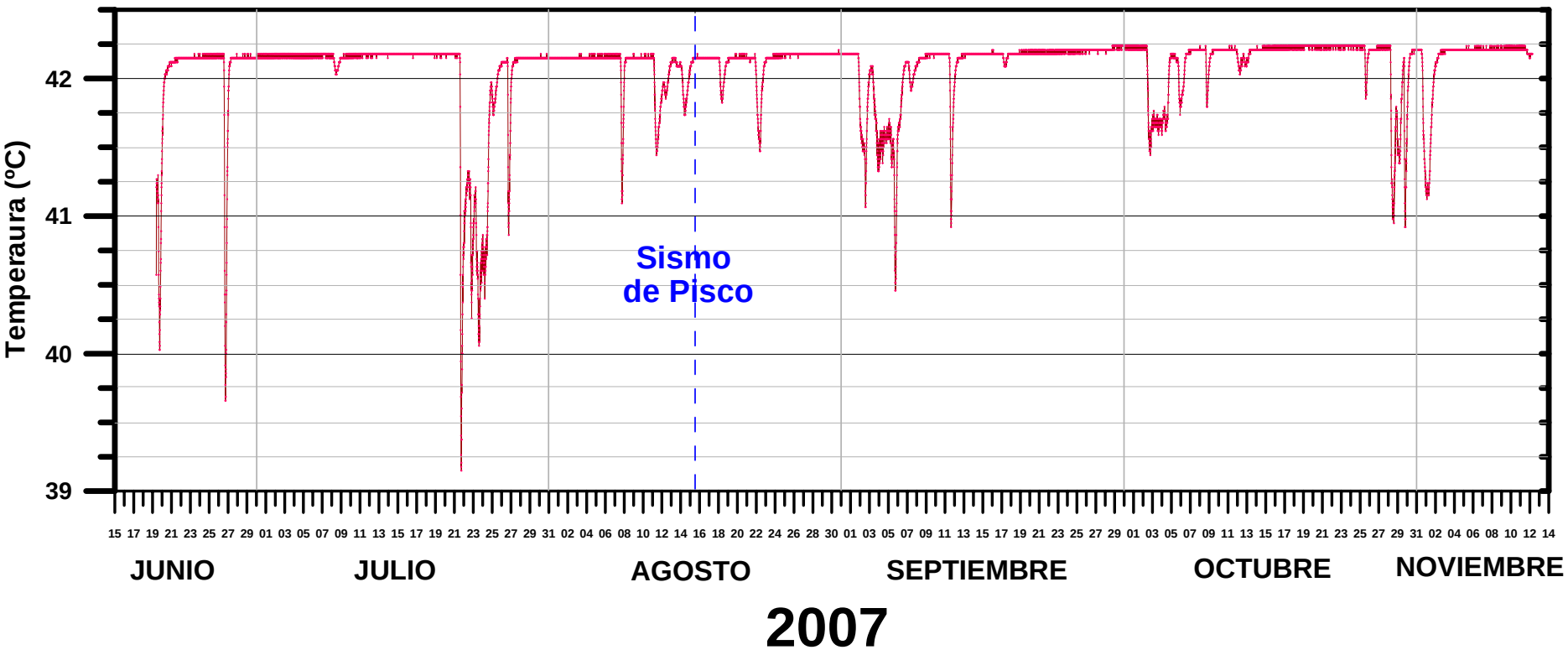

Fig. 23 Variación de la temperatura con respecto con el tiempo en la fuente Hierba buena en quebrada Quelajahuira realizada con los datos de la temperatura se registro cada 15 minutos durante los meses de junio a noviembre del 2007.

