

Informe Técnico:

MONITOREO DEL VOLCÁN UBINAS, 2015

Por:

Pablo Masías, Rosa Anccasi, Rafael Miranda, Ivonne Lazarte, Domingo Ramos

AREQUIPA-PERÚ

2016

Director Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Lionel Fidel Smoll

Coordinador del Observatorio vulcanológico del INGEMMET:

Marco Rivera Porras

Integrantes del grupo de monitoreo volcánico del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET:

Domingo Ramos

Pablo Masías

Edú Taipe

Roger Machaca

Mayra Ortega

Fredy Apaza

Ivonne Lazarte

Dino Enríquez

Rafael Miranda

Rosa Anccasi

Beto Ccallata

André Gironda

Abrahán Mamani

Guido Núñez

Jonathan Díaz

Albert Ramos

Foto de portada: volcán Ubinas 15 de abril 2014 (P. Masías)

* Febrero 2016

Índice

1. Introducción
 - 1.1. Ubicación del volcán Ubinas
 - 1.2. Objetivos
 - 1.3. Antecedentes
2. Monitoreo del volcán Ubinas
 - 2.1. Monitoreo sísmico
 - 2.1.1. Tipos de sensores sísmicos
 - 2.1.2. Operatividad de los sensores sísmicos
 - 2.1.3. Transmisión de la información
 - 2.1.4. Procesamiento y análisis de data sísmica
 - 2.2. Monitoreo geoquímico
 - 2.2.1. El monitoreo del flujo de SO₂ en las fumarolas del Ubinas
 - 2.2.2. Monitoreo de fuentes de agua
 - 2.2.3. Métodos de muestreo y análisis de agua
 - 2.3. Monitoreo geodésico
 - 2.3.1** Método de monitoreo EDM
 - 2.3.2** Método de monitoreo GPS
 - 2.3.3** Instrumentación Geodésica
 - 2.4. Monitoreo visual
 - 2.4.1. Operatividad de las cámaras de vigilancia del volcán Ubinas
3. Resultados del monitoreo
 - 3.1. Sismicidad del Ubinas
 - 3.1.1. Ocurrencia sísmica
 - 3.1.2. Estadística por tipo de evento
 - 3.1.3. Porcentaje de ocurrencia
 - 3.1.4. Energía sísmica
 - 3.1.5. Localización de eventos sísmicos tipo VT
 - 3.1.6. Análisis auto-regresivo de sismos tipo Tornillo
 - 3.2. Resultados del monitoreo geoquímico del Ubinas
 - 3.2.1. Resultados del Flujo de SO₂ medido con el DOAS
 - 3.2.2. Resultados del monitoreo de aguas en el volcán Ubinas
 - 3.3. Interpretación de resultados de geodesia
 - 3.3.1. Monitoreo EDM
 - 3.3.2. Monitoreo GPS
 - Serie temporal para la estación UBQE
 - Serie temporal para la estación UBHY
 - Serie temporal para la estación UBPI
 - Serie temporal para la Estación URGW
 - Serie temporal para la Estación UBCH
 - 3.4. Monitoreo visual del Ubinas
4. Recomendaciones
5. Conclusiones
6. Bibliografía

1. Introducción

Este trabajo, cuyo objetivo es dar a conocer los avances y resultados obtenidos en el monitoreo volcánico del Ubinas, efectuado durante el año 2015, es uno de los productos comprometidos en el Programa Operativo Institucional del INGEMMET para el presente año (POI-2015). Así, los resultados de los trabajos presentados en este informe han sido desarrollados en el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), que pertenece a la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), bajo el nombre de ACT02: **Monitoreo geofísico, geodésico, geoquímico y visual de volcanes activos en el sur del Perú**. De igual forma, este informe es uno de los productos del Programa Presupuestal 068 (PPR-068) “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, establecido por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), a través de la Dirección General de Presupuesto público.

El volcán Ubinas, considerado el volcán más activo y peligroso del sur peruano, y sus 25 episodios eruptivos ocurridos en los últimos 500 años, están íntimamente asociados al proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana. Actualmente más de 5000 personas viven dentro de un radio de 20 km del volcán; estas personas y sus inversiones agroeconómicas están en permanente riesgo por las constantes y recientes erupciones de este volcán.

