



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

**VIGILANCIA GEOQUÍMICA DE AGUAS Y FUMAROLAS DEL  
VOLCÁN MISTI (AREQUIPA), PERIODO 2007**



**POR:**

**Lic. PABLO MASIAS ÁLVAREZ**

**Arequipa, Diciembre, 2007**

## RESUMEN

El Misti, el volcán mas peligroso del Perú, debido a las casi un millón de personas que habitan la ciudad de Arequipa, cuya plaza de armas se encuentra a escasos 18 km del cráter, hacen que sea muy importante realizar el monitoreo de de este volcán.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET inicia el monitoreo del volcán Misti en septiembre del 2005 en la fuente termal Charcani V, posteriormente amplia este monitoreo a un total de 10 fuentes termales con temperaturas entre 14 a 37 °C.

Los resultados del monitoreo en las fuentes termales ubicadas alrededor del volcán Misti presentaron variaciones mínimas tanto en composición química como en los parámetros medidos en el campo. Las variaciones más importantes se observó en la fuente Charcani V, donde el registro de la temperatura se realizó cada 15 minutos, encontrándose descensos de temperatura, siendo el más notable el ocurrido el 15 de agosto del 2007, que podría estar asociado con el terremoto de Pisco (Mw=7.9).

Mientras que la temperatura de las fumarolas se midió en 3 lugares del cráter a fin de obtener información de la zona óptima de monitoreo de éstas, encontrándose resultados similares en estos lugares; así, se optó por la zona mas accesible en el borde del cráter. Los resultados muestran temperaturas menores a 50 °C, los cuales resultan ser óptimas para los registradores que se usaron.

## ÍNDICE

<b>1. CONSIDERACIONES GENERALES INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.    Introducción	1
1.2.    Localización	2
1.3.    Contexto Geologico	2
<b>2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS</b>	<b>3</b>
2.1    Ubicación de los fuentes de monitoreo	3
2.2    Ubicación de las fumarolas en el cráter del volcán	5
2.3    Métodos de muestreo	7
2.4    Medición permanente de la temperatura	9
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>13</b>
<b>4. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	<b>20</b>
<b>7. REFERENCIAS</b>	<b>21</b>

## **1. CONSIDERACIONES GENERALES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Arequipa la segunda ciudad más importante del Perú, que cuenta con una población de aproximadamente de un millón de habitantes. Al Noreste (NE) de la ciudad se encuentra localizado el volcán Misti (8196371.7 S, 243543.3 E, 5822 msnm). Es un estrato volcán cuyo cráter está ubicado a solo 18 Km. del centro de la ciudad, es considerado como potencialmente peligroso, dada la gran explosividad de sus erupciones pasadas y por que la población arequipeña no cuenta con un plan de emergencia ante una eventual crisis volcánica lo que hace a esta ciudad vulnerable ante el peligro volcánico.

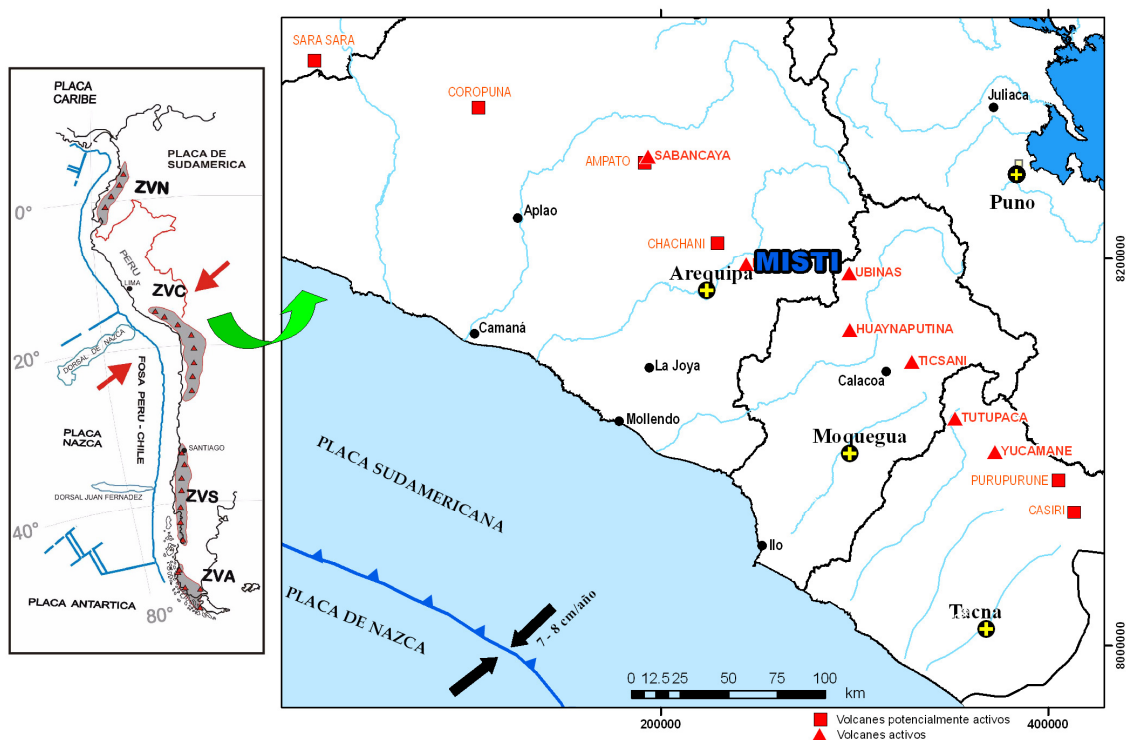
A fines del año 2005 el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, realiza el monitoreo del volcán Misti a través de un muestreo sistemático de la fuente termal Charcani V Tales muestras son sometidas a análisis químicos, también se midió pH y temperatura, las cuales permiten interpretar en forma determinada los eventuales cambios en la composición de los fluidos volcánicos y, por lo tanto, efectuar evaluaciones más sustentables sobre las condiciones pre-eruptivas del volcán Misti.

En el año 2006 hemos realizado la caracterización geoquímica de las fuentes termales alrededor del volcán Misti en un radio de 30 km , con el objetivo de ampliar y mejorar el monitoreo. También se ha instalado sensores térmicos para monitorear la temperatura en el cráter del volcán.

Durante el 2007 se continua con el monitoreo geoquímico incrementando nuevos puntos de monitoreo de la temperatura en el cráter del volcán, la instalación de equipos modernos para el monitoreo de la temperatura del agua de la fuente Charcani V y el mejoramiento de equipos.

