

Informe Técnico N° A6566

# Resultados del monitoreo del Volcán Ubinas periodo septiembre 2005 a noviembre de 2010

POR:

EDU TAPE MAQUERHUA  
PABLO MASÍAS ALVAREZ  
YANET ANTAYHUA VERA  
DOMINGO RAMOS PALOMINO

MAYO 2011



## ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. OBJETIVOS.....	6
2. MONITOREO GEOQUIMICO DE FUENTES DE AGUA Y FUMAROLAS .....	6
2.1. FUENTES TERMALES Y FRÍAS.....	6
2.1.1. FUENTE UBINAS TERMAL (UBT).....	8
2.1.2. RESULTADOS DEL MONITOREO EN UBT .....	9
2.1.3. MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ) EN LAS FUMAROLAS.....	10
3. MONITOREO VISUAL Y SATELITAL (GOES) DEL VOLCÁN UBINAS .....	11
3.1. OBSERVACIONES RESALTANTES DEL MONITOREO VISUAL Y SATELITAL.....	13
3.2. OBTENCIÓN DE LA DIRECCIÓN PREDOMINANTE DE LAS FUMAROLAS .....	18
4. MONITOREO GEODÉSICO .....	21
4.1. FUNDAMENTOS DEL MONITOREO GEODÉSICO .....	22
4.2. TÉCNICAS Y EQUIPOS EMPLEADOS .....	23
4.3. DISEÑO DE LA RED GEODÉSICA DEL VOLCÁN UBINAS .....	25
4.4. CONSTRUCCIÓN DE MONUMENTOS E INSTALACIÓN DE REFLECTORES.....	28
4.5. MONITOREO GEODÉSICO DURANTE EL PERIODO MAYO A JUNIO DE 2006 .....	311
4.6. MEDICIÓN DE DISTANCIAS (EDM) DURANTE EL PERIODO DE MONITOREO.....	31
CONCLUSIONES.....	34
RECOMENDACIONES.....	36
AGRADECIMIENTOS.....	37
REFERENCIAS.....	38

## RESUMEN

---

El monitoreo volcánico consiste en observar los cambios ocurridos en diferentes fases del estado de un volcán, mediante la aplicación de los métodos geoquímicos, geodésicos, visuales y sísmicos; además de diversos estudios geológicos, geofísicos y la aplicación de diversas técnicas e instrumentos, tanto tradicionales como modernos.

Desde septiembre de 2005 hasta la actualidad, el INGEMMET, en marco del proyecto de Monitoreo de los volcanes del sur del Perú y la participación activa del Gobierno Regional de Moquegua (GRM) y la Municipalidad Distrital de Ubinas, viene realizando el monitoreo geoquímico continuo en la fuente de agua Ubinas Termal (UBT) y fumarolas del volcán Ubinas; asimismo, el monitoreo visual, que consiste en la observación diaria de la actividad volcánica y su posterior informe a la oficina de INGEMMET en Arequipa. Además, se está avanzando en la implementación de la red de monitoreo geodésico del volcán que consiste básicamente en el uso de técnicas de geodesia clásica como la medición electromagnética de distancias y ángulos (EDM), por otro lado también se está aplicando técnicas espaciales como GPS e Interferometría de Radar (InSAR)

Los resultados del monitoreo geoquímico, visual y geodésico del volcán Ubinas durante el periodo septiembre 2005 a noviembre de 2010, muestran claramente que la mayor actividad volcánica se presentó entre marzo y octubre de 2006, evidenciándose básicamente, con las variaciones de temperatura en la fuente Ubinas Termal entre 32.1 °C (29 de marzo) y 42.1 °C el 16 de abril, hasta 12 grados por encima de su valor promedio (30.12 °C); numerosas ocurrencias de explosiones, resaltando, principalmente, las 8 explosiones ocurridas el 29 de mayo, las columnas eruptivas alcanzaron alturas de hasta 4000 m, abundantes emisiones de gases y ceniza de color gris oscuro orientadas, preferentemente, en dirección Sureste. Debido a esta orientación preferencial de la columna eruptiva de ceniza y gases, las localidades cercanas al volcán, Querapi, Ubinas, San Carlos de Tite, Santa Rosa de Para, Sacohaya, San Miguel y Tonohaya fueron considerablemente afectados con la caída de ceniza, los cuales se vieron reflejados en la salud de las personas, la ganadería y agricultura, principales fuentes de vida de los aproximadamente 5000 habitantes del valle de Ubinas. En este mismo periodo, también se observó 2 anomalías térmicas altas; la primera, se presentó el 30 de mayo y 14 de julio de 2006, asociado probablemente al arribo de magma a la superficie; sin embargo, los primeros resultados del monitoreo geodésico mediante la medición electrónica de distancias (EDM) y aplicación del método de Interferometría de Radar (InSAR) mostraron que el volcán no se habría deformado, o que los resultados obtenidos no muestran una actividad deformativa en el edificio volcánico..

Los periodos de mayor actividad posteriores al 2006, fueron observados entre febrero y junio de 2007, octubre de 2007 y abril de 2008, donde la altura de la columna eruptiva alcanzó alturas entre 2500 y 2800 metros sobre el cráter volcánico. Durante este periodo, la temperatura de la fuente Ubinas Termal (UBT) también presentó ligeras variaciones en sus valores, de 29.2 °C a 29.7 °C, coincidiendo principalmente con épocas de mayor emisión de ceniza de color gris oscuro y gases; sin embargo una disminución en los valores de temperatura fueron registrados entre agosto y noviembre de 2007, los mismos que podrían estar relacionados a la ocurrencia de los sismos de Pisco del 15 de agosto

(Mw=7.9) y de Tocopilla del 14 de noviembre (Mw=7.7). Ligeros incrementos de actividad volcánica se presentaron entre enero y junio de 2009, con la ocurrencia de 9 explosiones en un lapso de 5 días (24 y 27 de mayo), las fumarolas alcanzaron alturas de 1200 m y 1500 m, desplazándose en direcciones S y NE a distancias de 10 km y 180 km, afectando así a las localidades de Querapi, Ubinas, San Carlos de Tite, Santa Rosa de Para y Sacohaya, San Miguel y Tonohaya. Debido a este incremento, el Comité Científico Ad-Hoc, del cual forma parte el INGEMMET, emitieron el Comunicado Nro 23, con fecha 25 de mayo de 2009.

Desde julio a diciembre de 2009, la actividad volcánica disminuyó considerablemente, los valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica no presentaron variaciones importantes; la altura de la columna eruptiva estuvo por debajo de los 800 m y no se registraron explosiones; situación que se extiende hasta los primeros 3 meses (enero, febrero, marzo) de 2010, donde las fumarolas de color blanco alcanzaron alturas máximas a los 400 m, similar a lo observado en los meses de septiembre a diciembre de 2005. Por otro lado, el análisis de la información obtenida del monitoreo geodésico mediante 3 mediciones de distancias (EDM) e InSAR, correspondiente al año 2009, ha permitido mostrar que el volcán Ubinas no se habría deformado, no obstante los datos que proponen esta interpretación están sujetas a discusión por falta de procesos de corrección por factores atmosféricos y por la escasa cantidad de mediciones hechas (hasta esa fecha solo tres).

Finalmente, la correlación de los resultados del monitoreo geoquímico, visual y geodésico del volcán Ubinas realizado desde septiembre 2005 hasta marzo de 2010, muestra una disminución paulatina de la actividad del volcán con el paso del tiempo, encontrándose en estos momentos, en sus niveles más bajos con respecto a marzo de 2006.

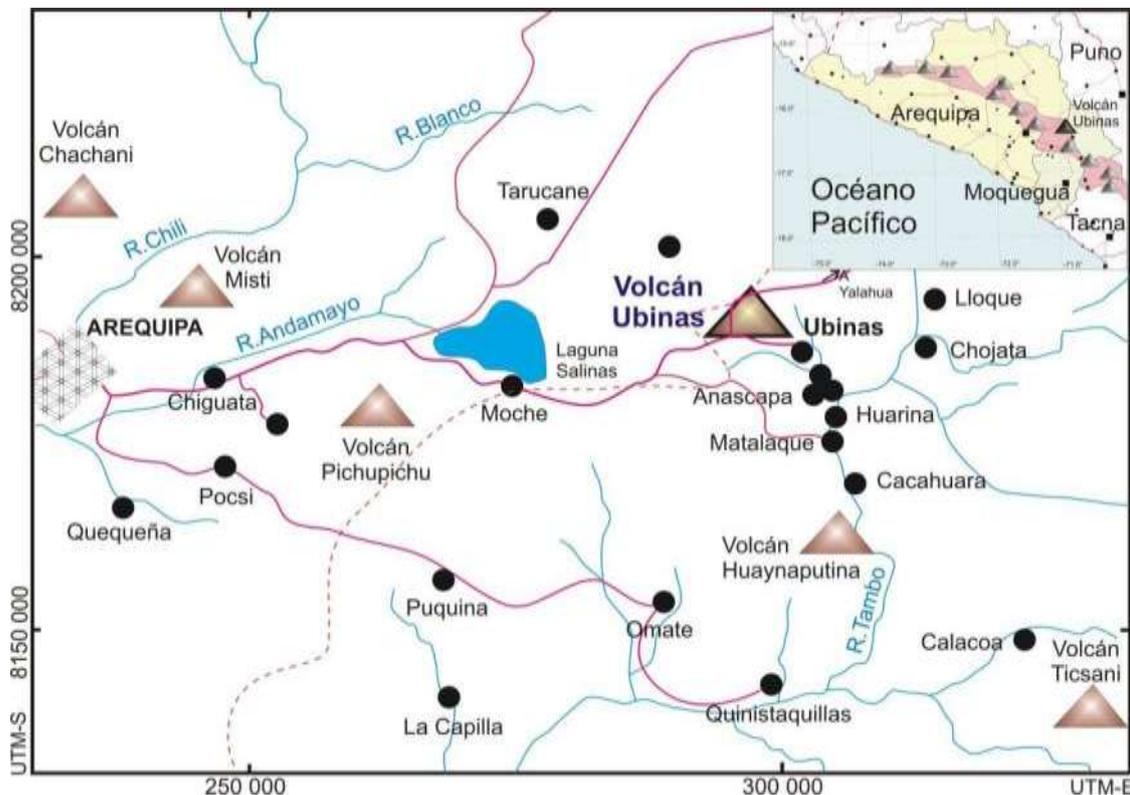
## RESULTADOS DEL MONITOREO DEL VOLCÁN UBINAS

PERIODO SET 2005 – NOV 2010

### 1.0 INTRODUCCIÓN

El volcán Ubinas ( $16^{\circ}22' S$ ,  $70^{\circ}54' O$ , 5672 m.s.n.m.), está ubicado a 90 km en dirección norte de la ciudad de Moquegua y a 65 km al este de Arequipa (Figura 1), es considera como el volcán más activo del Perú por sus 24 erupciones de baja a moderada magnitud ocurridos durante los últimos 500 años, con una recurrencia de 4 a 6 episodios por siglo.

Al Sur de este volcán se ubican los centros poblados del valle de Ubinas conformado por: Querapi, Ubinas, Sacuaya, San Miguel, Tonohaya, Huatahua, Anascapa, Haurina y Escacha, donde habitan más de 5000 mil personas (Rivera, 2008).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del volcán Ubinas y centros poblados ubicados a lo largo del valle de Ubinas

Su historia eruptiva se remonta hasta los años 1550, desde entonces y hasta la actualidad se han producido 24 eventos eruptivos (Rivera et al., 2006) que causaron daños en los centros poblados del valle de Ubinas principalmente por las caídas de ceniza afectando considerablemente a la salud de los pobladores, la agricultura y ganadería, fuentes económicas más importantes del valle de Ubinas.

Después del inicio de un nuevo proceso eruptivo del volcán Ubinas observada en septiembre del 2005 e incrementada en marzo del 2006, profesionales del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) se trasladaron a la zona, a fin de efectuar estudios más detallados de la geología del volcán, elaborar el mapa de peligros y mapa administrativo de seguridad física a solicitud del Gobierno Regional de Moquegua, además de realizar el monitoreo geoquímico y visual in situ. Los resultados obtenidos fueron presentados a los responsables de la toma de decisiones y utilizados en la evacuación de las personas durante el periodo de mayor crisis del volcán.

Durante los siguientes años, 2007, 2008, 2009 hasta marzo de 2010, se continuó con los trabajos de monitoreo geoquímico y visual cuya información importante fue enviada a las autoridades y utilizada en la emisión de comunicados del Comité Científico Ad-Hoc del volcán Ubinas. Asimismo, en el año 2008 se inició con la implementación del monitoreo geodésico utilizando técnicas de medición electromagnética de distancias (EDM), ángulos y técnicas espaciales como GPS e Interferometría de Radar (InSAR).

En el presente informe, se muestran los resultados obtenidos del monitoreo geoquímico, visual y geodésico del volcán Ubinas, correspondiente al periodo septiembre 2005 a Noviembre de 2010.