Desde setiembre del 2013, 2014 y 2015, el volcán Ubinas ha presentado su último proceso eruptivo, que en función de una evaluación multidisciplinaria basada en el resultado del monitoreo con metodologías sísmicas, geodésicas, geoquímicas, visuales y remotas, fue catalogada como baja (IEV=2) por el OVI. Este proceso eruptivo consistente de una actividad explosiva, con emisiones de ceniza, eyección de bloques balísticos, intensa actividad sísmica y emisiones de gases, es monitoreado permanentemente con modernos equipos por el OVI. Asimismo, la información recabada es publicada en tiempo casi real en la página web del INGEMMET <<http://ovi.ingemmet.gob.pe/>>. Además, esta información, luego de ser procesada, es plasmada en reportes diarios, semanales y mensuales. Además con participación del SENAMHI se emitieron Alertas de Caída de Ceniza (ACC), los cuales fueron remitidos a autoridades, y público interesado en la gestión de riesgos asociados al volcán Ubinas vía correo electrónico y SMS.

Como se verá en este informe, durante el 2015, el OVI ha dado un paso importante en el monitoreo del volcán Ubinas con 6 sismómetros (uno con transmisión de información en tiempo real hacia el OVI), una estación escáner DOAS instalada en la Municipalidad de Ubinas (con transmisión de información en tiempo real hacia el OVI), 2 modernas cámaras para el monitoreo visual ubicadas en los poblados de Ubinas y San Juan de Tarucani (con transmisión de información en tiempo real hacia el OVI) y mejoramiento en las mediciones de deformación y muestreo geoquímico de aguas y gases. Finalmente, el monitoreo remoto en base a imágenes satelitales (sistemas MIROVA y OMI), se ha constituido en una herramienta imprescindible en el monitoreo de puntos calientes, como la presencia de lava en el cráter del volcán.

1.1. Ubicación del volcán Ubinas

El volcán Ubinas (Fig. 1.1), se encuentra localizado a 90 km al Norte de la ciudad de Moquegua y a 69 km al Este de la ciudad de Arequipa ($16^{\circ}22' S$, $70^{\circ}54' O$; 5672 msnm; Fig. 1.2). Políticamente, pertenece al Departamento de Moquegua, Provincia General Sánchez Cerro, Distrito de Ubinas.

Al Sur y Sureste del volcán se localizan los principales poblados, entre ellos Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacohaya, San Miguel, Huatahua, Anascapa, Huarina, Escacha y Matalaque. Hacia el Noroeste se localiza San Juan de Tarucani (Arequipa) También existen poblados importantes en zonas circundantes como Chojata, San Miguel de Coroise, Torata, Lloque, Lucco Yalagua, Casapata, Santa Rosa de Phara, Postocone, Yanapuquio, Suyoe, Salinas Moche, Santa Lucia entre otros.

La población del valle de Ubinas se dedica principalmente a la actividad agrícola y ganadera. Así, dentro del área de influencia del volcán existen terrenos de cultivo, carreteras carrozables y diversas obras de infraestructura (reservorios de agua, canales de irrigación, etc.). En los últimos años, la población se ha estado dedicando a la producción de leche, la cual se ha estado convirtiendo en el principal agente económico de la zona.



Fig. 1.1. Vista del flanco sur del volcán Ubinas desde la Plaza del distrito de Ubinas.



Fig. 1.2. Mapa de ubicación y accesibilidad del volcán Ubina.

1.2. Objetivos

El presente informe tiene los siguientes objetivos:

- Presentar información de los distintos métodos de monitoreo volcánico empleado por el OVI para determinar el grado de actividad del volcán Ubina en el 2015.
- Informar sobre los avances realizados en torno al monitoreo del volcán Ubina realizado por el OVI.
- Cumplir con las metas programadas en el POI-2015.
- Informar sobre las falencias y necesidades para fortalecer el monitoreo del volcán Ubina.

1.3. Antecedentes

El volcán Ubina es considerado como el volcán más activo del Perú. Desde 1550 a la fecha, se han contabilizado 25 erupciones, lo que en promedio indicaría un periodo de recurrencia eruptiva de cada 18 años aproximadamente. En general, estas erupciones se

han caracterizado por ser leves a intensas con importantes emisiones de gases y ceniza, que han ocasionado graves daños a la población y su economía (Ramos, et al 2014).