## 1.2 LOCALIZACIÓN

El volcán Misti (8196371.7 S, 243543.3 E, 5822msnm), (Fig. 1) es un estrato volcán, situado a sólo 17 km al Noreste del centro de la ciudad de Arequipa, con una diferencia de 3500 m de desnivel que existe entre la cumbre del volcán (5822msnm) y el centro de la ciudad (2300 msnm). El cono volcánico tiene un diámetro aproximado de 17,5 Km en la Zona Volcánica del Central ZVC (De Silva et al, 1991). Los productos más antiguos tienen una edad de 830 000 años (Thouret et al., 2001).



**Fig.1 – En el mapa se puede apreciar las tres zonas volcánicas de Sudamérica, con mayor detalle la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC) y la ubicación del volcán Misti (Cacya L., 2006).**

## 1.3 CONTEXTO GEOLOGICO

El Misti comprende dos edificios: un estrato volcán "antiguo" erosionado al Oeste (O) (Pleistoceno medio) también llamado Misti 1; un flujo de lava de la base del Misti fue datado en 833 Ka. y un estrato-cono "moderno" al Este (E) y Sureste (SE) que se eleva hasta los 5800 m. (Thouret, 1999; Thouret et al., 2001). El estrato-cono moderno se ha formado al lado, y se ha superpuesto en parte, al estrato volcán "antiguo" al Oeste y Noroeste (NO) y se formó en aproximadamente 112 Ka, en etapas llamadas Misti 2, Misti 3 y Misti 4. Ambos edificios se han formado al menos sobre cinco ignimbritas riolíticas soldadas y no soldadas, que reciben el nombre de "sillares" (Pre Misti) Los cuales observados en la quebrada del río Chili alcanzando

más de 300 m de espesor y pertenecen al Plioceno superior. (Thouret et al., 2001).

## 2. METODOLOGÍA

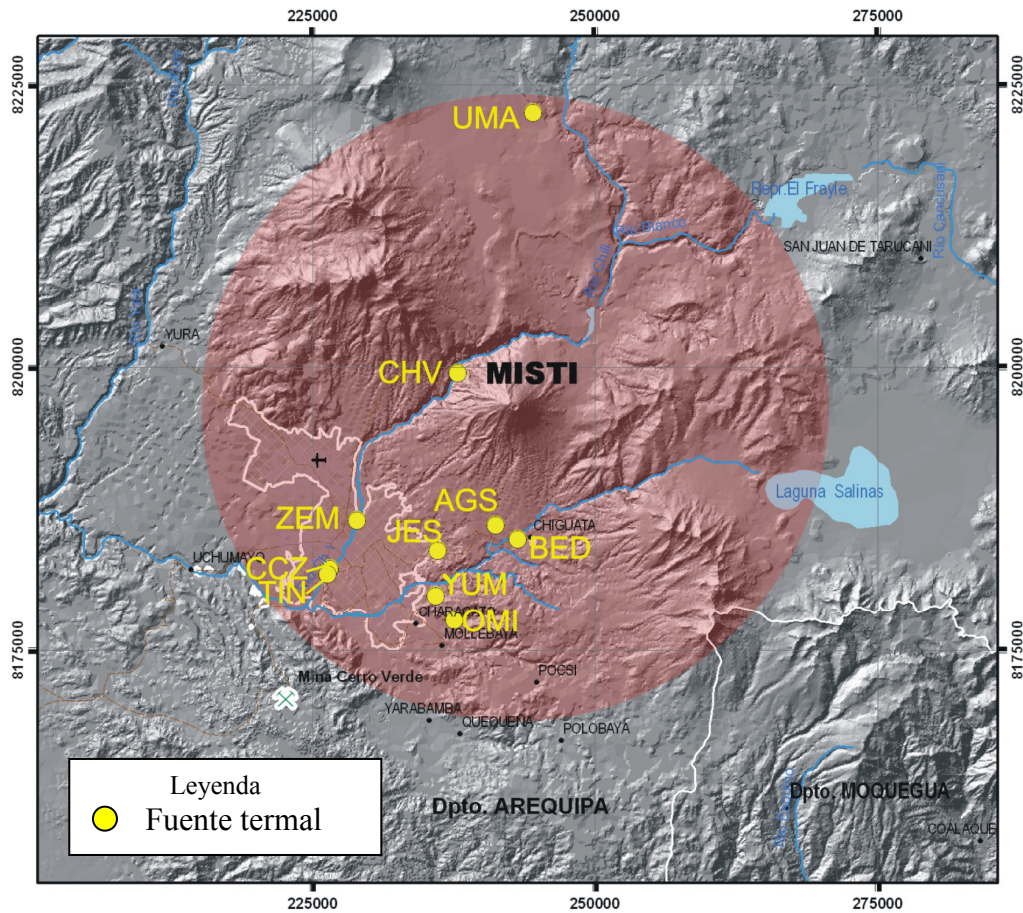
### 2.1 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE MONITOREO

Las fuentes de monitoreo del volcán Misti, se encuentran localizadas dentro de un radio de 30 km. (Tabla 1 y Fig. 2), la mayoría de estas se ubican entre el lado Sur y Sureste y son la Bedoya (15 °C), Agua Salada (17°C), Ojo del Milagro (18°C), Yumina (17°C), Jesús (24°C) esta fuente presenta burbujas, Zemanat (18°C), Calle Cuzco (17°C), Tingo (20°C), al Oeste se encuentra la fuente Charcani V (36.5°C) la mas caliente, al Norte se encuentra la fuente Umaluso (34.0°C) la que presenta burbujas.

Las fuentes termales alrededor del volcán Misti pertenecen a un sistema hidrotermal de baja temperatura, el agua es una mezcla de agua de origen volcánico con aguas superficiales, se puede distinguir 3 tipos de aguas Sulfato Clorurado alcalino terreo, Cloruro sulfato alcalino y Bicarbonatado alcalino terreo, este ultimo tipo contiene a las fuentes mas cercanas al edificio volcánico Charcani V y Agua Salada (Masías P., 2007).