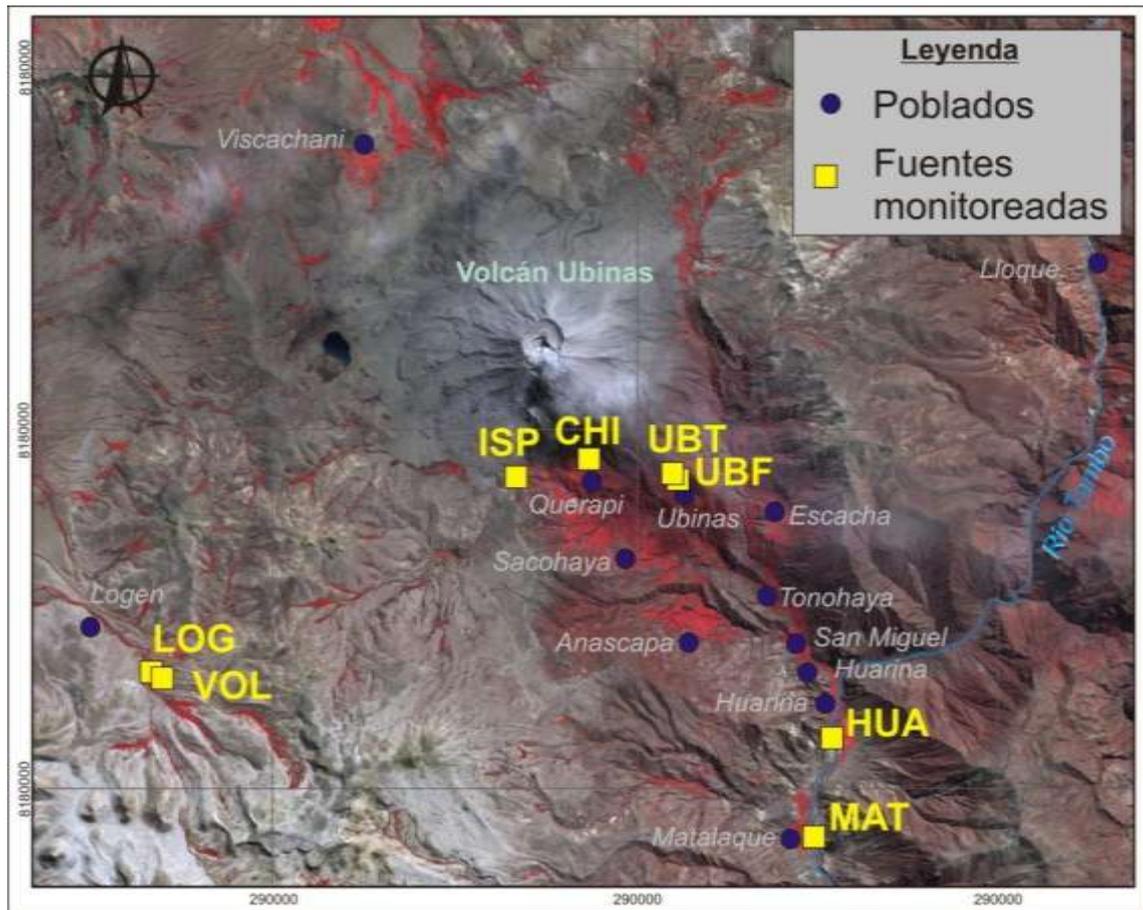
## 1.1 OBJETIVOS

Presentar los resultados del monitoreo geoquímico, visual y geodésico del volcán Ubinas del periodo septiembre 2005 a noviembre de 2010 y conocer su evolución volcánica a través del tiempo.

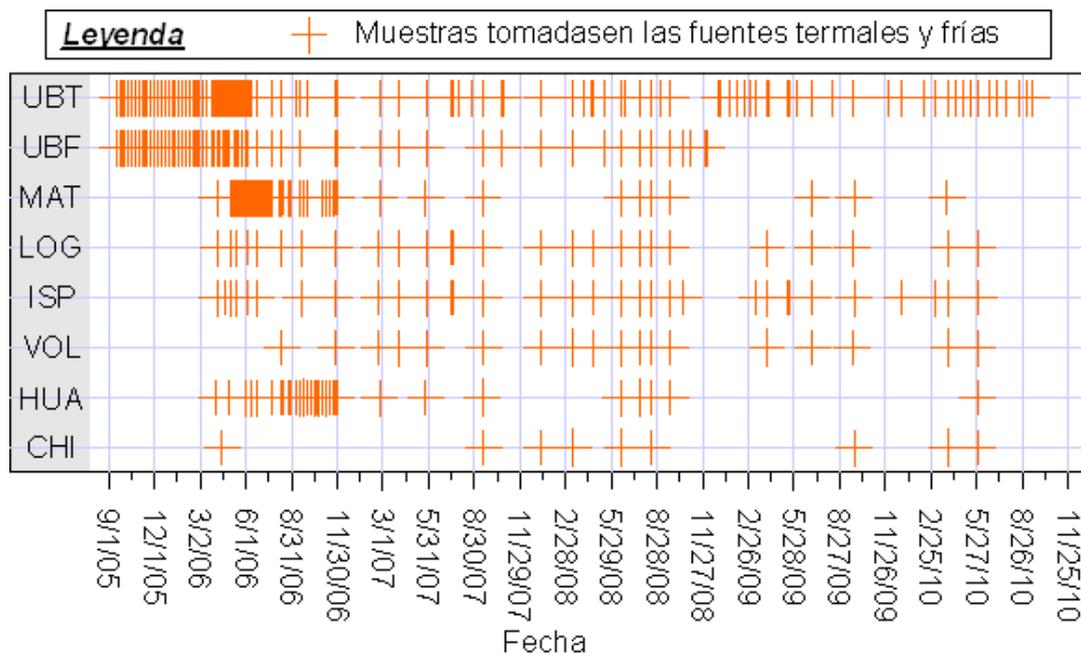
## 2.0 MONITOREO GEOQUÍMICO DE FUENTES DE AGUA Y FUMAROLAS

### 2.1 FUENTES TERMALES Y FRÍAS

El monitoreo geoquímico de fuentes termales cercanas al volcán Ubinas se viene realizando desde el año 2005 hasta la actualidad. Las variaciones en sus parámetros fisicoquímicos de temperatura ( $T^{\circ}$ ), potencial de ion hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y composición química (aniones y cationes disueltos en el agua) podrían evidenciar cambios en la actividad del volcán. En este contexto, el INGEMMET realiza el monitoreo de 7 fuentes de agua termales y frías asociadas al volcán Ubinas (Figura 2): Ubinas Termal (UBT), Ubinas Fría (UBF), Ispaypuquio (ISP), Logen (LOG), Ñuño (VOL), Chimpamoya (CHI) y Matalaque (MAT) las mismas que se encuentran ubicadas en un radio de 25 km (Figura 2). Estas fuentes fueron muestreadas con cierta regularidad durante los años 2005 a noviembre del 2010, con mayor incidencia en UBT (Figura 3). Para los fines de este informe, solamente se analizó la información que proviene de la fuente UBT, debido a que en esta fuente se ha instalado una estación de monitoreo continuo de temperatura.



**Figura 2.** Ubicación de las fuentes termales y frías alrededor del volcán Ubina y las principales localidades asentadas en el valle de Ubina. Ubinas Termal (UBT) es la fuente de monitoreo continuo.



**Figura 3.** Fechas del muestreo de fuentes termales y frías alrededor del volcán Ubina entre septiembre del 2005 y noviembre del 2010

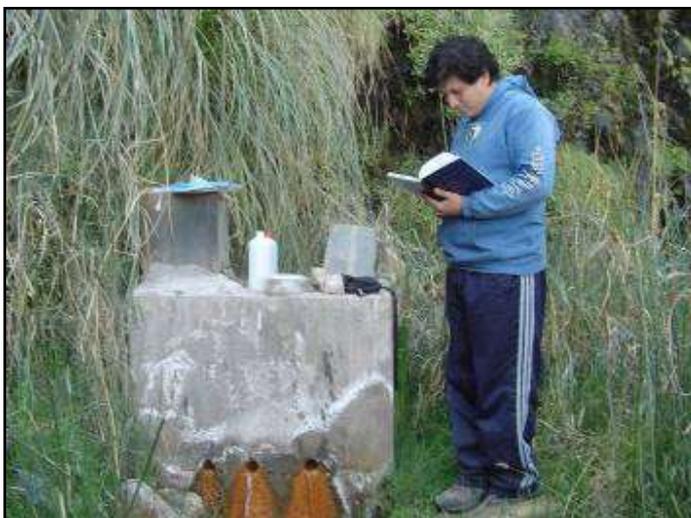
### 2.1.1 FUENTE UBINAS TERMAL (UBT)

En la fuente Ubinas Termal, se ha instalado una estación de monitoreo continuo provisto de un registrador de temperatura Marca ESPEC, modelo ThermoRecorder RT-12, con sensibilidad de 0.1 °C, operativo entre septiembre de 2005 y diciembre de 2006. Posteriormente, en febrero de 2007 se instaló un registrador HOBO U12-15, sensibilidad de 0.001 °C (Foto 1); en ambos casos el registro se realizó cada 15 minutos a excepción del año 2008 en que se registró cada 5 minutos.

Además de la medición continua de temperatura, también se realizó la medición de otros parámetros fisicoquímicos como el pH y CE en cada visita que se realizó al volcán, una vez al mes en promedio (Foto 2); sin embargo, cuando la actividad volcánica se intensificó, estas visitas y la recuperación de los datos se redujeron a días. Asimismo, se continuó con la toma de muestra respectiva para realizar el análisis químico.



**Foto 1.** Registradores de temperatura ESPEC instalado en septiembre de 2005, HOBO U12-15, instalado en febrero de 2007 en la fuente UBT.



**Foto 2.** Profesional de INGEMMET realizando la medición de parámetros fisicoquímicos y toma de muestra en la fuente UBT.

### 2.1.2 RESULTADOS DEL MONITOREO EN UBT

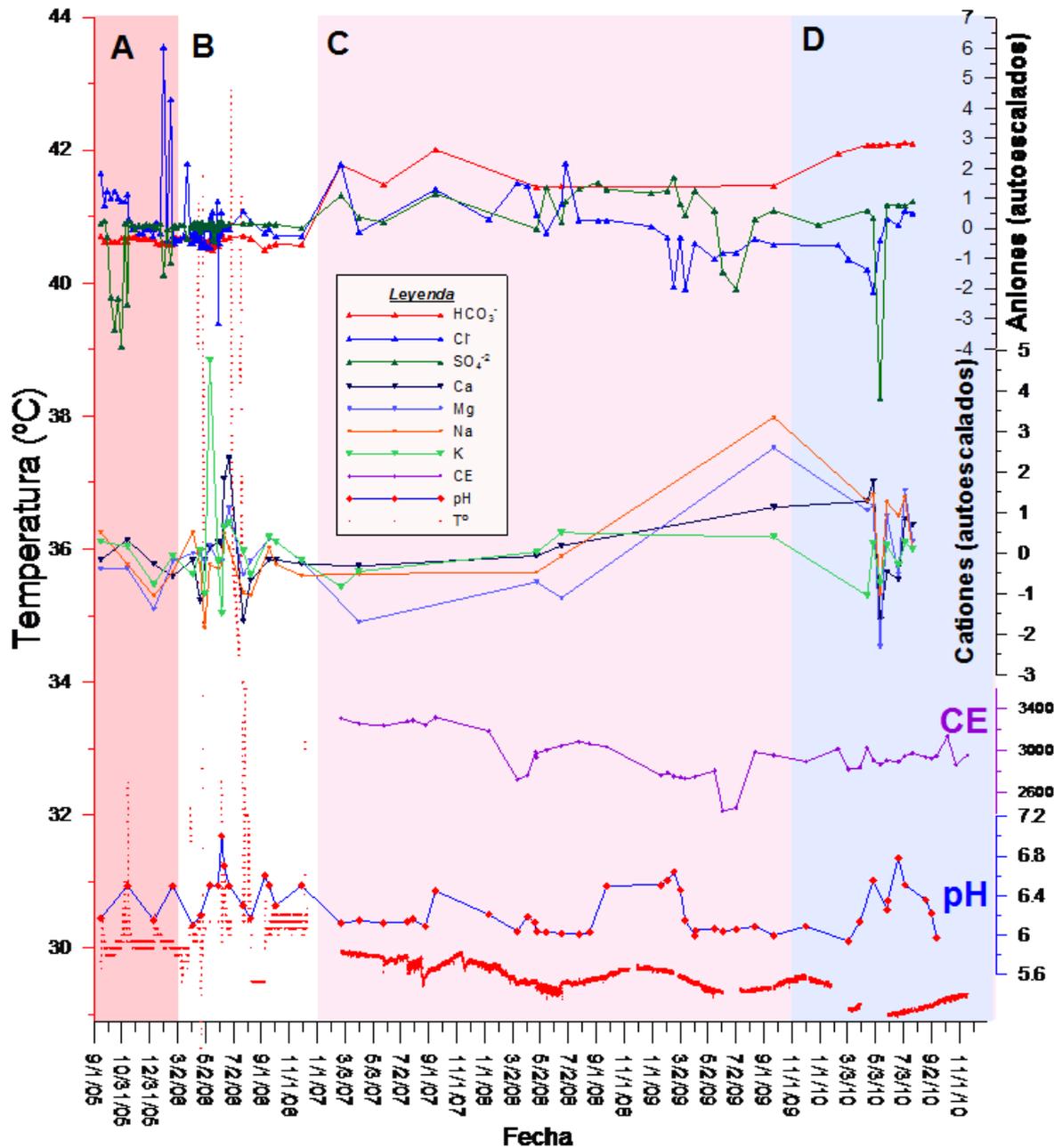
En la Figura 4, se presenta los resultados de la medición de la temperatura, pH y conductividad eléctrica registrada en la fuente Ubinas Termal. En esta Figura se observa que las variaciones de temperatura se presentaron entre marzo y abril de 2006 con valores entre 32.1 °C (29 de marzo) y 42.1 °C el 16 de abril, hasta 12 grados por encima de su valor promedio (30.12 °C); asimismo, los valores de pH variaron entre 6.1 y 7.0.