Precisamente, la última erupción del volcán Ubinas se remonta a los años 2006 a 2009. Esta erupción fue de tipo magmático y tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (EIV) de 2.

Posteriormente, después de cuatro años de aparente tranquilidad, desde el 02 de setiembre del 2013, se inicia un nuevo proceso eruptivo, el cual continúa actualmente. Este nuevo proceso, al igual que los procesos anteriores, se caracterizó por presentar emisiones de gases y ceniza de manera permanente, también, se ha presentado emisiones de productos balísticos expulsados desde el cráter del volcán a varios kilómetros a la redonda. Este fenómeno, atemorizó a los pobladores del valle de Ubinas, provocando la muerte de ganado auquénido, la pérdida de sus sembríos, etc. En consecuencia, mediante DS N° 028-2014-PCM, se declara en Estado de Emergencia el Distrito de Ubinas, de la Provincia General Sánchez Cerro, del Departamento de Moquegua y el Distrito de San Juan de Tarucani, de la Provincia de Arequipa, del Departamento de Arequipa <www.pcm.gob.pe>.

2. Monitoreo del volcán Ubinas

El INGEMMET inició los trabajos de monitoreo del volcán Ubinas con el muestreo y análisis sistemático de las aguas termales que brotan en inmediaciones del volcán, desde setiembre del 2005. Entre los años 2008 al 2012, se construyeron bases geodésicas para el monitoreo de la deformación del volcán. Los métodos de monitoreo progresivamente fueron complementándose hasta que en el año 2013, el OVI, instaló una estación sísmica en el pueblo de Querapi, con transmisión de datos sísmicos en tiempo real. Asimismo se intensificó la toma de muestras de agua para el monitoreo geoquímico y se instaló una cámara web para el monitoreo visual y una estación escáner para el monitoreo de gases del Ubinas.

Durante el 2015, se consolidó el monitoreo del Ubinas, generado por la prolongación de la actividad eruptiva del Ubinas iniciada en septiembre del 2013. Así, las acciones desarrolladas durante este año, se resumen de la siguiente manera:

2.1 Monitoreo sísmico

La Red de Monitoreo Sísmico del Volcán Ubinas, que operó durante el año 2015, estuvo conformada por 06 estaciones sísmicas de banda ancha: 03 estaciones, con almacenamiento de datos en su disco interno (UBN05, UBN08 y UBN09) y 03 estaciones con transmisión de datos vía telemetría (UBN02, UBN04 y UBN10), en tiempo real hacia el centro de monitoreo del OVI.

El cuadro 2.1.1 muestra la fecha de instalación de cada una de las estaciones que conforman la red de monitoreo sísmico, así como el tipo de estación y sus coordenadas.

Cuadro 2.1.1 Estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas, en respuesta a la proceso eruptiva del 2015.

Estación	Fecha de instalación	Sismómetro	UTM-E	UMT-S
UBN02	01/01/2015	Guralp-6TD	299907.51	8189694.00
UBN04	04/02/2015	Guralp-6TD	294925.63	8191826.08
UBN05	22/04/2015	Guralp-6TD	296546.08	8194510.52
UBN08	03/02/2015	Guralp-6TD	296305.53	8189234.21
UBN09	15/05/2015	Guralp-6TD	299924.13	8194468.23
UBN10	01/01/2015	Guralp-6TD	296108.26	8192222.74

La Figura 2.1.1, señala la ubicación geográfica de estas estaciones sísmicas; como se puede observar en esta figura, los sensores sísmicos fueron distribuidos estratégicamente para vigilar la actividad sísmica del Ubinas.