**Tabla 1 - Lista de fuentes de agua monitoreadas.**

<b>Nº</b>	<b>Fuente Termal</b>	<b>Codigo</b>	<b>Longitud</b> (m)	<b>Latitud</b> (m)	<b>Altura</b> (msnm)
1	Charcani V	CHV	237881.7	8199470.9	2960
2	Zemanat	ZEM	228966	8186522	2340
3	Ojo Calle Cuzco	CCZ	226544	8182271	2245
4	Tingo	TIN	226382	8181802	2232
5	Ojo del Milagro	OMI	237617	8177638	2581
6	Yumina	YUM	235916	8179818	2569
7	Bedoya	BED	243201	8184836	2913
8	Agua Salada	AGS	241258	8186105	2896
9	Jesús	JES	236103.6	8183848.8	2640
10	Umaluso	UMA	244548	8222575	3950

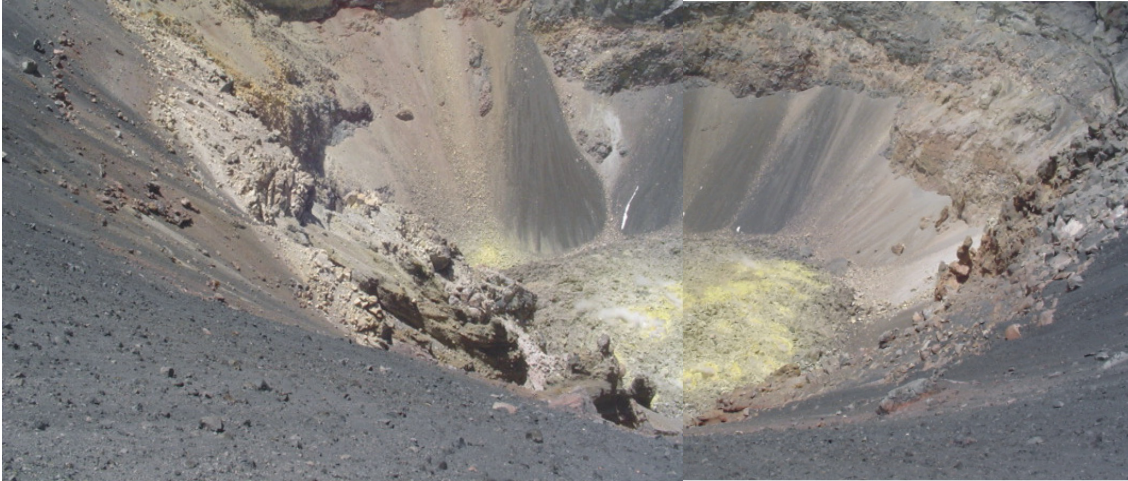


**Fig. 2 - Mapa de ubicación de las fuentes de agua monitoreadas.**

## 2.2 Ubicación de las fumarolas del cráter del volcán Misti

Las actividad fumarólica en el volcán Misti es eventualmente observada desde la ciudad de Arequipa (Macedo L., 1994), estas emisiones provenientes del cráter, son fumarolas permanentes que salen por los intersticios del domo (Ramos D., 2000) en el fondo del cráter, con un color blanco y un tono amarillento y olor sulfuroso (Fig. 3), también es posible otras muco as pequeñas en el borde del cráter (Fig. 4) y en la parte NE del exterior del cráter, con temperaturas máximas registradas de 45°C (noviembre 2007) y no presentan olor sulfuroso.





**Fig. 3 – Domo del cráter del volcán Misti, donde se observan las fumarolas.**



**Fig. 4 – Fumarolas entre el N y el E del borde superior del cráter.**

En el mes de agosto del 2006, en cooperación con VOLCAN-EXPLOR-ACTION VEA Francia se instalaron 3 sensores térmicos, 2 en el borde del cráter y un tercero en el exterior NE del cráter. La ubicación exacta de los sensores se encuentra en la tabla 2 y se puede apreciar en la imagen de la Fig. 5. Estos equipos fueron colocados en la salida de las fumarolas. En noviembre del 2007 con apoyo de la Universidad Complutense de Madrid se instalaron nuevamente 2 sensores térmicos en el punto de monitoreo Borde Cráter 1 de donde se recuperó la información de un sensor enterrado a 35 cm de profundidad, a 1 m de la fumarola y otro del aire muy cerca de la fumarola. La información obtenida fue del periodo de noviembre del 2006 a septiembre del 2007(Fig. 5).



Tabla 2 - Lista de sensores térmicos instalados en las fumarolas del volcán Misti.

Nº	Punto de monoitoreo	Codigo	Longitud (m)	Latitud (m)	Altura (msnm)
1	Borde Cráter 1	1	242952	8196735	5745
2	Borde Cráter 2	2	242968	8196718	5753
3	Fuera cráter 3	3	243296	8196521	5718