Entre febrero y junio de 2007, octubre de 2007 y abril de 2008, la temperatura de la fuente Ubinas Termal (UBT) también presentó ligeras variaciones en sus valores, de 29.24 °C a 29.97 °C; sin embargo una disminución en los valores de temperatura fueron registrados entre agosto y noviembre de 2007, los mismos que podrían estar relacionados a la ocurrencia de los sismos de Pisco del 15 de agosto ( $M_w=7.9$ ) y de Tocopilla del 14 de noviembre ( $M_s=7.7$ ) (Masías et al., 2008). Durante los años 2007 y 2008, los valores de pH se mantuvieron relativamente estables (6.1 y 6.5); mientras que en la conductividad (CE) se registró variaciones entre 2800  $\mu\text{s/cm}$  a 3300  $\mu\text{s/cm}$ , de enero a octubre de 2008.

Desde julio de 2009 a enero de 2010, la disminución de la actividad volcánica no fue evidenciada claramente con el monitoreo geoquímico debido a que las variaciones de la temperatura en la fuente Ubinas Termal fluctuaron entre 29.34 °C y 29.54 °C; el pH se mantuvo entre 6.0 y 6.1, a excepción de los picos registrados en marzo de 2009; mientras que la conductividad eléctrica fluctuó entre 3000  $\mu\text{s/cm}$  y 3300  $\mu\text{s/cm}$ .

De acuerdo a los resultados de los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) obtenidos en la fuente UBT, durante el periodo septiembre 2005 a marzo de 2010, se observó que las variaciones importantes en los valores de estos parámetros, se registraron desde marzo a junio de 2006, coincidiendo con el periodo de mayor actividad volcánica.

Analizando solamente los valores de temperatura en la fuente UBT, se observa también que durante los años 2007, 2008, 2009 y primeros meses de 2010, el comportamiento sigue una tendencia cíclica de disminución e incremento de temperatura entre los meses de julio a agosto y diciembre enero respectivamente; asimismo, si se considera las temperaturas promedio de 2007 (29.81 °C), 2008 (29.59 °C), 2009 (29.49 °C) y enero de de 2010 (29.46 °C), se observa que tiende a disminuir con el paso del tiempo.



**Figura 4.** Gráfica donde se muestra los resultados del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y resultados de los análisis químicos del agua de la fuente UBT.

### 2.1.3 Medición de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en las fumarolas

Las fumarolas del volcán Ubinas se encuentran focalizadas en el fondo del cráter, con temperaturas de hasta 444 °C (González, 2001), debido al difícil acceso y el inicio de la actividad volcánica resulta muy peligroso realizar muestreos directos de gases en el interior del cráter, por lo que se debió de optar por métodos alternativos de monitoreo, uno de estos métodos es la medición del gas dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), utilizando para ello, el espectrómetro de correlación Ultra violeta UV "FLYSPEC".

Las mediciones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en el volcán Ubinas, se realizó con el apoyo de profesionales de la University of Hawaii at Hilo el 10 de enero y 11 de mayo de 2006 (Foto 3). Los resultados de las mediciones entre las fechas antes mencionadas, evidenciaron emisiones de  $\text{SO}_2$  con concentraciones máximas de 1500 ppm-m (Cruz, 2006) y de 2800 ppm-m, estimándose un flujo de 1200 Tn/día (Clegg, 2006). Al comparar estos valores de concentración con los 800 Tn/día, en promedio, obtenidos en el volcán Galeras, Colombia (Observatorio Vulcanológico de Pasto, 2007), se observa que los obtenidos en el volcán Ubinas son relativamente más altos y anómalos, característicos, según Clegg (2006) de volcanes en proceso eruptivo.



**Foto 3.** Mediciones de  $\text{SO}_2$  en la caldera del volcán Ubinas (tomado de Clegg, 2006).

Con el fin de continuar con las mediciones del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), a mediados de agosto del 2009, personal de INGEMMET realizó pruebas de visibilidad, velocidad y dirección de las fumarolas para establecer puntos donde, próximamente, se pudiera instalar un equipo Flyspec 2, con un sistema de medición continua, encontrando como punto piloto el poblado de Querapi, a 4 km al Sur del cráter del volcán.

### 3.0 MONITOREO VISUAL Y SATELITAL (GOES) DEL VOLCÁN UBINAS

El monitoreo visual del volcán Ubinas, se ha venido realizando continuamente desde el mes de abril de 2006, un mes después de haberse iniciado el proceso eruptivo del volcán; para ello, el INGEMMET en colaboración con la Municipalidad de Ubinas, instalaron un campamento base ubicado a 6 km en dirección SO del cráter del volcán (Foto 4), desde donde el observador realizaba el registro visual minucioso del estado actual del volcán (Foto 5) considerando los siguientes parámetros como referencia fecha y hora de inicio de las emisiones, altura de la columna eruptiva, color, composición, forma, dirección preferente en que se traslada la columna y una breve descripción de la ocurrencia de explosiones (Figura 5), además del registro fotográfico respectivo.



**Foto 4.** Campamento base de INGEMMET desde donde se efectuó el monitoreo visual y trabajos geológicos y vulcanológicos.



**Foto 5.** Foto del observador haciendo el reporte del monitoreo visual a la oficina de INGEMMET Arequipa mediante el teléfono satelital.



**Figura 5.** Parámetros referenciales consideradas en el reporte del monitoreo visual del volcán.

A partir de diciembre del 2006 el campamento se trasladó a la localidad de Sacohaya, ubicado a 7 km en dirección S del volcán, debido a las difíciles condiciones climáticas presentadas en el campamento base inicial. Posteriormente, en enero del 2008, el campamento fue nuevamente reubicado a la localidad de Ubinas desde donde se recibe la información hasta la actualidad. En la oficina de INGEMMET, una vez recopilada la información y actualizada la base de datos, se procedió a la divulgación en la página web de nuestra institución (<http://www.ingemmet.gob.pe/webubinas/01-vigilancia.htm>). La Figura 6, muestra un ejemplo de la información publicada en la página y corresponde a los primeros doce días del mes de marzo de 2010.

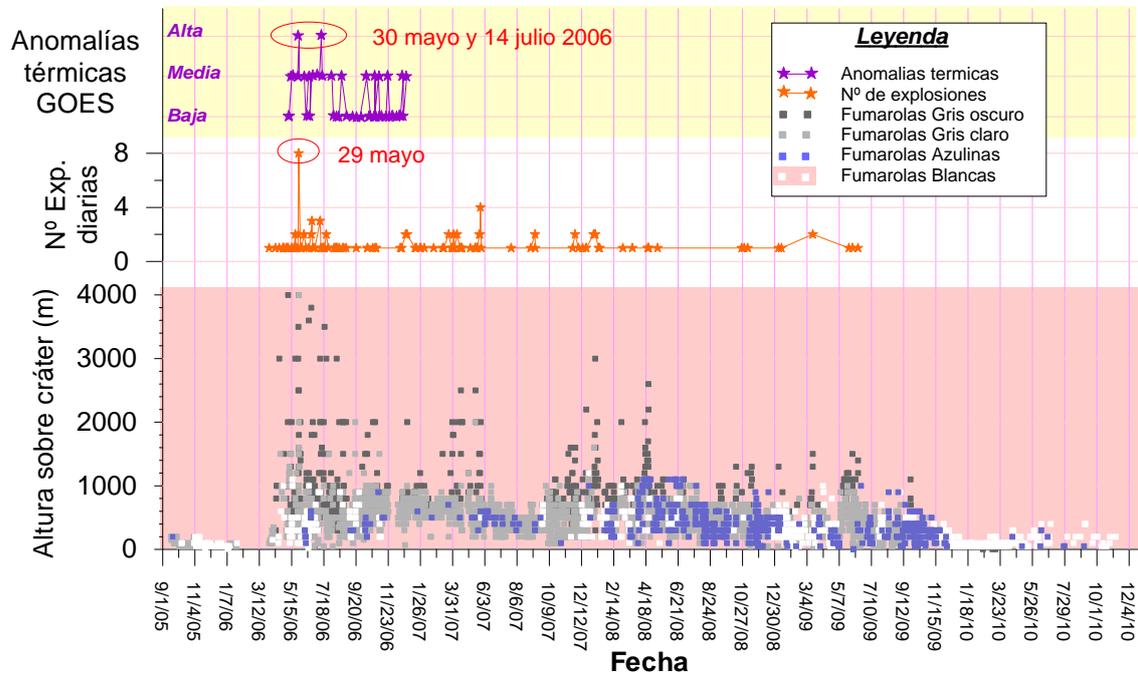
Fecha - Hora	Altura de columna		Dirección	Color				Densidad	Explosión	Temperatura	Tiempo	Descripción
	m (p)	m (n)		Azul	Blanco	Gris ceniza	Gris oscuro					
03/03/2010 05:30												Actividad imperceptible en el volcán Ubinas
03/03/2010 06:30												Volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante todo el día
03/03/2010 05:30												Actividad imperceptible en el volcán Ubinas
03/03/2010 04:14												Cielo nublado, volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante todo el día
03/03/2010 05:30												Actividad imperceptible en el volcán Ubinas
03/03/2010 08:24	100	200	SO - O					1				Emissiones tenues de vapor de agua y gases en columna dispersa y a pulso constante
03/03/2010 09:50												Cielo nublado, neblinas en la parte alta del volcán, sin visibilidad durante el día
04/03/2010 05:30	50	100	O					1				Cielo nublado, neblinas en la parte alta del volcán, sin visibilidad
04/03/2010 07:50												Emissiones tenues en pequeños pulsos de vapor de agua y gases, sin columna dispersa
04/03/2010 07:42												Cielo nublado con neblinas en la parte alta del volcán, sin visibilidad
04/03/2010 13:00												Cielo nublado, volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante la tarde
05/03/2010 05:30	50		O					1				Emissiones tenues de vapor de agua y gases en columna dispersa y a pulso constante
05/03/2010 09:30	50		SO									Emissiones tenues de vapor de agua y gases en columna dispersa y a pulso constante
05/03/2010 13:18												Cielo nublado, volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante el día
06/03/2010 05:30												Emissiones imperceptibles en el volcán Ubinas
06/03/2010 08:18												Presencia de neblinas en la ladera Sur del volcán, sin visibilidad
06/03/2010 11:19												Cielo nublado, volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante todo el día
07/03/2010 05:30	50	50						1				Emissiones tenues de vapor de agua y gases en columna dispersa y continua
07/03/2010 05:40	50		N									Emissiones tenues de vapor de agua y gases acuosos en columna dispersa a veces sin columna y a pulso constante durante
07/03/2010 02:50	30	100	SO									Emissiones tenues de vapor de agua y gases acuosos en columna dispersa y continua
08/03/2010 09:45												Vientos fuertes en la cumbre, sin visibilidad
08/03/2010 11:45												Cielo nublado, neblinas en la parte alta del volcán, sin visibilidad durante la tarde
08/03/2010 05:30												Cielo parcialmente nublado, neblinas en la parte alta del volcán, sin visibilidad
08/03/2010 10:45			O									Cielo parcialmente nublado, vientos fuertes en la cumbre, sin visibilidad
09/03/2010 14:15												Cielo nublado, neblinas en el borde de la cumbre, sin visibilidad durante la tarde
10/03/2010 05:30	50	100	SO					1				Pulsos pequeños y sostenidos de vapor de agua y gases en columna dispersa a veces sin columna
10/03/2010 14:00												Presencia de neblinas en la ladera sur del volcán, sin visibilidad durante la tarde
11/03/2010 05:30	50	100	SO									Pulsos constantes de vapor de agua y gases en forma de algodón, a veces sin columna
11/03/2010 10:20												Presencia de neblinas en la ladera sur del volcán, sin visibilidad
11/03/2010 13:13												Cielo nublado, neblinas en el borde de la cumbre, sin visibilidad durante la tarde
12/03/2010 05:30												Actividad imperceptible en el volcán Ubinas
12/03/2010 10:45	100	300	SO					1				Bocanadas de vapor de agua acompañado de gases azules en forma de algodón
12/03/2010 11:38												Cielo nublado, volcán cubierto de neblinas, sin visibilidad durante el día

Figura 6. Ejemplo de la base de datos del monitoreo visual y su respectiva publicación en la página web de INGEMMET, correspondiente a los primeros 12 días del mes de marzo de 2010.

### 3.1 OBSERVACIONES RESALTANTES DEL MONITOREO VISUAL Y SATELITAL

En la Figura 7, se presenta el resultado del monitoreo visual del volcán Ubinas durante el periodo septiembre 2005 a noviembre de 2010. En esta Figura, se muestra la altura de las emisiones y/o columna eruptiva representada por el color de las emisiones (gases, ceniza, vapor de agua), el número de explosiones oídas durante este periodo y las principales anomalías térmicas observadas durante el año 2006, obtenidas de las imágenes GOES:

(<http://goes.higp.hawaii.edu/cgi-bin/imageview64?zoom=1&xoffset=150&yoffset=150&xcenter=310&ycenter=435&pixrep=2&frametype1=1&frametype2=0&siteidx=33&dayidx=1089&frameidx=06>) del Instituto de Geofísica y Planetología de Hawai (EE.UU.).