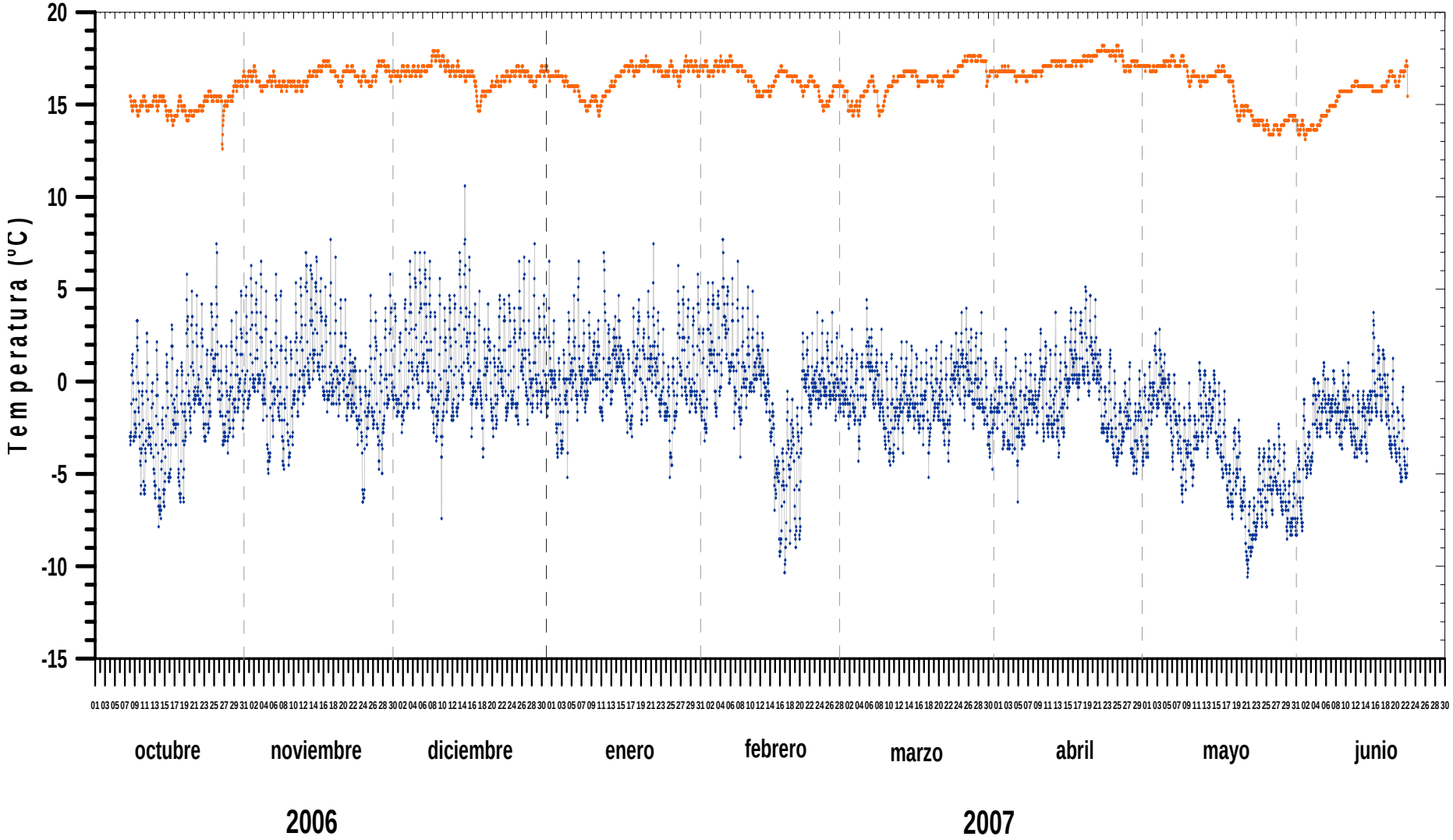

Fig. 24 Grafico de la temperatura registrada cada 1 hora con 12 minutos en la cumbre del volcán ticsani, para el aire (Azul) para el suelo (Naranja)

Con los resultados de los análisis químicos se pudo ampliar la caracterización geoquímica de las aguas, utilizando datos de 13 fuentes termales.
En la grafica de Giggenbach (1988) (Fig. 25) Se puede apreciar un grupo de aguas con un posible origen de mezclas de aguas Cloruro Sulfatadas (condensados volcánicos) formado por las fuentes: Putina Puente Arriba, Putina 2, Putina Puente Arriba 2, Cuchumbaya y más diluida en Secolaque. Dentro del mismo grupo pero más cercano a las aguas calentadas por vapor tenemos la fuente de Hierba Buena, otro grupo es el de aguas calentadas por vapor y/o vapor condensado tenemos las fuentes: Ticsani 1, Soquesane 1 y 2, Rincón de las fuentes termales Ticsani 2, Laguna Toro Bravo y Camaña.