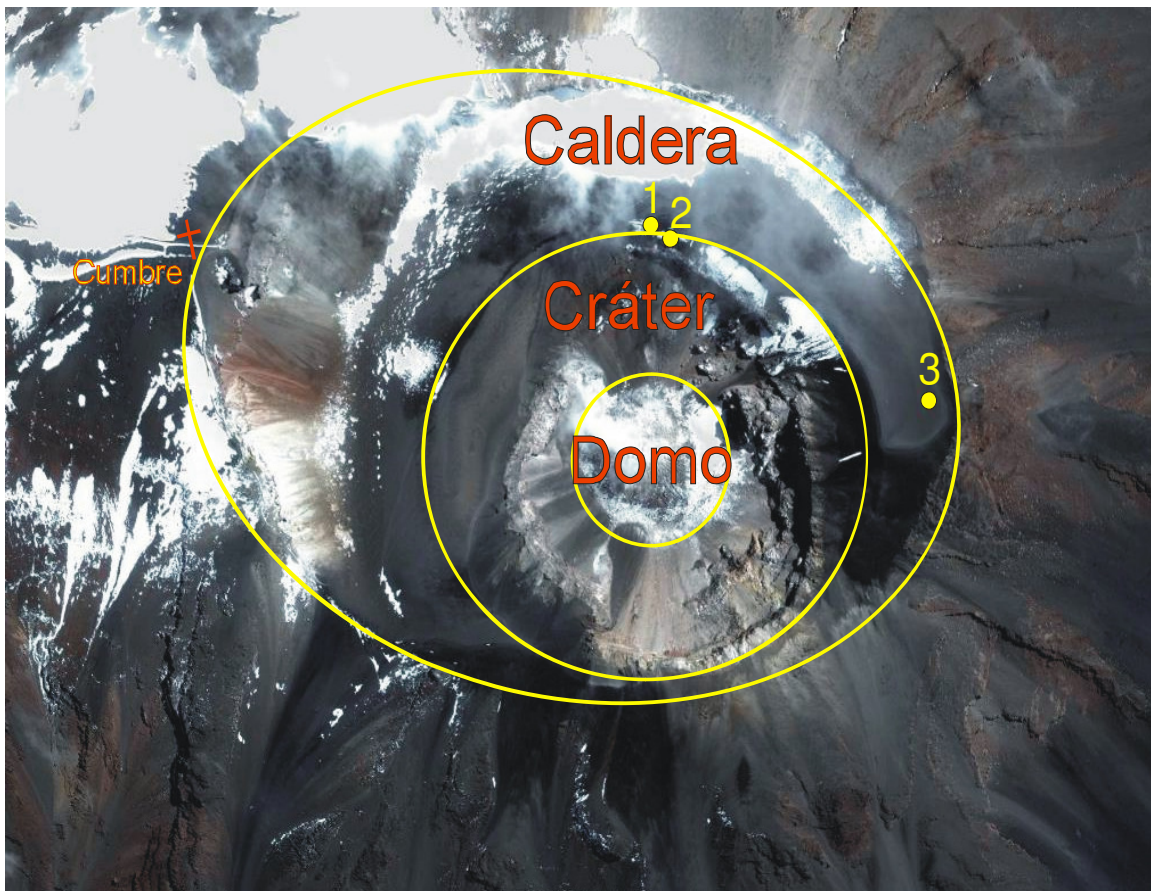


Fig. 5 – Ubicación de los puntos de monitoreo donde se ubican los sensores térmicos en las fumarolas del volcán Misti.

### 2.3 MÉTODOS DE MUESTREO

El muestreo de aguas, se realizó utilizando botellas de polietileno de un litro de capacidad, dependiendo de los análisis a realizar, Se colecto 2 muestras, para el análisis de metales disueltos, el cual fue filtrado y acidificado con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para dsminuir el pH de la muestra y destruir los componentes organicos presentes. (Fig. 6 A). Una segunda

muestra es tomada para analizar aniones, simplemente se colecta (no se filtra ni se adiciona ácido). Ambas 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 midieron los parámetros: temperatura, sólidos totales disueltos TDS, conductividad eléctrica, salinidad (Fig. 6 B), pH (Fig. 6 C y 6 D), y caudal del agua.



**Fig. 6 – (A) Muestreo fuente Jesús, (B) muestreo fuente Calle Cuzco, (C) muestreo fuente Charcani V, (D) muestreo fuente Zemanat, (E) muestreo fuente de Tingo.**



## 2.4 MONITOREO DE LAS FUENTES TERMALES

### - Temperatura en aguas termales

La medición continúa de la temperatura de agua se realizó utilizando los sensores térmicos de acero inoxidable 316L (data logger) HOBO U12 – 015 (Fig. 7), con termistor de cristal para lecturas de alta sensibilidad, diseñados para permanecer sumergidos en agua, con un rango de temperatura de  $-40^{\circ}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$  y una precisión de  $0.22^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . Estos equipos cuentan con una memoria de 64 K donde se almacenan hasta 43000 medidas de la temperatura (<http://www.onsetcomp.com>). Se instalaron en la fuente termal Charcani V, 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”.



Fig. 7 – Sensores térmicos HOBO U12 – 015 en la fuente Charcani V.

### - Monitoreo de la temperatura en fumarolas

La medición continua de la temperatura en las fumarolas del volcán Misti se realizaron con 2 tipos de sensores, Los LASCARE USB EL-USB-1 y los HOBO UTL-1.

Los sensores térmicos Registrador de Datos de Temperatura con Interfaz LASCAR USB EL-USB-1 (Fig. 8), con un rango de temperatura de  $-25^{\circ}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  y una resolución de  $0.5^{\circ}\text{C}$ , obtienen energía de una pila interna de litio (1/2AA 3.6v) recambiable. Estos equipos cuentan con una memoria para almacenar 16000 lecturas. Se instalan en la fumarola y al cabo de un periodo son recogidos para recuperar fácilmente la información acumulada en una computadora mediante la conexión USB y utilizando un software compatible con Windows 98, 2000 y XP (<http://www.lascarelectronics.com>).



**Fig. 8 – Sensores térmicos Registrador de Datos de Temperatura con Interfaz USB EL-USB- 1 en el punto de monitoreo borde del cráter 1.**



Los sensores fueron instalados en el mes de agosto del 2006, para registrar la temperatura por un periodo de 11 meses.

Para su protección del equipo se utilizó un vaso de vidrio con un corcho cerrado a presión y reforzado con cinta teflón, pero al recuperarlos, se encontraron con agua, pero se recuperó la información acumulada hasta los meses de abril (punto de monitoreo Borde del Cráter 1), mayo (punto de monitoreo Borde del Cráter 2), junio (punto de monitoreo Fuera del Cráter 3) del 2007 (Fig. 9).



**Fig. 9 – (A) Medición de la temperatura en el punto de monitoreo Borde del Cráter 1, (B) Sensor térmico recuperado en el punto de monitoreo Borde del Cráter 1, (C) Recuperado del sensor térmico en el punto de monitoreo Borde del Cráter 2, (D) Recuperado del sensor térmico en el punto de monitoreo Fuera del Cráter 3.**

Los sensores térmicos (data logger) HOBO UTL-1 (Universal Temperature Logger 1), dotado de un termistor TMC-1T, cubierta exterior de Delrin y tapa de aluminio, un rango de  $-29^{\circ}\text{C}$  a  $+39^{\circ}\text{C}$  y una precisión de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Estos equipos cuentan con una memoria donde se almacenan las medidas de la temperatura.

En la zona de emisiones de gases del borde del cráter 1 (ver Fig. 5) se instalaron 2 sensores UTL-1 (Fig. 10), uno de ellos en el suelo (Fig. 11) para medir la temperatura de las fumarolas y otro en una roca muy cercana a las fumarolas para medir la temperatura al salir al ambiente.

Estos equipos se instalaron en noviembre del 2007, reemplazando a los equipos Hobo que estuvieron instalados de noviembre del 2006 a septiembre del 2007 instalados originalmente por la Universidad Complutense de Madrid.



**Fig. 10 – Sensores térmicos (data logger) UTL-1 (Universal Temperature Logger 1).**



**Fig. 11 – Instalación del Sensores térmicos UTL-1 en el suelo junto a la fumarola a una profundidad de 35 cm.**



### 3. RESULTADOS

Los resultados del monitoreo se consignan en las siguientes tablas. La tabla 3 muestra Resultados de los parámetros físicos y fisicoquímicos (Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Sólidos totales disueltos, Salinidad, Caudal, Nivel) medidos durante el 2007 en las fuentes alrededor del volcán Misti.