**Figura 7.** Monitoreo visual del volcán Ubina durante el periodo septiembre 2005 a marzo de 2010. Altura y coloración de la columna eruptiva y número de explosiones por día.

Los reportes del monitoreo visual, meses antes de iniciado el proceso eruptivo del volcán Ubina (septiembre 2005 y febrero 2006), muestran que las emisiones fumarólicas fueron de color gris claro, que alcanzaban alturas de hasta 200 m (Cruz, 2006); asimismo, Mariño et al. (2006), en observaciones realizadas en noviembre, desde el volcán Misti, ubicado a una distancia de 50 km, las fumarolas de color blanquecino se elevaban entre 200 m y 400 m por encima del borde de la caldera (Foto 6). Sin embargo, en marzo del 2006 la actividad volcánica se incrementó paulatinamente; así, el 25 de marzo del 2006, pobladores de la localidad de Querapi situado a 4 km del cráter del volcán informaron la caída de ceniza sobre sus cultivos y viviendas.

La actividad volcánica más importante se presentó durante los meses de abril a junio y agosto de 2006, con columnas eruptivas de ceniza de color gris oscuro, gases que alcanzó alturas de hasta 4000 m, además de expulsión de bloques incandescentes y la ocurrencia de numerosas explosiones, destacando las 8 explosiones ocurridas el 29 de mayo de 2006, además de las explosiones audibles del 27 de abril a las 18:30 horas y el 7 de mayo a las 20:55 horas (Foto 7).

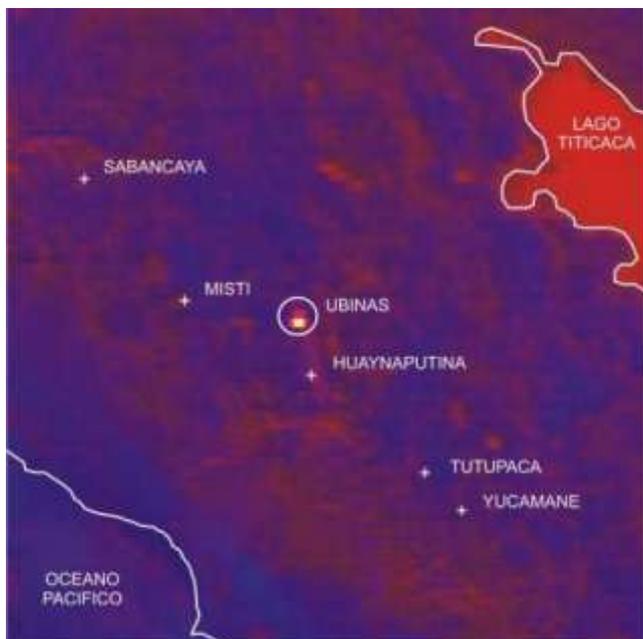


**Foto 6.** Foto del volcán Ubinas obtenida desde una distancia de 50 km en noviembre de 2005 (tomado de Mariño et al., 2006).

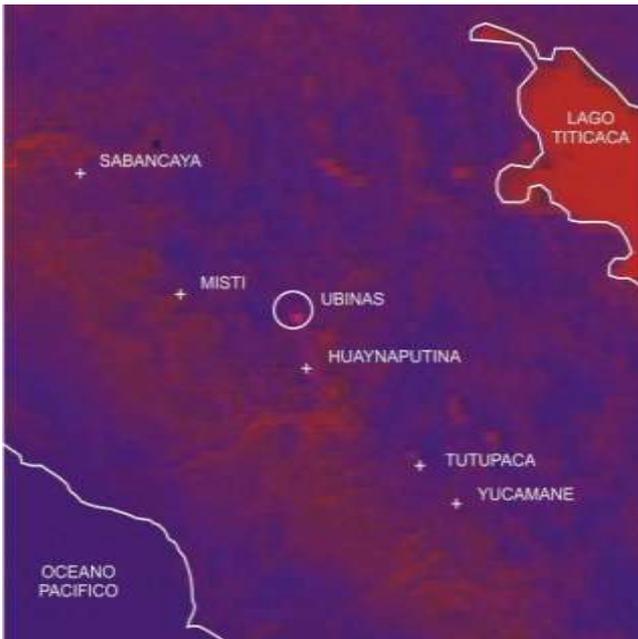


**Foto 7.** Explosión del 7 de mayo de 2006, a las 20:55 horas (Clegg, 2006)

En este mismo periodo (junio a agosto de 2006), el Instituto de Geofísica y Planetología de Hawai, reportó la identificación en las imágenes GOES, 2 anomalías térmicas altas en el volcán Ubinas el 30 de mayo a las 22:31 horas (Figura 8) y el 14 de julio a las 01:01 horas (Figura 9). Según Mariño et al. (2006), las anomalías altas identificadas hasta el 31 de mayo podrían estar correlacionadas con el arribo de magma hacia la superficie, y por ende, con el incremento de la actividad del volcán entre el 29 de mayo y 3 de junio.



**Figura 8.** Anomalía térmica alta registrada por el satélite GOES el 30 de mayo a las 22:31 horas. El pixel rojo (dentro del círculo blanco) es la anomalía.



**Figura 9.** Anomalía térmica alta registrada por el satélite GOES el 14 de octubre a las 01:01 horas.

Durante el año 2007, la actividad del volcán Ubinas continuó con la emisión de ceniza, gases de color azulino y vapor de agua. La ocurrencia de explosiones y altura de la columna eruptiva fue disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar los 600 a 800 m en promedio y algunos picos de 2000 m a 2500 m observados entre abril a junio del 2007. La Foto 98, muestra la explosión del 16 abril, 15:10 horas, la columna de ceniza y gases alcanzó una altura de 2500 m y se desplazó en dirección SE hasta 20 km de distancia.

**Foto 8.** Foto de la columna eruptiva formada después de la explosión del 16 de abril de 2007 (15:10 horas).



La actividad volcánica del Ubinas durante el periodo enero a diciembre del 2008, fue similar a lo observado en el 2007; sin embargo, la actividad más importante se presentó entre los meses de enero y abril, con columnas eruptivas de ceniza, gases, vapor de agua y la ocurrencia de sucesivas explosiones audibles, dentro de las cuales destacan las ocurridas el 8 de enero a las 06:01 horas (Foto 9) y 23 de abril a las 07:07 horas. La altura de

las columnas eruptivas de ambas explosiones alcanzaron los 3000 y 2200 m sobre el cráter del volcán.

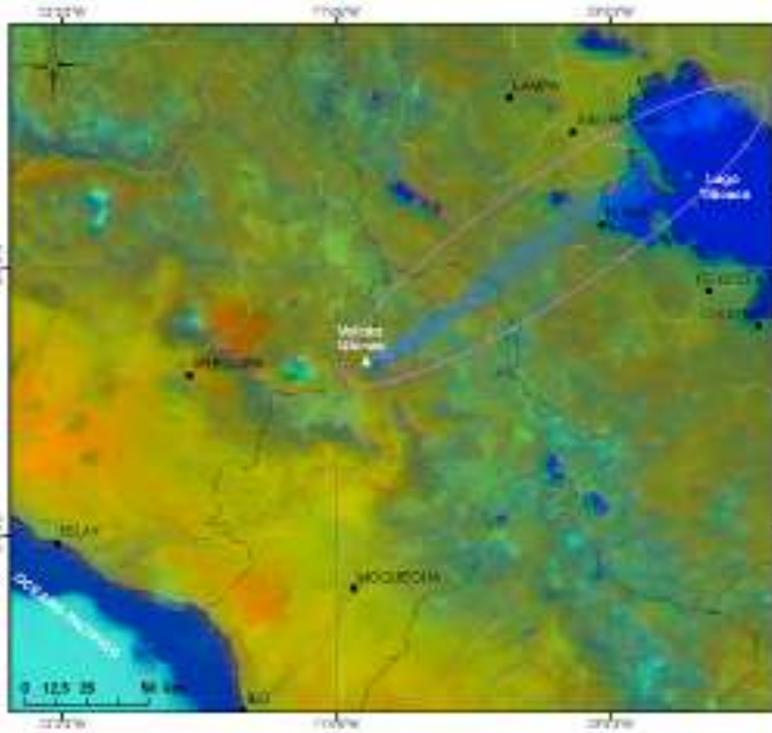


**Foto 9.** Foto de la columna eruptiva formada después de la explosión del 23 de abril de 2008 (06:01 horas).

Después de un periodo de actividad volcánica baja entre septiembre 2008 a enero de 2009, nuevamente la ocurrencia de 5 explosiones entre enero y junio de 2009 alarmó a los pobladores del valle de Ubinas. Las explosiones más representativas son las ocurridas el 12 de enero, 15 de marzo, 25 de mayo y 2 de junio, posterior a ello, se reportó la caída considerable de ceniza en las localidades de Querapi, Ubinas, Sacohaya, San Miguel y Tonohaya. La explosión del 2 de junio (Foto 10) fue la más representativa ya que la columna eruptiva se desplazó en dirección NE hasta una distancia de 180 km (Figura 10), la mayor distancia evidenciada desde el inicio del proceso eruptivo en marzo de 2006.

Desde julio a diciembre de 2009, la actividad volcánica disminuyó considerablemente, no se registraron explosiones, la altura de la columna eruptiva, de color gris claro y gases azulinos, estuvo por debajo de los 800 m y solo se presentó un leve incremento en octubre donde la columna fumarólica de color gris oscuro alcanzó una altura de 1200 m.

Entre enero y noviembre del 2010, la tendencia de disminución de la actividad volcánica se acentúa debido a que durante estos meses la altura máxima de las fumarolas de color blanco en forma de algodónfue de 400 m, por debajo de los registrados anteriormente, además de la ausencia de explosiones. El 5 de octubre del 2010 se firmó el comunicado N° 24 del Comité Científico, sugiriendo el cambio de alerta de Amarilla a Verde.



**Figura 10.** Imagen GOES obtenida después de la explosión del 2 de junio de 2009. El desplazamiento máximo es de 180 km, en dirección NE (imagen de las 10:31 horas).

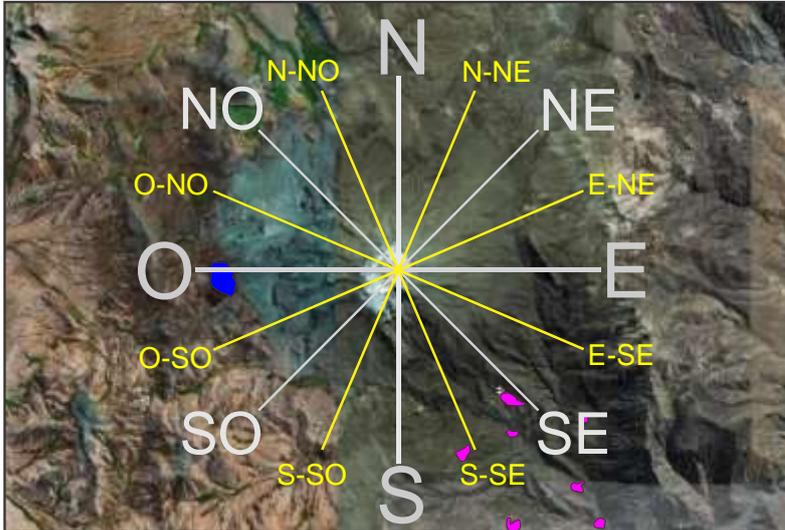


**Foto 10.** Foto de la explosión del 2 de junio obtenidas a las 08:34 horas desde la localidad de Ubina (cortesía J. Acosta).

### 3.2 OBTENCIÓN DE LA DIRECCIÓN PREDOMINANTE DE LAS FUMAROLAS

Cuando las columnas eruptivas de ceniza y gases se eleva por encima del cráter del volcán Ubina, ésta es arrastrada por el viento, en cierta dirección, con relación a los puntos cardinales (Figura 11): Norte- Sur (NS), Este-Oeste (EO) y sus diversas divisiones: Este (E), Este-Noreste (E-NE), Noreste (NE), Norte-Noreste (N-NE), Norte (N), Norte-Noroeste (N-NO), Noroeste (NO), Oeste-Noroeste (O-NO), Oeste (O), Oeste-Suroeste (O-SO), Suroeste (SO), Sur-Suroeste (S-SO), Sur(S), Sur-Sureste (S-SE), Sureste (SE) y Este-Sureste (E-SE). Considerando que la dirección del viento varía

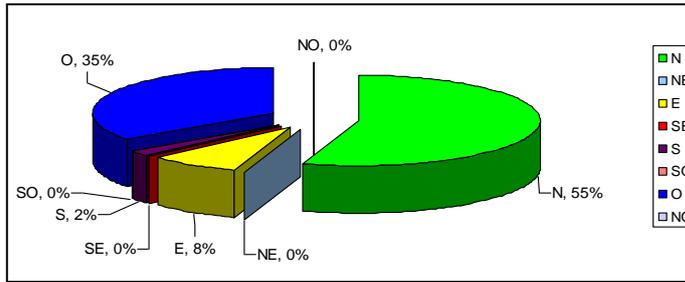
constantemente, se ha considerado tomar en cuenta todas las direcciones posibles, tomando como punto central de los puntos cardinales, al cráter del volcán, tal como se presenta en la Figura 11.