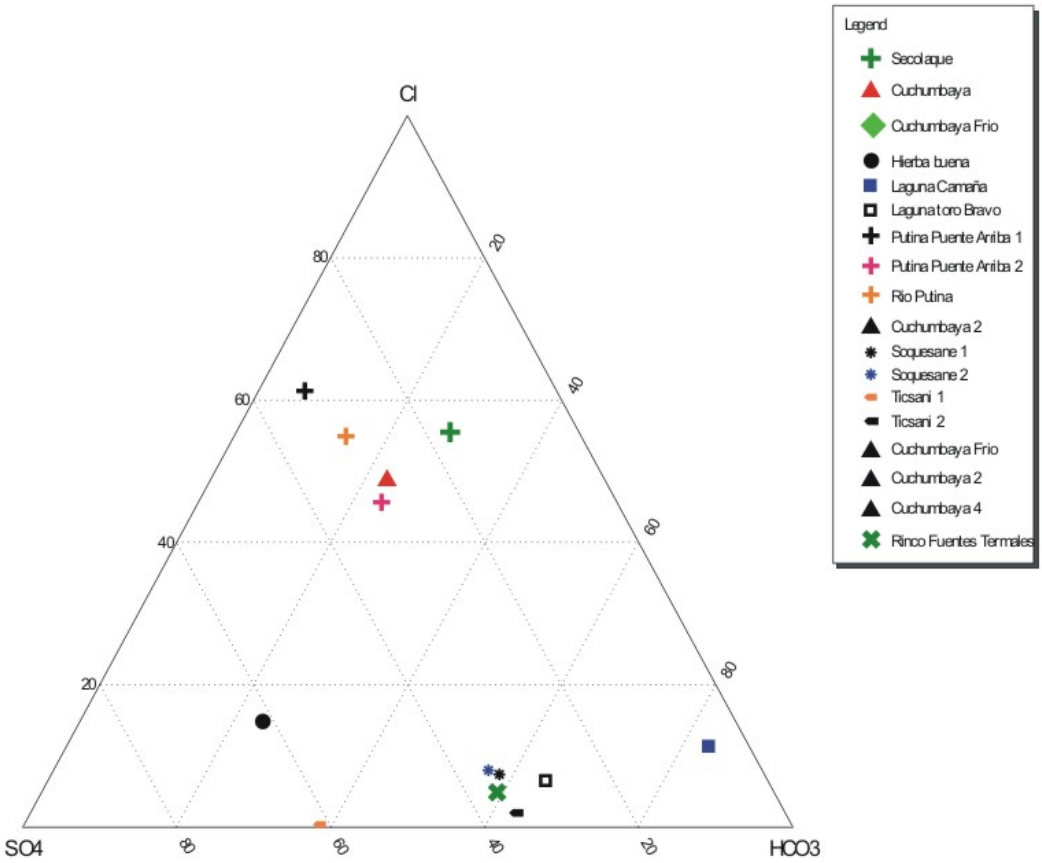

Fig. 25 - Diagrama ternario Cl-SO4-HCO3 de Giggenbach (1988).