**Tabla 3 - Resultados de las mediciones de campo en fuentes de agua alrededor del volcán Misti**

Fuentes	Fecha	Temp. °C	PH	Cond μS/cm	TDS ppm	sal o/oo
Charcani V	09/03/2007	37.10	6.23	1614	636	
Charcani V	18/07/2007	36.00	6.26	1608	637	
Charcani V	19/09/2007	37.10	6.08	1626	646	
Charcani V	09/11/2007	37.20	6.32	1163	457	
Charcani V	18/12/2007	37.20	6.33	1572	624	
Umaluso	06/01/2007	34.20	6.21	2700	1141	
Umaluso	06/07/2007	34.20	6.16	2690	1144	
Umaluso	19/09/2007	34.80	6.50	2720	1156	1.2
Jesús	17/05/2007	24.10	5.75	2880	1527	
Jesús	18/07/2007	23.90	5.75	2900	1536	1.6
Jesús	20/09/2007	24.10	5.63	2910	1525	1.6
Jesús	14/12/2007	24.20	5.78	2820	1487	1.5
Bedoya	09/03/2007	15.10	6.31	744	452	
Agua Salada	09/03/2007	18.10	6.43	1261	668	
Agua Salada	20/09/2007	17.80	6.58	686	397	0.4
Yumina	10/04/2007	17.10	6.40	514	298	
Yumina	18/12/2007	17.20	6.72	506	294	0.3
Tingo	20/09/2007	20.80	6.35	1016	550	0.6
Tingo	18/12/2007	21.00	6.55	991	536	0.5
Calle Cuzco	20/09/2007	16.70	6.71	572	335	0.3
Zemanat	20/09/2007	17.30	6.81	569	329	0.3
Ojo del Milagro	18/12/2007	19.10	6.91	465	265	0.3
Piscina 2 Sabandia	18/12/2007	18.30	6.70	682	384	0.4

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas durante el 2007 en las fuentes de agua alrededor del volcán Misti.

**Tabla 4 - Resultados de los análisis químicos de las aguas alrededor del volcán Misti**

Fuente	Fecha	Ca	Mg	Na	K	Sr	Li	Ba	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zn	As	Fe	Mn	Ni
Agua Salada	09/03/2007	69.16	36.75	41.39	9.85	0.639	0.03	0.05	10	371	22	48	1.0	0.007	<0.02	0.04	<0.005	0.002
La Bedoya	09/03/2007	32.65	16.73	106	18.20	0.348	0.09	0.04	<1	70	147	144	1.5	0.008	<0.02	0.02	<0.005	<0.002
Jesús	17/05/2007	106	47.29	397	42.44	1.929	1.57	0.02	<1	243	755	150	0.3	0.011	0.15	0.04	<0.005	0.003
Charcani V	01/06/2007	80.45	57.34	137	7.41	1.622	0.10	0.12	<1	673	20	75	<0.1	0.005	0.12	0.73	0.347	<0.002
Charcani V	19/09/2007									825.16	19.9	89.6						

Los resultados de algunos elementos se presentaron de las siguiente manera en todos los casos Ag (<0.01), Al (<0.03), Be (<0.005), Cd (<0.005), Co (<0.03), Cu (0.005), Mo (<0.02), Pb (<0.01), Sb (<0.03), Ti (<0.01), Tl (<0.1), V (<0.03).

#### 4. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

En los obtenidos en el monitoreo geoquímico de las fuentes termales alrededor del volcán Misti, se han podido observar algunas variaciones de los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, que presentan ligeras variaciones en todas las fuentes monitoreadas periódicamente (Fig. 12).

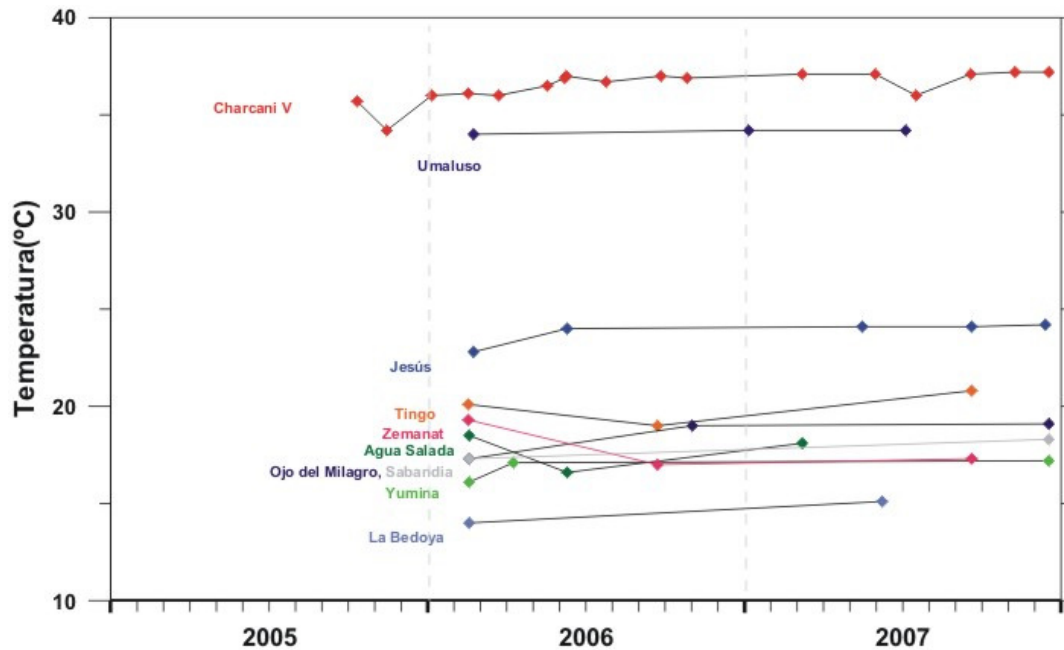


Fig. 12 – Grafica de la temperatura del agua alrededor del volcán Misti entre el 2005 y el 2007.

En el monitoreo continuo de la temperatura de la fuente Charcani V, utilizando los registradores de temperatura Hobo U12-15 con una secuencia de registro de 15 minutos, se observó que el agua tiene una temperatura tope por debajo de los 37 °C, mostrando algunos descensos entre los meses de mayo a octubre del 2007, siendo el más notable el ocurrido el después del sismo del 15 de agosto (Pisco) donde la temperatura disminuyó a valores por debajo de los 28 °C, por lo que quizás algunas anomalías registradas durante este periodo se deban a sismos ocurridos regionalmente o de tipo volcánicos asociados al Misti. (Fig. 13).