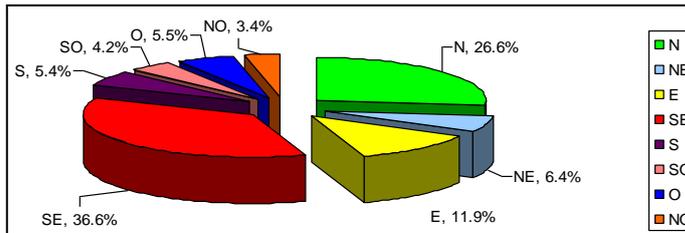
**Figura 11.** Direcciones de desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas

Con la información de la dirección de desplazamiento enviada por el observador del volcán Ubinas, correspondiente al periodo septiembre 2005 a marzo de 2010, se elaboró las Figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17 en porcentaje y año por año; así, entre septiembre y diciembre de 2005, la orientación predominante fue en dirección N con un porcentaje de 55 % (Figura 12); en los años 2006 (Figura 13) y 2007 (Figura 14), periodo de mayor actividad volcánica, las fumarolas de ceniza y gases se orientaron, principalmente en dirección SE con 26.6 % y 24.5 % respectivamente. Justamente en dirección S y SE, se ubican los centros poblados del valle de Ubinas: Querapi, Ubinas, Sacuaya, San Miguel, Tonohaya, Huatahua, Anascapa, Haurina y Escacha, afectados considerablemente por la caída de ceniza.

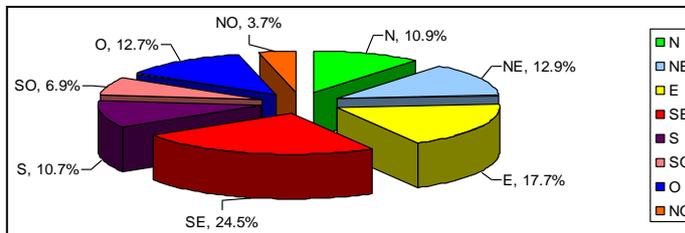
En los siguientes años 2008 y 2009, la orientación preferente de las fumarolas fueron en dirección NE con 18.6 % (Figura 15) y 24.2 % (Figura 16); mientras que entre los meses enero a marzo de 2010, se orientó al SO con un porcentaje de 50.7 % (Figura 17)



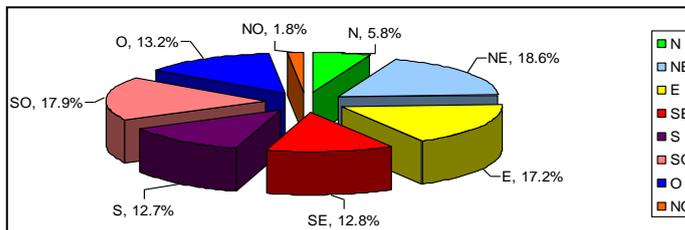
**Figura 12.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección N, durante septiembre a diciembre de 2005



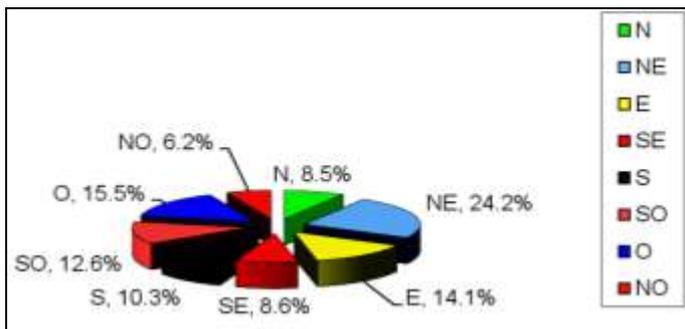
**Figura 13.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección SE, durante el año 2006.



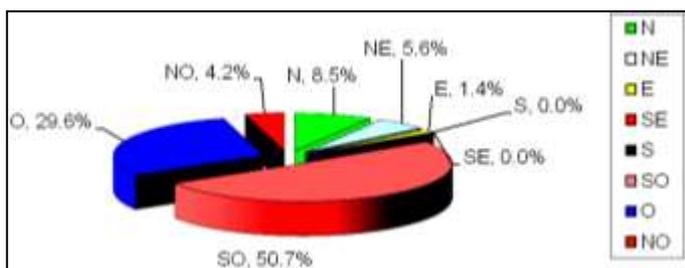
**Figura 14.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección SE, durante el año 2007.



**Figura 15.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección NE, durante el año 2008.

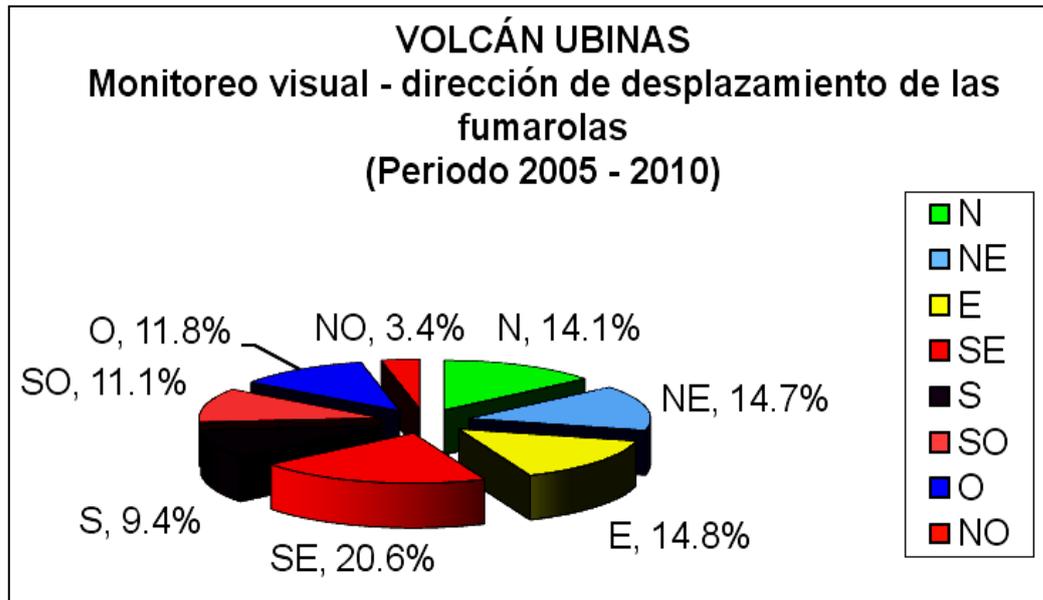


**Figura 16.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección NE, durante el año 2009.



**Figura 17.** Desplazamiento de las columnas eruptivas del volcán Ubinas en dirección SO, durante enero a marzo de 2010.

Analizando la orientación preferencial de las columnas eruptivas de ceniza y gases del volcán Ubinas durante el periodo septiembre 2005 a marzo de 2010 (Figura 18), se observa que en mayor porcentaje (20.6 %), las columnas eruptivas se desplazaron en dirección SE. Esta orientación preferente explicaría los daños causados por la caída de ceniza, a los cerca de 5000 pobladores, ganadería y agricultura del valle de Ubinas (Querapi, Ubinas, Sacuaya, San Miguel, Tonohaya, Huatahua, Anascapa, Huarina y Escacha).



**Figura 18.** Dirección de desplazamiento de las fumarolas durante todo el periodo de monitoreo del volcán Ubinas, septiembre 2005 a marzo de 2010.

#### 4.0 MONITOREO GEODÉSICO

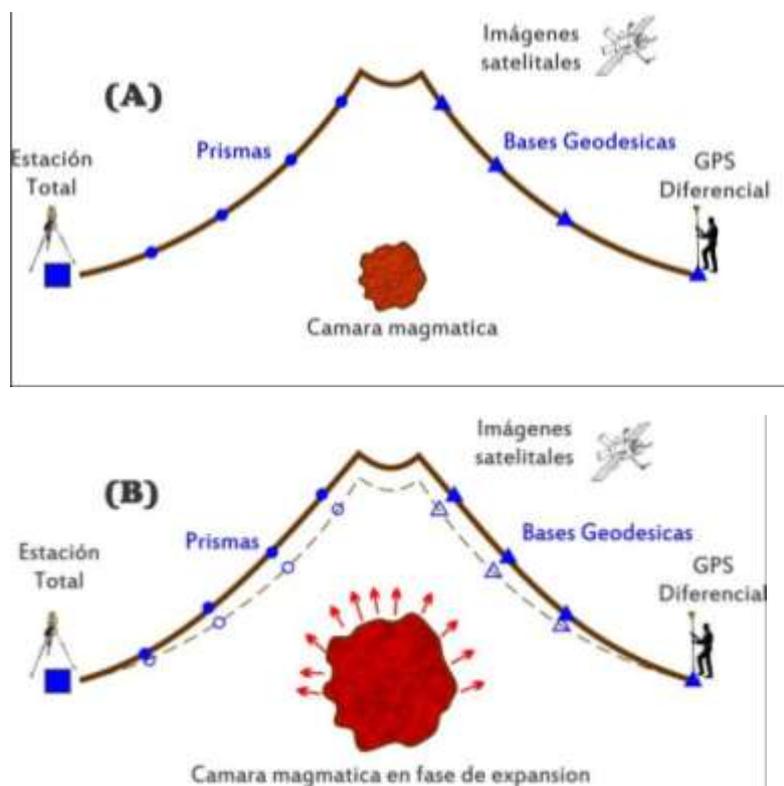
La deformación del suelo debido a la intrusión del magma volcánico, es reconocida como un importante precursor de la erupción de un volcán en actividad. Antes de que ocurra la erupción, por lo general la superficie de la tierra se expande debido al aumento de la presión dentro de la cámara magmática, que es causada por los movimientos ascendentes del magma que se encuentra bajo el volcán. La tendencia expansiva se invierte después de que el magma es liberado de la cámara, provocando una deflación de los flancos del volcán.

El INGEMMET está desarrollando un sistema de vigilancia de volcanes activos implementando técnicas geodésicas con la finalidad de monitorear las deformaciones del suelo como producto de los procesos volcánicos, se instalan hitos geodésicos y se miden su posición relativa y/o absoluta. Para este efecto, se emplean técnicas de geodesia clásica como son la medida electromagnética de distancias y ángulos (EDM), medidas con GPS Diferencial y el análisis continuo de imágenes satelitales (InSAR).

#### 4.1 FUNDAMENTOS DEL MONITOREO GEODÉSICO

La geodesia es la ciencia que se ocupa de determinar la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la tierra, y la localización precisa de cualquier punto en su superficie (Dzurisin D. ,2007). El campo abarcado por la geodesia es muy amplio, y la aplicación de las técnicas de geodesia en la vulcanología se resume en el estudio del cambio de la forma y tamaño de los volcanes (Dzurisin D. ,2007).

La actividad volcánica puede generar deformaciones en la superficie del edificio volcánico, las cuales pueden ser provocadas por diferentes motivos, como la intrusión o desplazamiento de magma, la deflación o inflación debido a fenómenos de calentamiento de magma, calentamiento o enfriamiento, desgasificación, expansión, contracción o redistribución de cuerpos de agua o productos geotermales. Esta dinámica de fluidos puede generar el levantamiento o inflación, o bien el hundimiento o deflación del edificio volcánico, que a su vez pueden ser evaluados como cambios en las coordenadas horizontal y vertical sobre la superficie del edificio volcánico (Figura 19). Estos cambios dependen de la localización de la fuente de presión con respecto a los sitios donde se toman las medidas, así como de la forma, el tamaño y la orientación de esta. También dependen de los cambios que presente la fuente de presión en un periodo determinado de tiempo.



**Figura 19.** (A) La superficie volcánica al inicio de un incremento de magma, véase la posición inicial de las estaciones geodésicas. (B) El magma asciende y genera inflación y por ende deformación en la superficie del volcán y cambio en la posición de los hitos geodésicos.

## 4.2 TÉCNICAS Y EQUIPOS EMPLEADOS

En la etapa inicial de nuestro proceso de diseño e instalación de la red geodésica se ha considerado utilizar la medida electrónica de distancias (EDM), azimuts y ángulos. Esto por la facilidad de uso y bajo costo de los equipos. En las medidas de EDM se utilizan ondas de luz monocromáticas que viajan desde la estación base a la estación reflector (prisma) y viceversa. El instrumento compara las fases de la luz emitida y reflejada para calcular la distancia recorrida. Este resultado depende de la velocidad de la luz en el aire y esta a su vez depende de las condiciones atmosféricas como la humedad, la presión y la temperatura. Los algoritmos para aplicar la corrección respecto a las condiciones atmosféricas se obtienen de las especificaciones técnicas de los equipos empleados, nosotros usamos una estación total robótica marca TOPCON modelo GPT8002A (Foto 11) el cual tiene un rango de medidas de distancia de 7 Km con un prisma simple y una precisión de (3mm + 2ppm). Este instrumento usa el siguiente algoritmo para la corrección atmosférica:

$$Ka = \left\{ 279.85 - \frac{79.585 \times P}{273.15 + t} \right\} \times 10^{-6} \quad L = l \times (1 + Ka)$$

Donde: *Ka*: Valor de la corrección atmosférica  
*P*: Presión atmosférica en milibares (HPa)  
*t*: Temperatura del medio en grados centígrados (°C)  
*L*: Distancia corregida  
*l*: Distancia sin corregir



**Foto 11-** Estación Total empleada en el monitoreo de deformación del volcán Ubina. Marca Topcon modelo GPT8002A

Por otro lado se emplearan también medidas con GPS diferencial, que es un sistema que recibe y procesa información de los satélites y de una fuente terrestre simultáneamente, generando una mayor precisión en la posición calculada. Para tal efecto, nosotros emplearemos inicialmente un GPS Diferencial de una frecuencia marca ProMark3K (Figura 12), este instrumento se usa para comparar y ver la fiabilidad de estos equipos de bajo costo en un monitoreo usando técnicas como el PPP (Precise Point Positioning) sin embargo se espera poder contar con un equipo diferencial de doble frecuencia para tener mejores resultados en la precisión, también contamos con un GPS de doble frecuencia marca Trimble modelo 4000SSE (Figura 13) el cual tenemos en calidad de préstamo, este lo usamos para controlar la posición de las estaciones base.