Además se realizo la grafica Pipper Hill Langgelier (Fig. 26) donde se puede apreciar 4 tipos de aguas, dentro del grupo de aguas Bicarbonatadas alcalinas terreas tenemos solo la fuente Ticsani 2 (10,8ºC), en las Sulfatadas y/o alcalinas terreas se encuentran las fuentes Hierba Buena (42.2ºC) y Ticsani 1 (24.6ºC), en el grupo de las aguas Cloruradas y/o sulfatadas alcalinas terreas tenemos las fuentes Secolaque (73.8ºC), Cuchumbaya 2 (47.6ºC), Putina puente arriba 2 (82.5ºC) y 1 (90.6ºC). Además existe un grupo que se encuentra en el límite con el grupo de las Bicarbonatadas alcalinas conformado por las fuentes Secolaque 1 (22,3ºC) y Secolaque 2 (18,6ºC) y el Rincón de las Fuentes Termales (31,9ºC). En el grupo de las bicarbonatadas alcalinas se encuentran las lagunas de aguas frías Toro Bravo y Camaña.

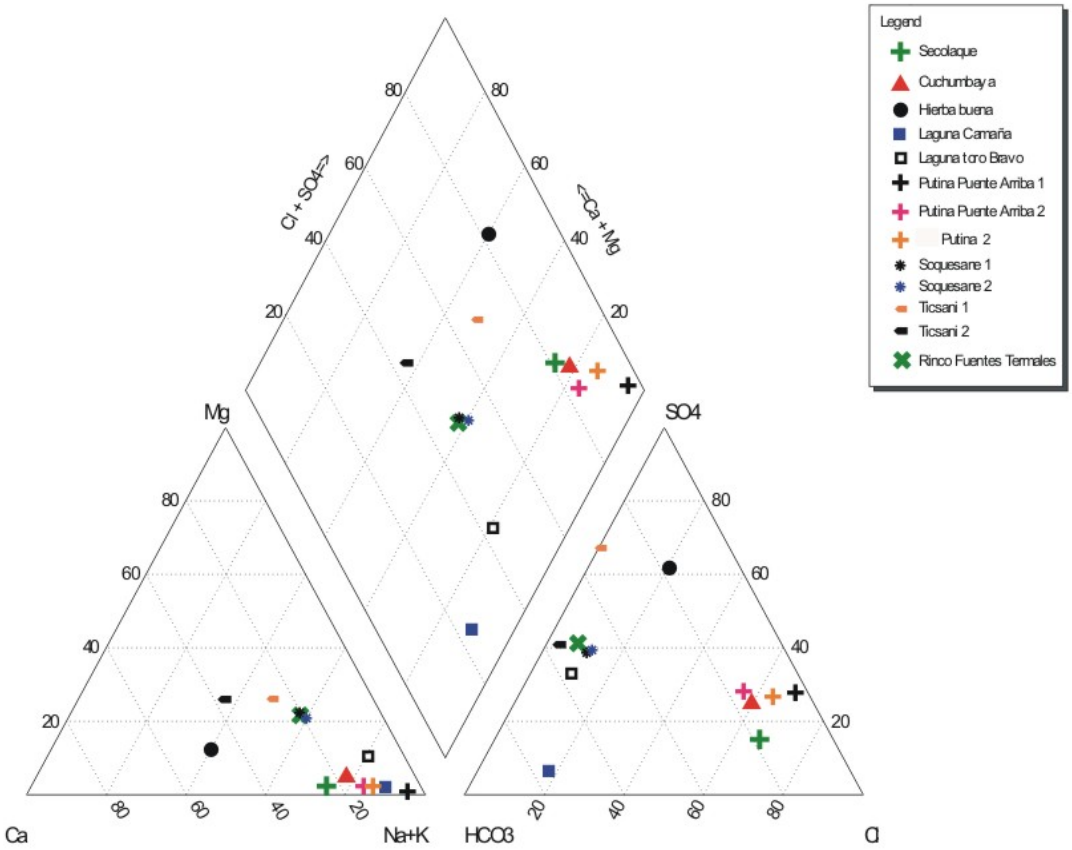

Fig. 26 - Grafica de Pipper - Hill - Langgelier.