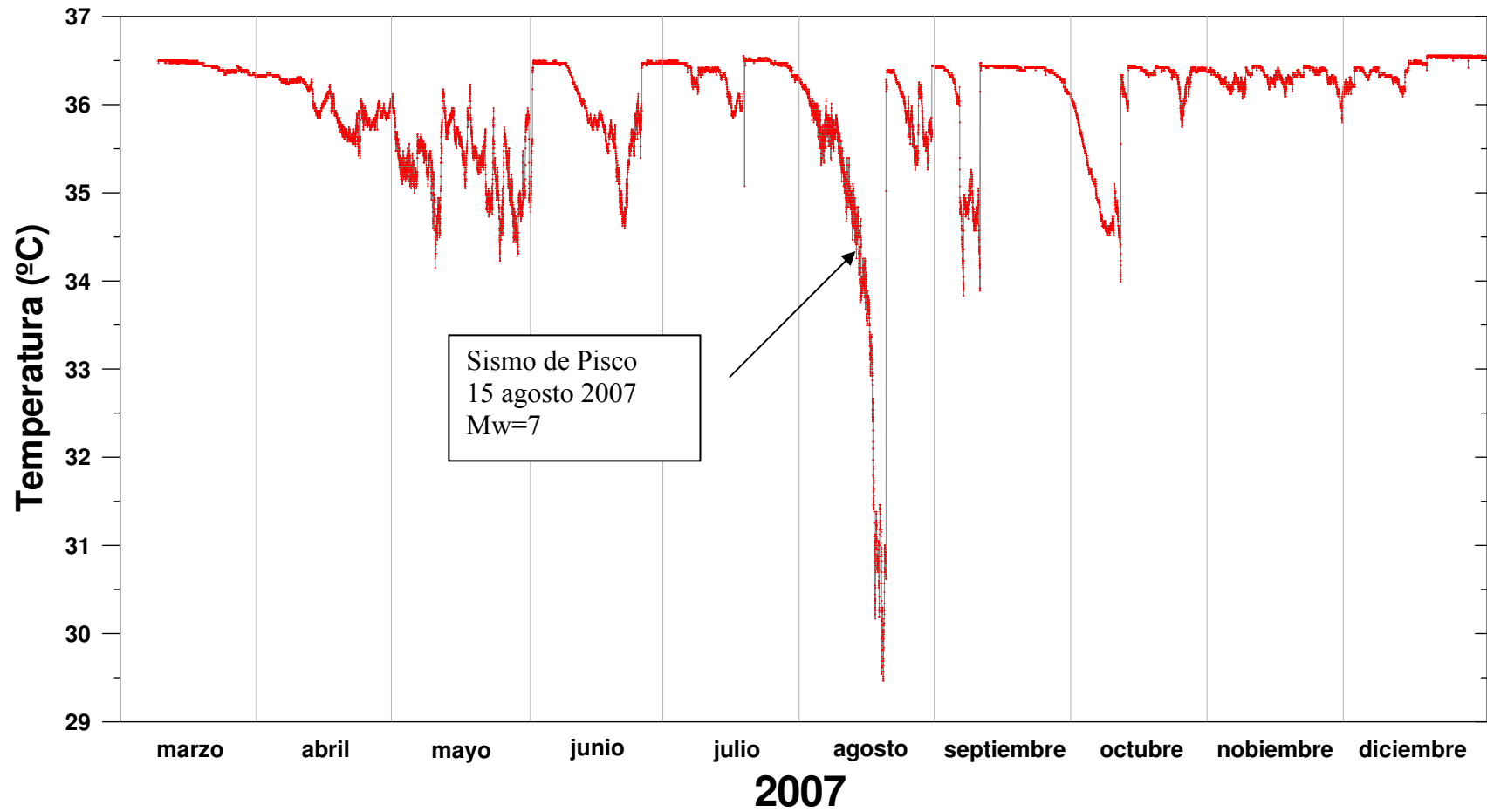
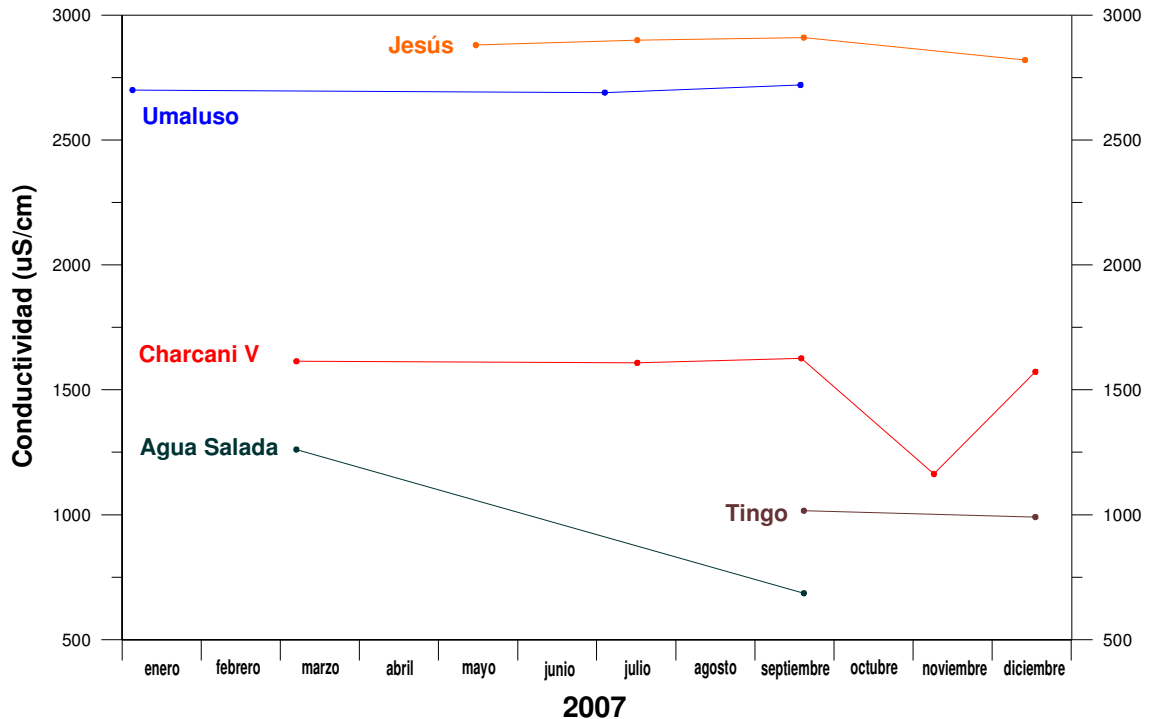


Fig. 13 – Grafica de la temperatura registrada cada 15 minutos en la fuente Charcani V durante el periodo 2007.