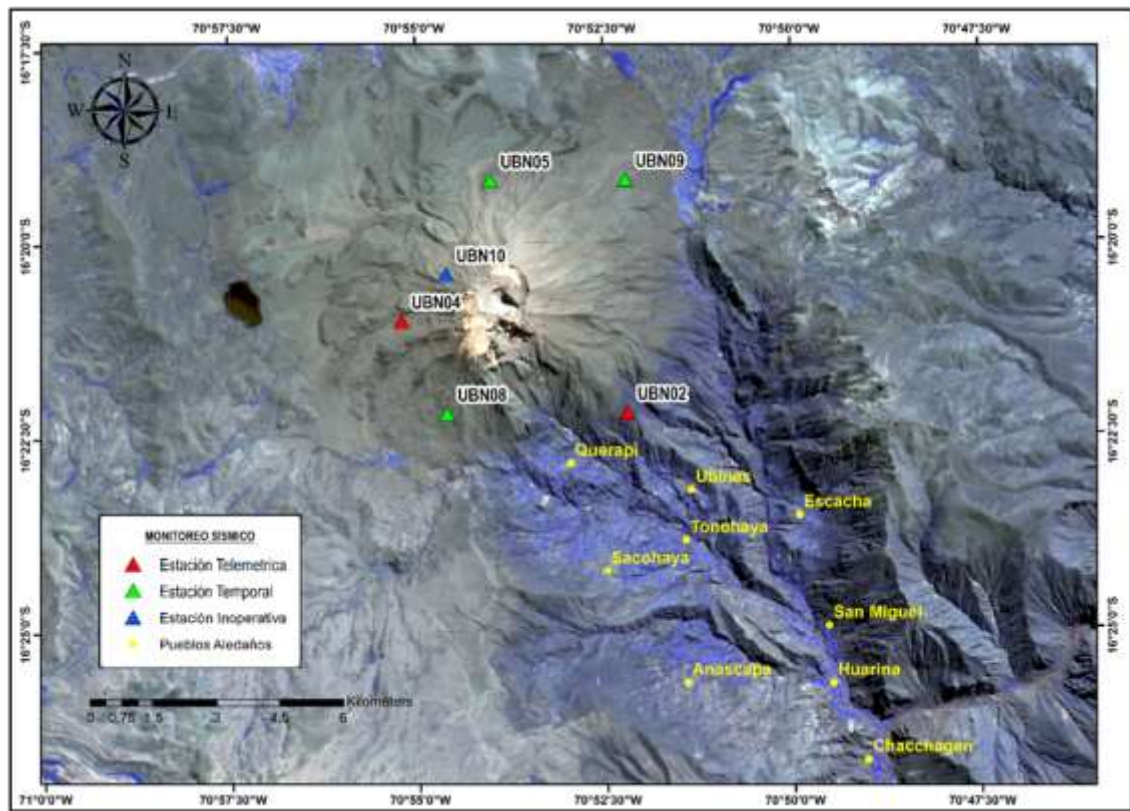


Figura 2.1.1 Mapa de ubicación de la Red de Monitoreo Sísmico en el volcán Ubinas correspondiente al periodo enero – diciembre del 2015.

2.1.1 Tipos de sensores sísmicos

Todas las estaciones sísmicas desplegadas para el monitoreo del volcán Ubinas durante el 2015 estuvieron conformadas por sensores triaxiales de banda ancha (0.033 a 50 Hz), marca GURALP modelo CMG – 6TD. Los datos son adquiridos y grabados a 100 muestras/s por canal. Los sensores GURALP, calibran los tiempos de registro con un GPS modelo CMG. Tiene accesorios como el digitalizador, disco de almacenamiento integrado. Además, cuenta con un disco externo para la recuperación (back up) de la data sísmica (Figura 2.1.2).

Para su funcionamiento requieren de una fuente de alimentación de 12V, lo que es suministrado por una batería y un panel solar. Durante el año 2015, se implementó cajas de seguridad para algunas estaciones sísmicas, dentro de las cuales se instalaron los sensores sísmicos, las baterías y otros accesorios. Por otro lado también se construyó pilares de concreto para fijar sobre estos los paneles solares, las antenas de GPS y radios de transmisión (Figura 2.1.3).



Figura 2.1.2 (a) Sensor sísmico GURALP modelo CMG – 6TD. (b) Disco externo. (c) Caja de conexiones externas (Breakout box), (d) Batería (Fuente de energía). (e) GPS. (f) Cable de conexión entre el disco externo y el sensor.