El Diagrama del geotermómetro Na-K-Mg de Giggenbach (1988) (Fig. 27) nos permite realizar una evaluación preliminar de correlación termodinámica y cinética, donde se puede ver la formación de 3 grupos, uno formado por las lagunas Camaña y Toro Bravo las que se ubican en la zona del a grafica correspondiente a aguas superficiales, otro grupo que se encuentra muy cercano a la esquina del Mg, formado por las fuentes Hierba Buena, Soquesane 1, Soquesane 2, Ticsani1, ticsani 2 y el Rincón de las Fuentes Termales, que corresponde a la zona de aguas diluidas con aguas superficiales y podrían tener una temperatura en el reservorio menor a los 100ºC, el tercer grupo conformado por las fuentes Putina Puente Arriba 1, Putina Puente Arriba 2, Putina 2, Secolaque y Cuchumbaya que se encuentra cerca a la zona de equilibrio, pudiendo tener una temperatura en el reservorio de 160ºC.

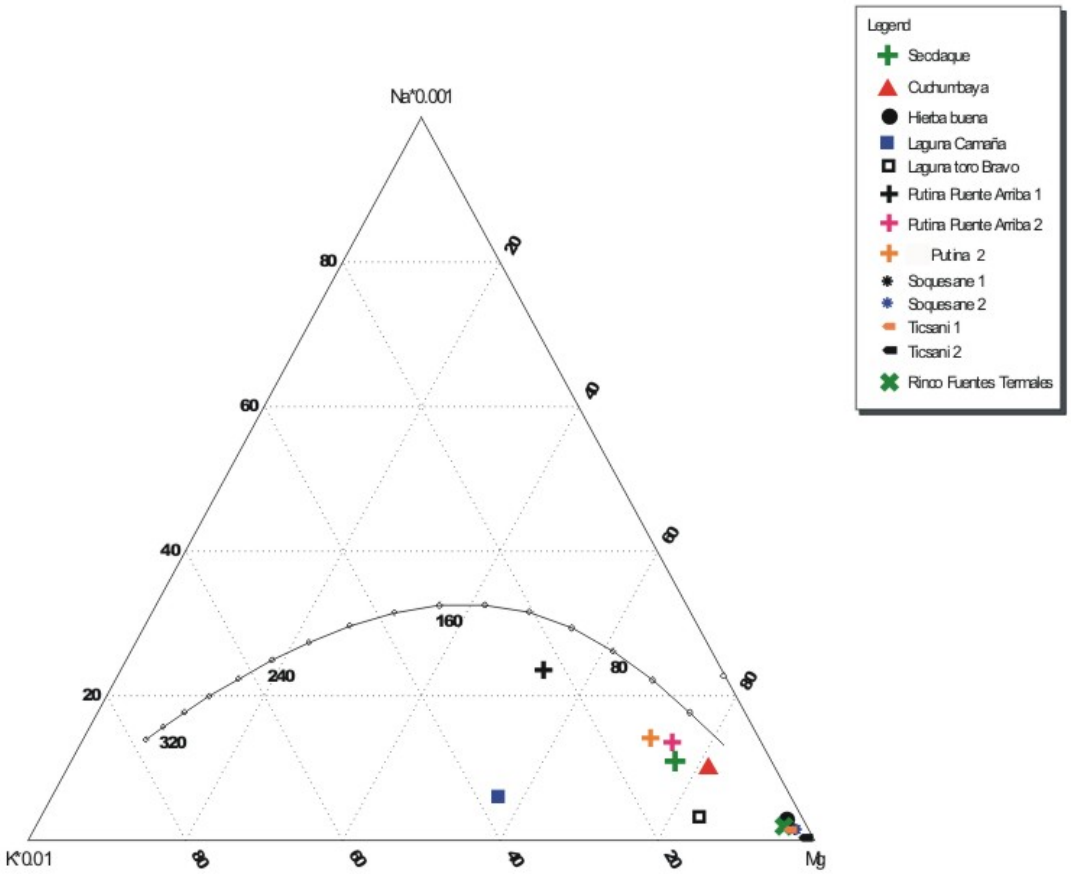

Fig. 27 – Diagrama del geotermómetro Na-K-Mg de Giggenbach (1988).