La Conductividad Eléctrica del agua (Fig. 14) y los sólidos totales disueltos, en algunas fuentes presentan ligeras variaciones, siendo las mas destacadas las fuentes Agua Salada y Charcani V, debido a la poca cantidad de datos no se podría discriminar estas variaciones de un comportamiento normal.

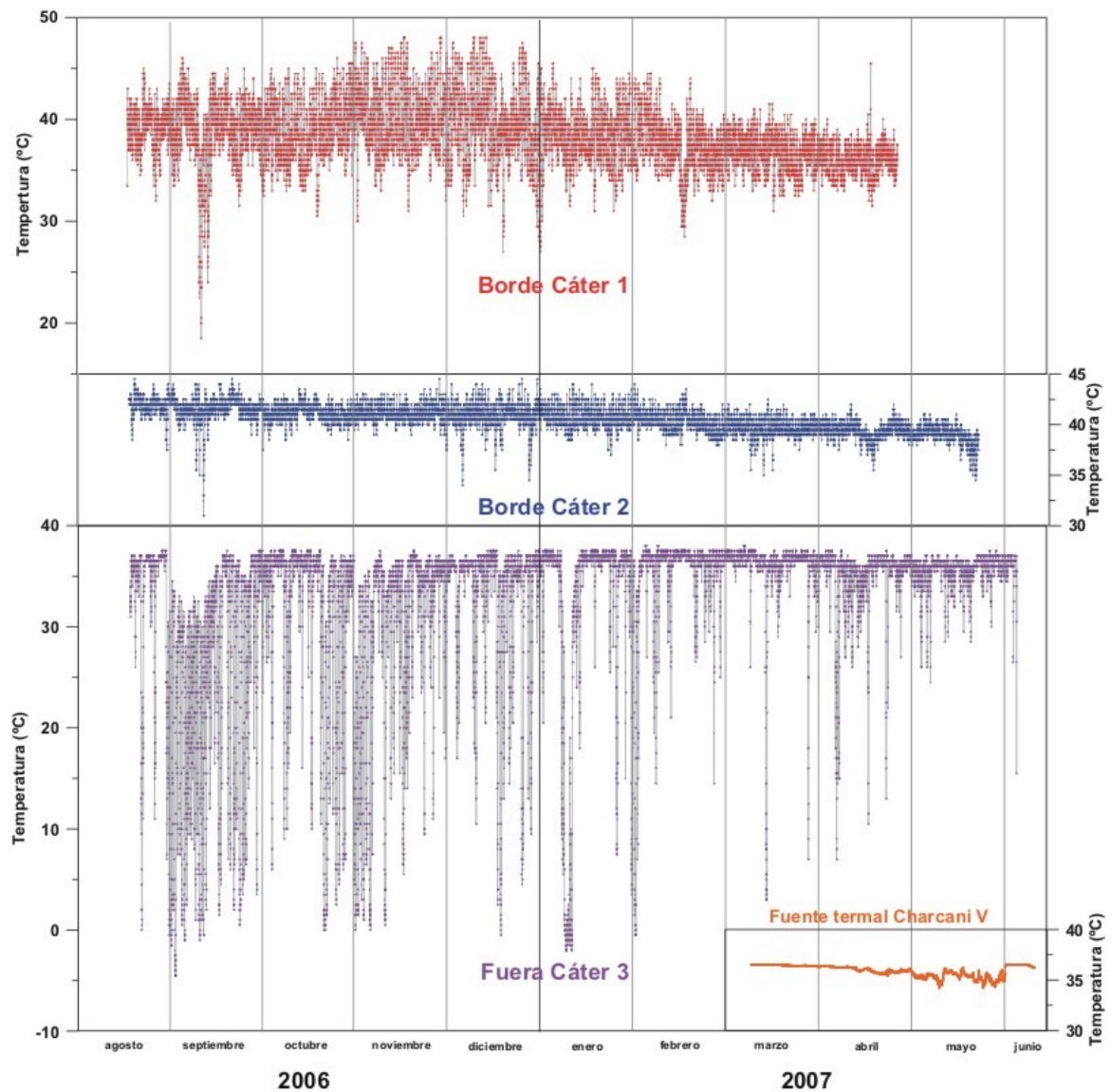


**Fig. 14 – Grafica de la variación de la conductividad eléctrica durante el 2007.**

Las fumarolas volcánicas del Misti fueron claramente visibles desde la ciudad de Arequipa sobretodo durante los meses de febrero, agosto y noviembre.

La temperatura registrada en las 3 estaciones del borde del cráter del Misti, muestran un comportamiento similar. La estación 1 registro en el rango de 18 a 49 °C, la estación 2 3 entre 32 a 45 °C y la estación 3 entre -5 a 38 °C esta ultima fue la mas afectada por la disminución de la temperatura de la noche, además que la cavidad donde se coloco fue de mayor tamaño en comparación a las otras 2 estaciones. (Fig. 15)

En todos los casos los envases que contenían los registradores de temperatura se encontraron con agua, pero se recupero la información acumulada hasta los meses de abril (punto de monitoreo Borde del Cráter 1), mayo (punto de monitoreo Borde del Cráter 2), junio (punto de monitoreo Fuera del Cráter 3) del 2007.



**Fig. 15 – Grafica de la temperatura registrada en los puntos de monitoreo 1,2 y 3 del cráter de l volcán Misti entre los años 2006 y 2007.**

Las temperaturas registradas por los registradores Hobo instalados originalmente por la Universidad Complutense de Madrid, muestran variaciones entre 24 a 33 °C en el suelo y -5 a 33°C al ambiente (aire), muestran un comportamiento similar en cuanto a las variaciones. Al comparar estos datos de temperatura con los obtenidos en la fuente Charcani V se puede apreciar que luego del sismo de Pisco (15 agosto 2007) la temperatura del suelo detuvo el ascenso que venía sufriendo para luego continuar durante la anomalía sufrida en el agua de Charcani V (Fig. 16).