**Foto 12.** GPS Diferencial marca THALES modelo ProMark3.

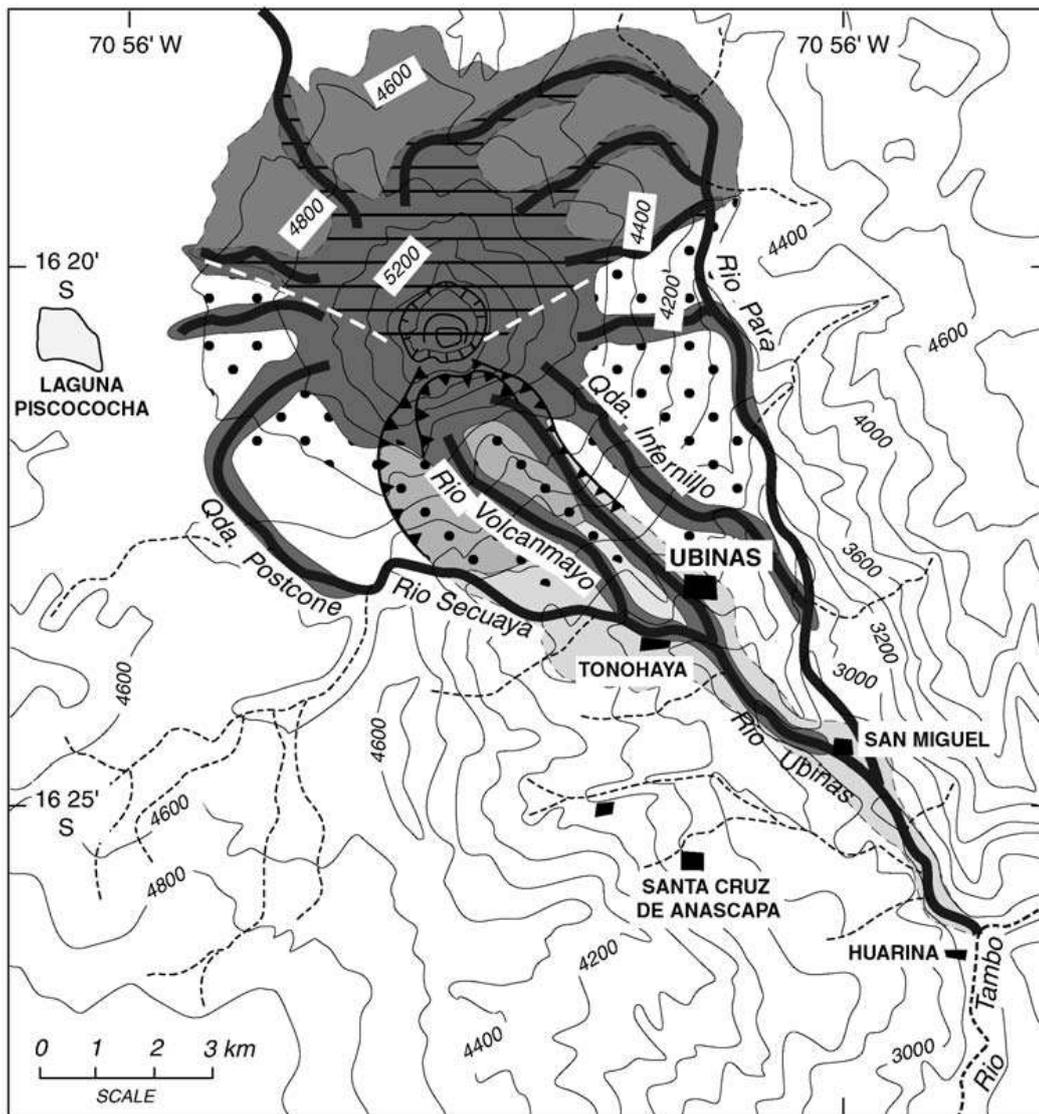


**Foto13.** GPS Geodésico, marca Trimble, modelo 4000SSE.

Por otro lado se está aplicando también la técnica Interferometría Radar (InSAR) que consiste en hacer la diferencia de dos imágenes radar, tomadas sobre una misma zona pero en fechas diferentes. El resultado es una nueva imagen llamada interferograma que es una imagen donde los valores de fase representan las eventuales deformaciones del suelo pero en dirección del satélite. Este trabajo se ha venido desarrollando con imágenes ASAR del satélite ENVISAT, las cuales han sido tomadas en los años 2006, 2007, 2008 y 2009 y se proyecta seguir adquiriendo en los próximos años para realizar el monitoreo respectivo. Este trabajo se realiza en conjunto con la dirección de laboratorios del INGEMMET.

#### **4.3 DISEÑO DE LA RED GEODÉSICA DEL VOLCÁN UBINAS**

El diseño de la red geodésica en el volcán Ubinas se llevó a cabo tomando como referencia trabajos geológicos y geofísicos realizados anteriormente, y la elaboración de modelos teóricos que podrían describir el comportamiento del volcán antes y durante una probable erupción volcánica. Es así que en el volcán Ubinas, de acuerdo con los estudios geológicos realizados por Rivera (1998) y Thouret et al. (2005), se evidenció que el flanco sur es la zona más inestable del volcán debido a que el cráter activo se ubica muy cerca de este flanco, y por tanto, las rocas están muy alteradas, además de poseer una pendiente fuerte. En caso de ocurrir una erupción importante de este volcán, lo más probable es que esta zona colapsaría como lo ocurrido hace 3670 años  $\pm$  60 A.P. (Rivera, 2010), afectando así, a las localidades asentadas a lo largo del valle de Ubinas (Figuras 20, y 21).

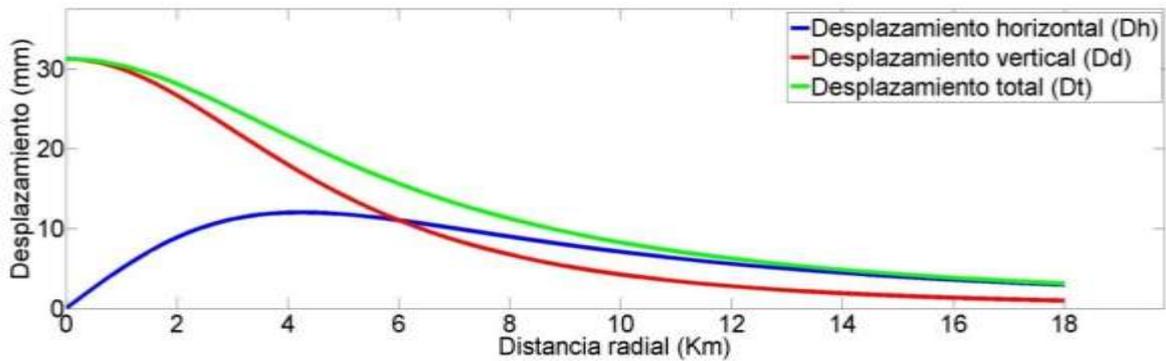


**Figura 20.** Mapa de peligros volcánicos para el Ubinas (Thouret et al. 2002).



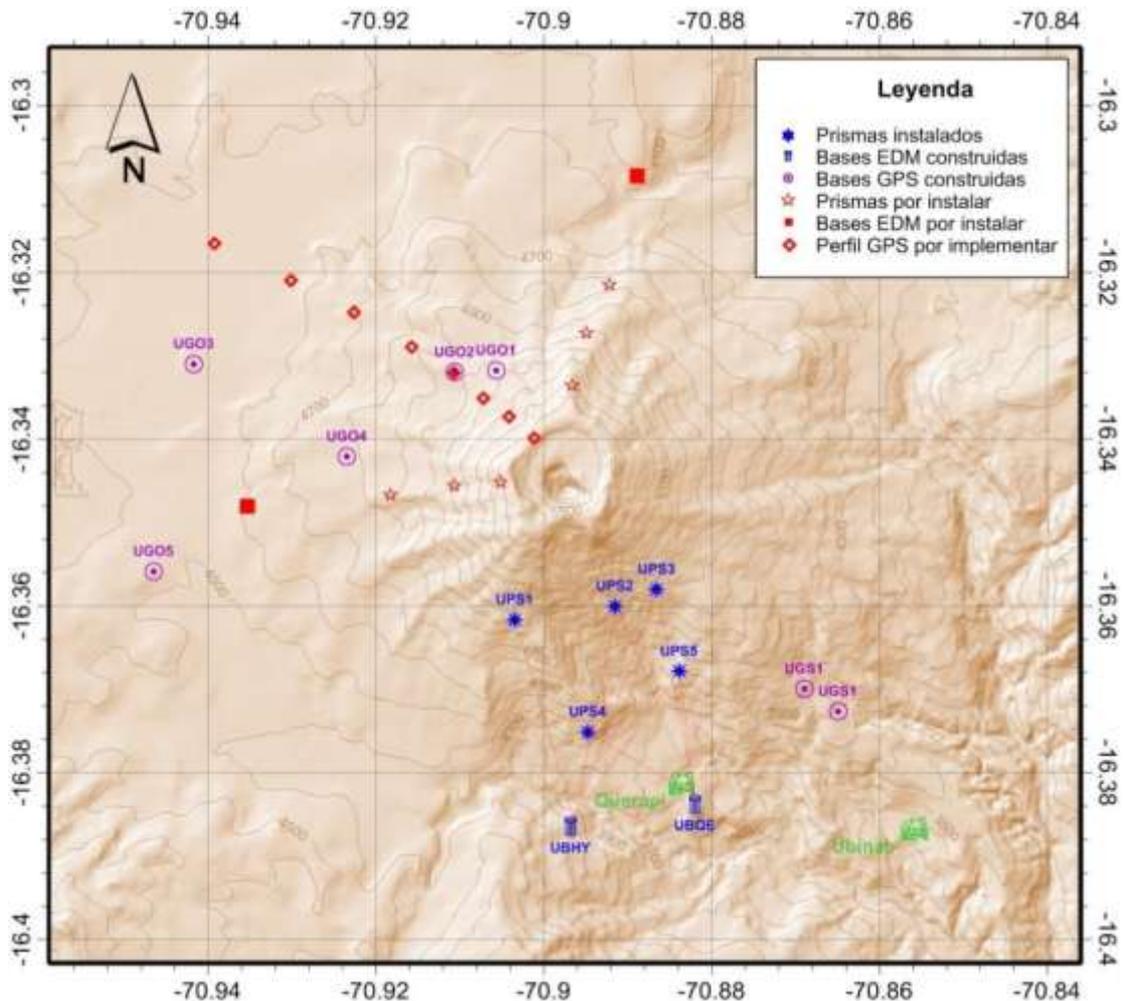
**Figura 21.** Vista del flanco sur del volcán Ubinas, se ha identificado a este flanco como el más inestable, propenso a sufrir derrumbes (Rivera, 2010).

Por otro lado se realizaron modelamientos numéricos básicos como el modelo de Mogi (Mogi, 1958) para ver el comportamiento del volcán ante un incremento de la actividad magmática (Figura 22), con esto podemos ver a que distancias del cráter y a que alturas podríamos tener mayor deformación horizontal y/o vertical y definir la técnica más apropiada a emplearse.



**Figura 22.** Modelo teórico de deformación para el volcán Ubinas, cálculos preliminares

Con estas características estructurales establecidas según los estudios antes mencionados nosotros diseñamos primero la red de monitoreo de deformaciones con la técnica EDM, luego redistribuimos las bases de EDM para ser usadas como puntos de control para ser usadas con GPS. Para hacer esto físicamente consideramos otros aspectos como la accesibilidad, visibilidad radial, incongruencia con vistas tangenciales, cobertura de los flancos inestables, distribución radial, etc. Es así que la red de monitoreo con técnicas geodésicas diseñada para el volcán Ubinas consta básicamente de bases y reflectores para EDM y bases y perfiles para GPS, esto lo podemos ver en la Figura 23, donde se muestra además las bases construidas y las que faltan construir.