5 CONCLUSIÓNES

De los estudios geoquímicos de las fuentes termales y fumarolas del volcán Ticsani durante el periodo 2007 se han obtenido las siguientes conclusiones:

El monitoreo de las fuentes termales y frías del volcán Ticsani nos muestra que las aguas mantienen un origen volcánico, observando que existen 4 tipos aguas, donde las fuentes de mayor temperatura pertenecen al tipo de las Cloruradas y/o sulfatadas alcalinas terreas posiblemente asociado con condensados volcánicos, mientras que el resto de fuentes tiene un posible origen calentado por vapor o vapor condensado. Estos resultados validan la vigilancia y amplia trabajos anteriormente realizados.

Las temperatura en las fumarolas no presentan variaciones significativas y se ve que los sensores o las emisiones pudieron ser afectados por los cambios climáticos, se espera eliminar interferentes con la instalación de la estación térmica en la zona de monitoreo. Los datos tomados en este periodo permitirán realizar futuras comparaciones, sirviendo como línea base del monitoreo.

Las variaciones en los parámetros temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Sólidos totales disueltos y salinidad, durante el periodo 2007 se encuentran dentro de los valores de fluctuación, lo que es evidenciado en la comparación con las medidas tomadas los años 1999 y 2006, y se pone en manifiesto las anomalías ocurridas durante la crisis sísmica de Calacoa (2005).

6 RECOMENDACIONES

Se debe optimizar el sistema de monitoreo, construyendo estaciones geoquímicas, las que faciliten la toma de muestras evitando la contaminación involuntaria del agua por los pobladores
.
Implementar un sistema de vigilancia instalando equipos que registren datos como la temperatura, pH, Conductividad, concentración de Cl entre otros, y en un futuro trabajar con un sistema telemétrico obteniendo estos datos en tiempo real.

Es necesario realizar trabajos de análisis de los gases de las fumarolas así como de gases en aguas y CO_2 en el suelo, conjuntamente con análisis isotópicos para ampliar los conocimientos sobre las características de estos fluidos geotermáles del volcán Ticsani.

7 REFERENCIAS

Cruz V., (2006).- Caracterización geoquímica de las fuentes termales alrededor del volcán Ticsani (Moquegua). XIII Congreso peruano de geología. Resúmenes extendidos, Sociedad Geológica del Perú. P. 661-664.

Cruz V., Masías P., (2007).- Anomalías térmicas en fuentes de aguas termales en relación con el terremoto del 15 de agosto (Pisco), Póster, 8vo. Congreso Nacional y 1ero. Internacional de Geografía Carlos Nicholson, Arequipa.

De Silva, S. L., and Francis, P., (1991).- Volcanoes of the Central Andes. Springer – Verlag, 215 p.

Fidel L., Morche, W., Núñez, S., (1997).- Inventario de volcanes del Perú. Álbum de mapas de riesgos volcánicos de las principales ciudades del suroeste del Perú. Bol. de INGEMMET 15, 91 p.

Giggenbach, W.F. (1988).- Geothermal solute equilibria: derivation of Na–K–Ca–Mg geoindicators. Geochim. Cosmochim. Acta 52. p. 2749–2765.

Mariño, J., (2002).- Estudios gemológicos vulcanológicos y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú), Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.160p.

Mariño J., Thouret J.C. (2003).- Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú), Boletín del la sociedad geológica de Perú. Volumen 95, p. 7 – 31

Rivera M., Tavera H., Aguilar V., Medina J., Lazares F., (2006).- Crisis sísmica de Calacoa (Moquegua) Octubre, 2005. INGEMMET, IGP, PREDES, IGUNSA, CISMID. Informe multi-institucional. 96 p.

Úbeda, J., (2007).- Caracterización Geomorfológica del sector septentrional de la Zona Volcánica Central de los Andes Centrales. Planteamiento de un caso de estudio: el sistema glaciar del complejo volcánico Nevado Coropuna. Trabajo de investigación para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 312 p.

Páginas web:

http://www.onsetcomp.com
http://www.utl.ch/index_espanol.htm