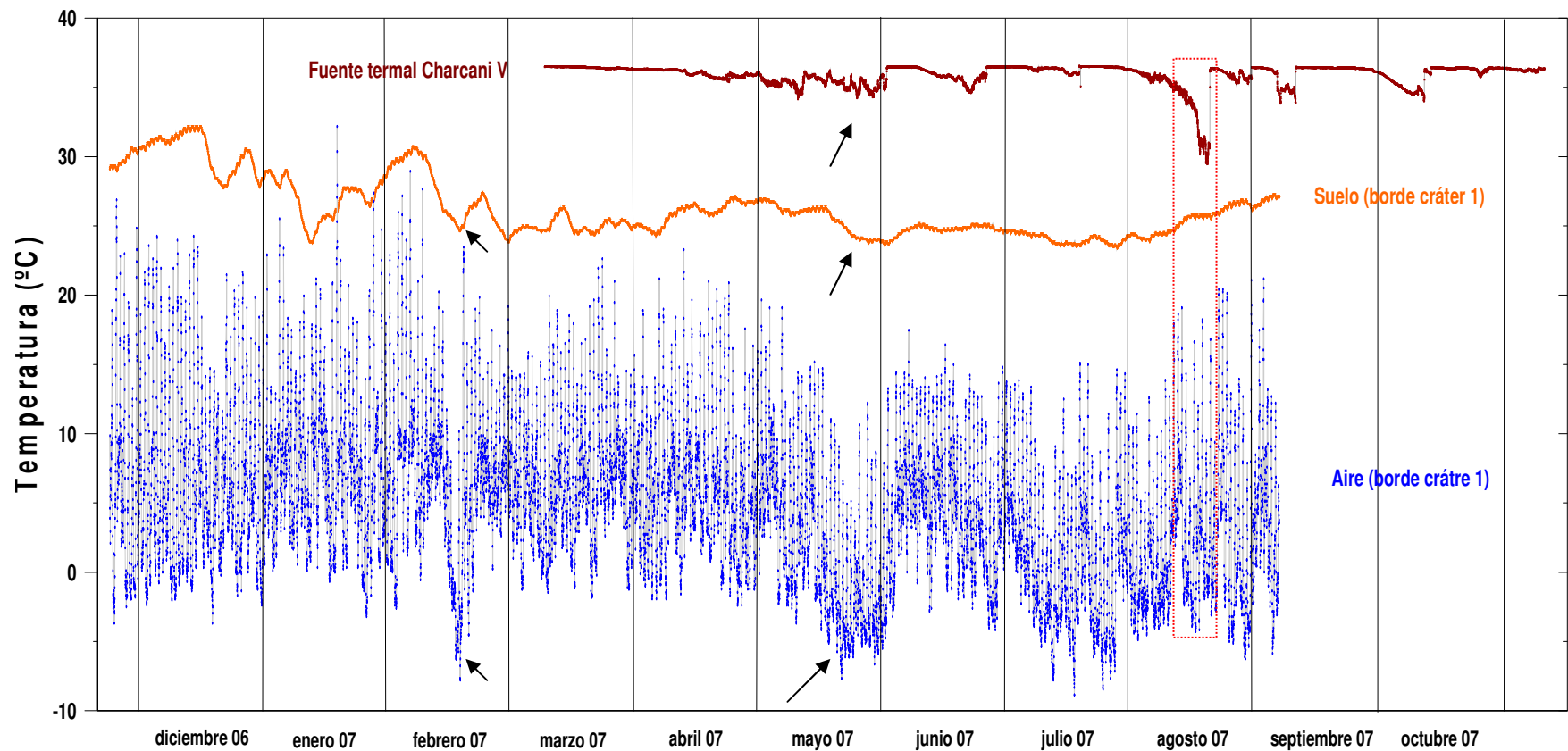


Fig. 15– Grafica de la temperatura registrada en el punto de monitoreo 1 del borde del cráter del volcán Misti, uno en enterrado en el suelo junto a las fumarolas y el otro al aire junto a las fumarolas entre los años 2006 y 2007, donde se incluyen los datos de temperatura de la fuente termal Charcani V.

## 5. CONCLUSIONES

Durante el monitoreo geoquímico del volcán Misti periodo 2007 se han observado algunas variaciones los que en algunos casos se podrían considerar como normales, pero otros como los asociados al sismo de Pisco crean un precedente en el monitoreo del Misti.

Muchas de la información obtenida en el 2007 se utilizará como línea base del monitoreo del Misti.

El Misti es un volcán que manifiesta su actividad en las variaciones de los datos obtenidos en el monitoreo geoquímico.

## 6. RECOMENDACIONES

El monitoreo geoquímico del volcán Misti se debe mejorar con muestreos de agua en periodos mas cortos, implementar un sistema de medición de la concentración de los gases del cráter.

Se debe mejorar el registro de temperatura tanto en aguas como en fumarolas.

Se deben implementar otros métodos de monitoreo como el geodésico, gravimetría, etc. de manera que se puedan hacer comparaciones con los resultados estos métodos a fin de tener mejores resultados.

## 7. REFERENCIAS

**Cacya L.**, (2006).- Volcán Misti: Sedimentología, geoquímica y correlación Tefro-estratigráfica del depósito de caída de pómez "autopista" ~ 14000 años, Tesis para optar el título de ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 86 p.

**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, p 31 - 33.

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

**Macedo L.**, (1994).- Peligro volcánico potencial del Misti convenio DHA/UNDRO-UNAS, Tesis para optar el título de ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 109 p.

**Masías P.**, (2007).- Estudios geoquímicos de las Fuentes termales y frías asociados al volcán Misti, Tesis para optar el Título de licenciado en Química, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 85 p.

**Ramos D.**, (2000).- Aplicación del método geofísico del potencial espontáneo para el estudio estructural del volcán Misti, Tesis para optar el título de ingeniero Geofísico, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 173 p.

**Thouret J.C.**, (1999).- Assessment of volcanic hazards in the area of Arequipa city based on the eruptive history of the Misti volcano, southern Peru, Zeitschrift für Geomorphologie, suppl.-Bd 11H; p 89-112.

**Thouret J.-C., Finizola A., Fornari M., Legeley-Padovani A., Suni J., and Frechen M.**, (2001) .- Geology of el Misti volcano near the city of Arequipa, Peru, p. 1595 – 1604

Páginas web:

<http://www.onsetcomp.com>

[http://www.utl.ch/index\\_espanol.htm](http://www.utl.ch/index_espanol.htm)