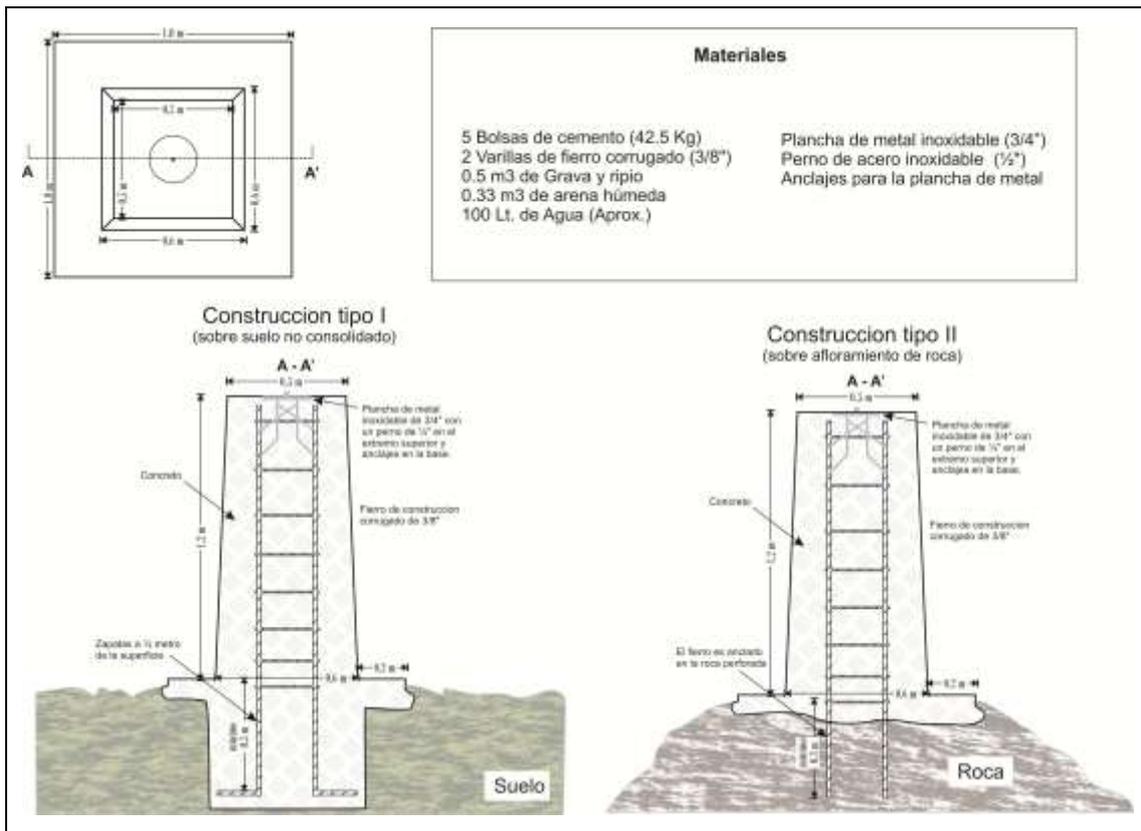


**Figura 23.** Red de monitoreo geodésico diseñada para el volcán Ubinas, se muestran los avances y las propuestas para futuro

#### 4.4 CONSTRUCCIÓN DE MONUMENTOS E INSTALACIÓN DE REFLECTORES

Como parte del trabajo de la implementación de la red geodésica del volcán Ubinas, se construyeron monumentos para las mediciones de EDM y GPS, así mismo se instalaron reflectores a diferentes alturas y flancos del volcán, los cuales fueron identificados previamente en el estudio de gabinete.

En la Figura 24 se muestran los planos empleados en la construcción de las bases para la técnica de EDM y GPS, se han construido dos tipos de bases descritas en esta figura la primera consiste en una base instalada sobre terreno suelto en donde se construyó sobre un cimiento de 0.5 m de profundidad, el segundo tipo consiste en una construcción sobre afloramiento de roca. En ambos casos el presupuesto para la construcción fue muy similar siendo los costos más altos la mano de obra y alquileres de herramientas y equipos. En la Foto 14 se muestra un ejemplo de un monumento terminado. Sin embargo este modelo de monumento puede ser optimizado, mejorando el tiempo de construcción y el costo del mismo, esto, si empleamos nuevos planos y maquinaria de campo.



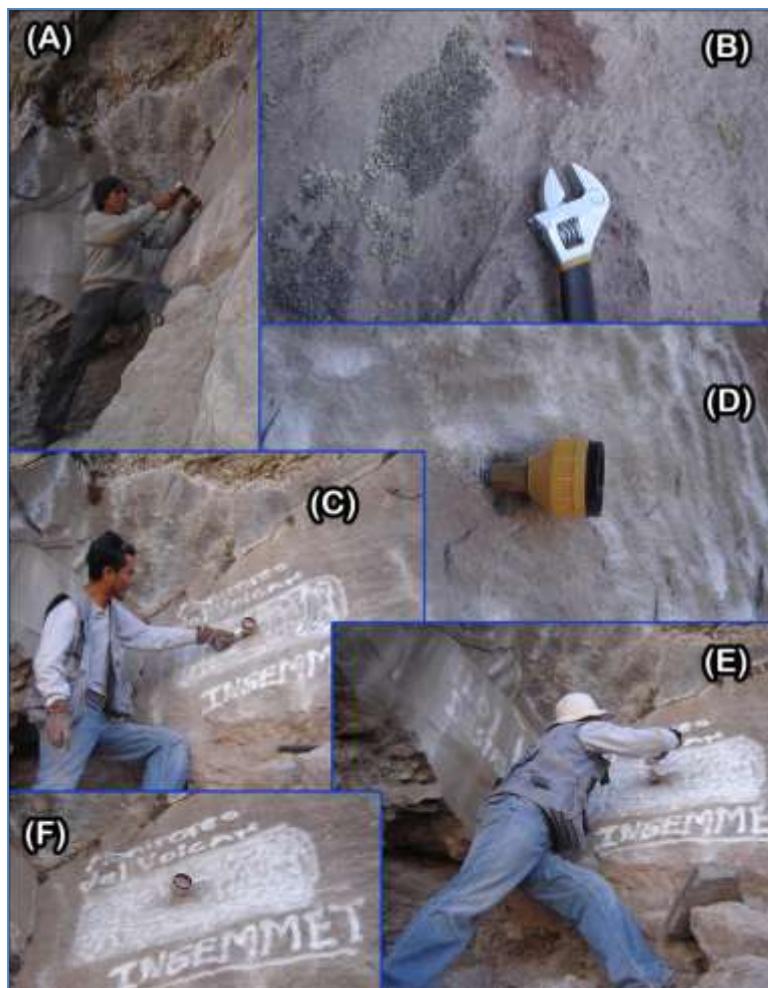
**Figura 24.** Croquis del monumento para realizar medidas de EDM.



**Foto 14.** Monumento para EDM terminado y en uso (UD02)

Por otro lado para completar la red de monitoreo con EDM se planificó la instalación de reflectores en diferentes flancos del volcán, en una primera

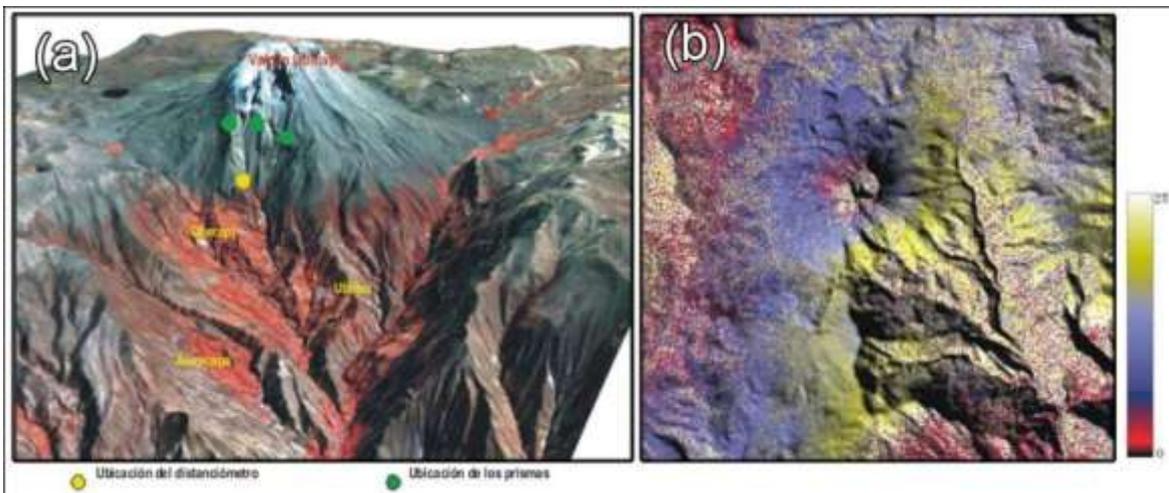
etapa se instalaron prismas de registro temporal, luego se instalaron permanentemente. Inicialmente la instalación de los reflectores se realizaba anclando con concreto sobre roca solida lo que conllevaba a tomar mayor tiempo; sin embargo nuestro sistema de instalación actual es más eficiente en cuanto a tiempo y personal, básicamente la instalación consistió en anclar pernos de expansión en rocas estables (coladas de lava), usando una broca diamantada, esto se realizó manualmente golpeando la broca con una comba regular, sin embargo, esto se puede optimizar si usáramos un taladro a baterías lo que mejoraría enormemente la calidad de la instalación y el tiempo empleado. En la Figura 25 se muestra una secuencia de la instalación de un prisma en el volcán Ubinas.



**Figura 25.** Secuencia de la instalación de un prisma con perno de expansión. (A) se perfora manualmente, (B) se ancla el perno de expansión, (C) y (D) mediante un adaptador de bronce se acopla el prisma al perno y se ajusta untando pegamento para metal, (E) se protege el prisma con masilla plástica y (F) se pinta el punto para la ubicación con la estación total.

#### 4.5 MONITOREO GEODÉSICO DURANTE EL PERIODO MAYO A JUNIO DE 2006

A fin de monitorear los cambios que puedan suceder en esta zona, como consecuencia a la intensa actividad volcánica presentada desde marzo de 2006, el INGEMMET efectuó el monitoreo geodésico de medición de distancias (EDM) utilizando la Estación Total y Distanciómetro Laser (Figura 26A) entre mayo y junio de 2006 y mediante el análisis de imágenes satelitales ENVISAT del 4 de diciembre del 2004 y del 13 de mayo del 2006 a las cuales se aplicó el método de Interferometría de Radar, InSAR (Figura 26B) en cooperación con CONIDA (Mariño et al., 2006). Los resultados obtenidos de la medición electrónica de distancias (EDM) y la técnica de Interferometría de Radar (InSAR) mostraron que en el volcán Ubinas no se habría producido deformación hasta junio de 2006.

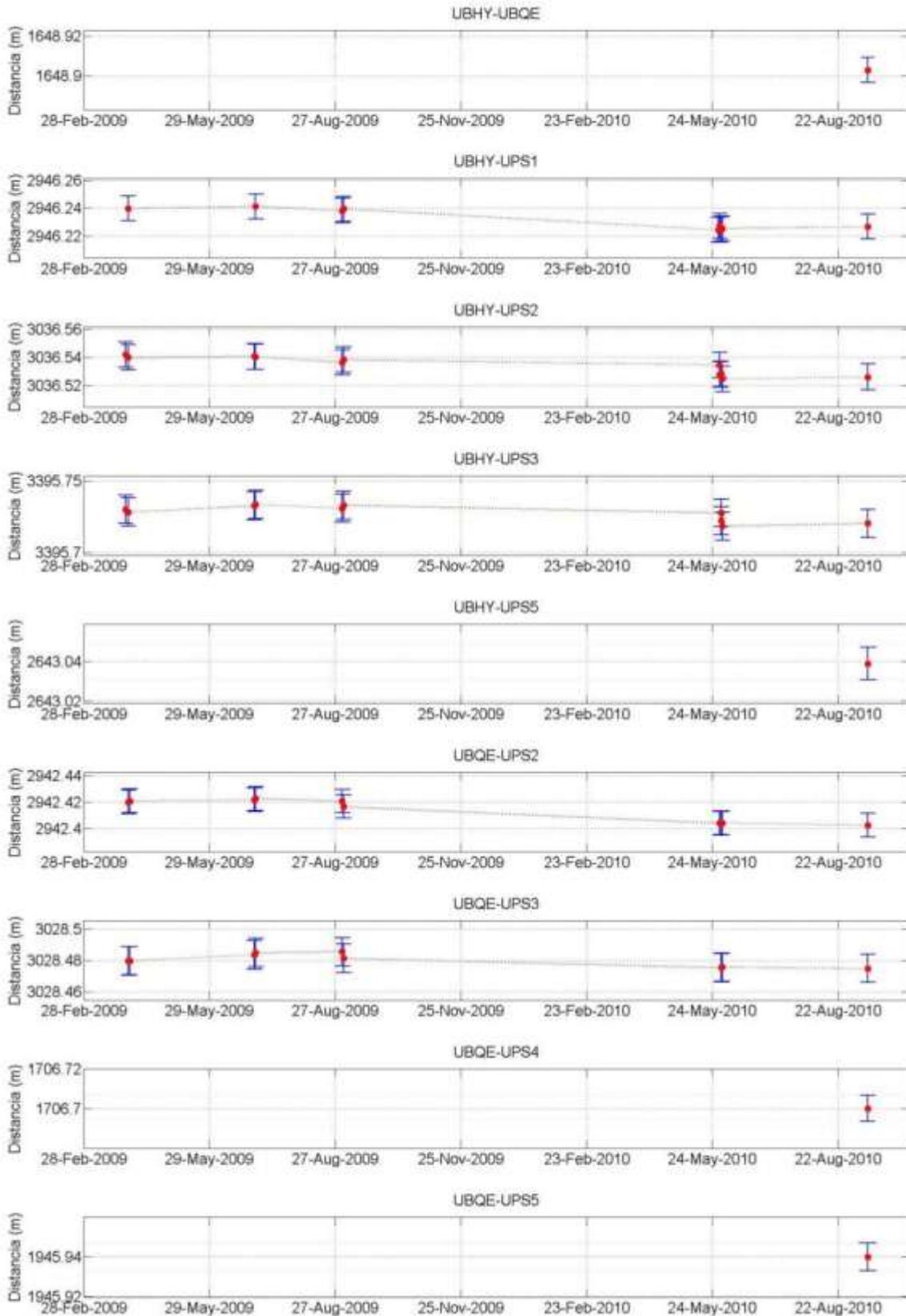


**Figura 18.**(a) Ubicación de las estaciones geodésicas ubicadas en el flanco sur del volcán Ubinas, periodo mayo a junio de 2006. (b) Monitoreo geodésico mediante la técnica InSAR, periodo mayo de 2006. En el volcán Ubinas no se observó deformación

#### 4.6 MEDICIÓN DE DISTANCIAS (EDM) DURANTE EL PERIODO DE MONITOREO

Durante el año 2010, el trabajo consistió, en completar la instalación de los prismas para la medición electrónica de distancias (EDM) desde las estaciones base hacia las estaciones soporte de prismas durante las campañas de campo realizadas entre marzo-abril, junio-julio y septiembre de 2009.

Las mediciones efectuadas desde las estaciones base UBHY y UBQE hacia las estaciones soporte de prismas UPS1, UPS2 y UPS3, han permitido obtener distancias promedio y comparar los valores correspondientes a las campañas marzo-abril, junio-julio y septiembre de 2009 en un proceso de ida y vuelta (Figuras 27). Estas variaciones de distancias oscilan entre 1 mm y 5 mm, los mismos que se encuentran dentro del rango de precisión del equipo. Las variaciones observadas durante las 3 campañas pueden estar atribuidas también a factores atmosféricos pues no se realizó las correcciones respectivas.



**Figura 27.** Resultados de las medidas electrónicas de distancia. Estos resultados están aun sin las correcciones por factores atmosféricos (temperatura y presión).

Si se compara los resultados obtenidos en el volcán Ubinas con la de otros volcanes activos como el Tungurahua en Ecuador (Escuela Politécnica Nacional Departamento de Geofísica, 2005) y Turrialba en Costa Rica (OVSICORI, 2007), donde las variaciones de distancias han sido de centímetros y observados durante varios años de monitoreo, entonces podemos deducir que el volcán Ubinas no presentó deformación importante durante el año 2009 y 2010.

## CONCLUSIONES

Del análisis de la información del monitoreo geoquímico, visual y geodésico, correspondiente al periodo septiembre 2005 a noviembre de 2010, se concluye que:

1. El volcán Ubinas ha registrado hasta 24 erupciones desde el año 1550 D.C. hasta hoy en día, constituyéndose así, en el volcán más activo del sur peruano.
2. Desde septiembre de 2005 hasta la actualidad, el INGEMMET, con la participación activa del Gobierno Regional de Moquegua (GRM) y la Municipalidad Distrital de Ubinas, realiza el monitoreo del volcán Ubinas: el monitoreo geoquímico continuo en la fuente Ubinas Termal, el monitoreo visual con el reporte diario del observador, desde la localidad de Ubinas y el monitoreo geodésico, con la construcción de 5 estaciones en el 2008 y posterior medición electrónica de distancias desde el 2009 hasta la actualidad siendo tres campañas por año las que se vienen programando.
3. Los resultados del análisis del monitoreo muestran que la mayor actividad volcánica se presentó entre marzo y octubre de 2006, evidenciándose básicamente:
  - Con las variaciones de temperatura en la fuente Ubinas Termal entre 32.1 °C y 42.1 °C el 16 de abril, hasta 12 grados por encima de su valor promedio (30.12 °C).
  - La concentración de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros (Cl) de la fuente UBT, mostraron variaciones importantes entre marzo a mayo, con valores de sulfatos entre 845 a 1051 mg/L y de cloruros entre 169 a 358 mg/L.
  - Ocurrencia de numerosas explosiones, resaltando, las 8 explosiones ocurridas el 29 de mayo del 2006.
  - Las columnas eruptivas de ceniza y gases de color gris oscuro alcanzaron alturas de hasta 4000 m y se orientaron, preferentemente, en dirección SE. Debido a esta orientación preferencial las localidades cercanas al volcán, Querapi, Ubinas, San Carlos de Tite, Santa Rosa de Para, Sacohaya, San Miguel y Tonohaya fueron considerablemente afectados con la caída de ceniza, los cuales se vieron reflejados en la salud de las personas, la ganadería y agricultura, principales fuentes de vida de los aproximadamente 5000 habitantes del valle de Ubinas.
  - Presencia de 2 anomalías térmicas altas el 30 de mayo y 14 de julio de 2006, asociado probablemente al arribo de magma a la superficie.
  - Aún cuando la actividad del volcán fue intensa entre estos meses, no se ha podido determinar deformación son la superficie del volcán, sin embargo solo se ha empleado la técnica InSAR para realizar este tipo de monitoreo.
4. Periodos de incremento de actividad volcánica se presentaron también entre febrero y junio de 2007, octubre de 2007, abril de 2008 y de enero a junio de 2009, donde:
  - La columna eruptiva de ceniza y gases de colores intercalados entre gris oscuro, claro y azulinos, alcanzaron alturas de 2500 m y 2800 m.

- La temperatura de la fuente Ubinas Termal (UBT) presentó ligeras variaciones en sus valores, de 29.2 °C a 29.7 °C, coincidiendo principalmente con épocas de mayor emisión de ceniza de color gris oscuro y gases; sin embargo una disminución en los valores de temperatura fueron registrados entre agosto y noviembre de 2007, los mismos que podrían estar relacionados a la ocurrencia de los sismos de Pisco del 15 de agosto (Mw=7.9) y de Tocopilla del 14 de noviembre (Ms=7.7).
  - Durante los años 2007 y 2008, las variaciones se presentaron principalmente en los  $\text{SO}_4^{2-}$  con valores de 1043 a 1184 mg/L (2007) a 1011 a 1238 mg/L (2008); mientras que el Cl<sup>-</sup> presentó ligeras variaciones entre 306 a 333 mg/L (2007) y 305 a 333 mg/L (2009)
  - Entre enero y junio de 2009 se produjo 9 explosiones en un lapso de 5 días (24 y 27 de mayo). La explosión más representativa, de este periodo, es la ocurrida el 2 de junio. La columna eruptiva alcanzó una altura de 1500 m, se desplazó en dirección NE hasta una distancia de 180 km, la mayor distancia evidenciada desde el inicio del proceso eruptivo en marzo de 2006. Se reportó la caída considerable de ceniza en las localidades de Querapi, Ubinas, Sacohaya, San Miguel y Tonohaya. Debido a este incremento, el Comité Científico Ad-Hoc, del cual forma parte el INGEMMET, emitieron el Comunicado Nro 23, con fecha 25 de mayo de 2009
5. Desde julio a diciembre de 2009 se evidencia disminución considerable de la actividad volcánica, y de enero a noviembre de 2010, esta actividad se mantiene en sus niveles más bajos, siendo esto corroborado por los datos obtenidos en las rutinas de monitoreo:
- Los valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica y concentración de sulfatos cloruros no presentaron variaciones importantes.
  - La altura de las columnas eruptivas de ceniza y gases de color gris claro, blanco y azulino, estuvieron por debajo de los 800 m (julio a diciembre, 2009) y 200 m (enero a marzo, 2010); similar a lo observado en los meses de septiembre a diciembre de 2005, y hasta noviembre del 2010 no se han registrado emisiones considerables.
  - No se registraron explosiones
  - Por otro lado, el análisis de la información obtenida del monitoreo geodésico mediante 6 mediciones de distancias (EDM) e InSAR, correspondiente al año 2009 y 2010, ha permitido mostrar que el volcán Ubinas no se habría deformado.
6. Por tanto, la correlación de los resultados del monitoreo geoquímico, visual y geodésico del volcán Ubinas desde septiembre 2005 hasta noviembre de 2010, muestra una disminución paulatina de la actividad del volcán con el paso del tiempo, encontrándose en estos momentos, en sus niveles más bajos con respecto a marzo de 2006.

## RECOMENDACIONES

Sin embargo, aún cuando se observa una disminución paulatina de la actividad del volcán Ubinas, se RECOMIENDA:

1. Que se continúe con las políticas de prevención y mitigación de desastres frente a la erupción del volcán Ubinas, tales como simulacros de evacuación, charlas educativas, entre otros. Estos trabajos deben ser coordinados y ejecutados conjuntamente con el Comité Distrital de Defensa Civil de Ubinas y el Comité Provincial de Defensa Civil de Gral. Sánchez Cerro.
2. Que el CRDCM a través de la Dirección Regional de Agricultura, realice una evaluación de daños por efecto de las cenizas, en la actividad agrícola y ganadera en áreas cercanas al volcán Ubinas.
3. Que el Gobierno Regional de Moquegua (GRM) coordine y realice el mantenimiento de los albergues de Chacchagén y Anascapa, a fin de atender una posible evacuación futura en caso se incremente la actividad eruptiva del volcán Ubinas.
4. Que el GRM, en coordinación con las municipalidades de Ubinas y Gral. Sánchez Cerro, realicen el mantenimiento de las vías carrozables y rutas de evacuación, con la finalidad de facilitar la evacuación de los pobladores en caso se incremente la actividad eruptiva del volcán Ubinas.
5. Que se continúe con el monitoreo volcánico y se continúe con la implementación adecuada, a fin de tener una mayor capacidad de pronóstico. Estos trabajos deben ser realizados por el Comité Científico, con el apoyo del GRM, la Municipalidad de Ubinas y la Municipalidad Provincial Gral. Sanchez Cerro.
6. Que se implemente un sistema de monitoreo permanente que nos permita registrar e identificar las variaciones en el nivel de actividad en tiempo real, aun siendo la actividad muy baja nos ayudará a establecer un nivel de actividad referencial para comparar con épocas donde se presenten anomalías importantes.
7. A mediano plazo, se recomienda ejecutar la reubicación definitiva de los poblados aledaños al volcán Ubinas, tal como se señala en el Informe Técnico “Evaluación de Seguridad Física de Áreas Aledañas al Volcán Ubinas” (INGEMMET, Setiembre 2006), realizado a solicitud del GRM.

## **AGRADECIMIENTOS**

Especial agradecimiento al Gobierno Regional de Moquegua (GRM) y la Municipalidad Distrital de Ubinas (Moquegua), por el apoyo brindado en los diversos estudios y trabajos vulcanológicos. A la Municipalidad Distrital de Ubinas, por proporcionar los materiales de construcción (cemento, arena, fierros, etc.) y ayudantes de campo, que ha permitido la construcción de las primeras 5 estaciones geodésicas (de un total de 12): 2 estaciones base y 3 estaciones soporte de prismas. Las estaciones construidas permitirán continuar con la implementación y monitoreo geodésico del volcán Ubinas.

## REFERENCIAS

- Clegg S (2006). Volcanic SO<sub>2</sub> Measurements at Ubinas Volcano, Perú, Field report, 3 p.
- Cruz V., Masías P. (2007). Anomalías térmicas en fuentes de agua termales en relación con el terremoto del 15 de agosto (Pisco). VIII Congreso Nacional e Internacional de Geografía, Carlos Nicholson, Arequipa.
- Dzurisin D. (2007). Volcano Deformation, Geodetic Monitoring Techniques. Springer-Praxis Books In Geophysical Sciences. 441 p.
- Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Geofísica (2005). Volcán Guagua Pichincha Resumen Anual de Actividad 2005. 3 p.
- González K. (2001). Estudio Estructural del sistema hidrotermal del Volcán Ubinas aplicando métodos geofísicos y geoquímicos. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis de Ingeniero Geofísico, 177 p.
- González K. (2009). Monitoreo InSAR de los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani, 2009. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Informe. 9 p.
- Mariño J., Rivera M., Cacya L., Thouret J. C. (2006). Informe de trabajos efectuados por el INGEMMET, durante la crisis volcánica del volcán Ubinas (Moquegua), marzo a Julio del 2006.
- Masías P., Antayhua Y., Cruz V., Mariño J., Rivera M. (2008). Variations in temperature into "Ubinastermal" water source related to the eruptive activity of the Ubinas volcano during 2007 – 2008, Poster, 10th Field Workshop on Volcanic – México, 2008.
- Mogi K. (1958). Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around them. Bull. Of The Earthquake Research Institute, Vol. 36, pp. 99-134
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica - Universidad Nacional Costa Rica (2007). Boletín Técnico, pp6.
- Rivera M. (1998). El Volcán Ubinas (sur del Perú): Geología, Historia eruptiva y Evaluación de las amenazas volcánicas Actuales. Tesis para optar el título profesional de Geólogo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Escuela de Ingeniería Geológica. 74-75.
- Rivera M., Mariño J., Thouret J.C., Cacya L., Cruz V., Zuñiga S. (2006) Mapa preliminar de peligro volcánico del volcán Ubinas. XIII Congreso Peruano de Geología. 4 p.
- Rivera M. (2008). Petrología y geoquímica de rocas de los volcanes Misti y Ubinas (2008). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Informe técnico. 34 p.

Rivera M. (2010). Genèse et évolution des magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (Sud du Pérou). Diplôme d'Études Approfondies. 414 p.

Thouret J.C., Rivera M., Worner G., Gerbe M.C., Finizola A., Fornari M., Gonzales K. (2005). Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. *Bulletin of Volcanology*; 67: 557 - 589.