Figura 2.1.3 Ubicación IN SITU de algunas de las estaciones sísmicas que conformaron la Red de Monitoreo Sísmico en el volcán Ubinas durante el año 2015. **a.** Caja de seguridad; **b.** ubicación de sensores sísmicos dentro de las cajas de seguridad; **c.** Pilares de cemento para fijar paneles solares, GPS y radio de transmisión.

2.1.2 Operatividad de los sensores sísmicos

La Figura 2.1.4, muestra el periodo de operatividad de las estaciones sísmicas que conformaron la Red de Monitoreo Sísmico del Volcán Ubinas, en el periodo enero - diciembre del 2015. Las barras solidas horizontales representan los periodos de funcionamiento de las estaciones sísmicas.

La mayoría de las estaciones presentaron una operatividad continua en cuanto al registro de información sísmica. La estación UBN02 presenta mayor registro durante el año. Las estaciones UBN04 y UBN08 fueron instaladas en el mes de febrero, mientras que las estaciones UBN05 y UBN09 en el mes de abril y mayo respectivamente, sin embargo la estación UBN10 fue desinstalada el 21 de abril debido problemas en sus registros.

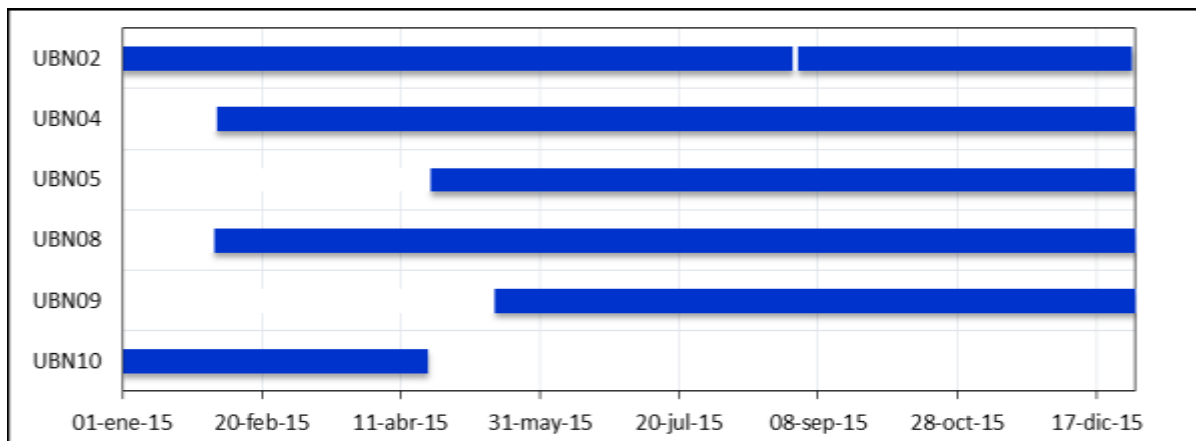


Figura 2.1.4 Operatividad de las estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas durante el 2015.

2.1.3 Transmisión de la información

La data sísmica registrada por las estaciones UBN05, UBN08 y UBN09 es almacenada en su disco interno y recuperado periódicamente para su análisis en gabinete.

La información sísmica registrada por la estación UBN02, UBN04 y UBN10 (flanco oeste del Ubinas), es transmitida mediante un enlace de radios, vía telemetría, hacia una repetidora ubicada en el flanco Sureste del volcán Chachani. Desde el Chachani, la data es re-transmitida vía telemetría hacia el centro de procesamiento de datos del OVI, ubicado en el distrito de Yanahuara, Arequipa.

2.1.4 Procesamiento y análisis de data sísmica

La datos sísmicos son registrados en modo continuo, y archivados en paquetes de 01 hora, en formato GURALP (.gcf). Esta data es automáticamente convertida al formato .sac, con el cual se realizan la clasificación a través del programa Classification_v02 (Modificado por personal del OVI del programa Classification de Lesage, 2009). El programa Classification_v02 (Figura 2.1.5), que opera

bajo plataforma MATLAB, permite hacer un análisis diario de la forma de onda, contenido espectral y espectrograma, además que se ha podido estimar la frecuencia principal, la amplitud máxima, la duración del evento y la energía del mismo. Esta información es catalogada y almacenada en archivos *.txt.

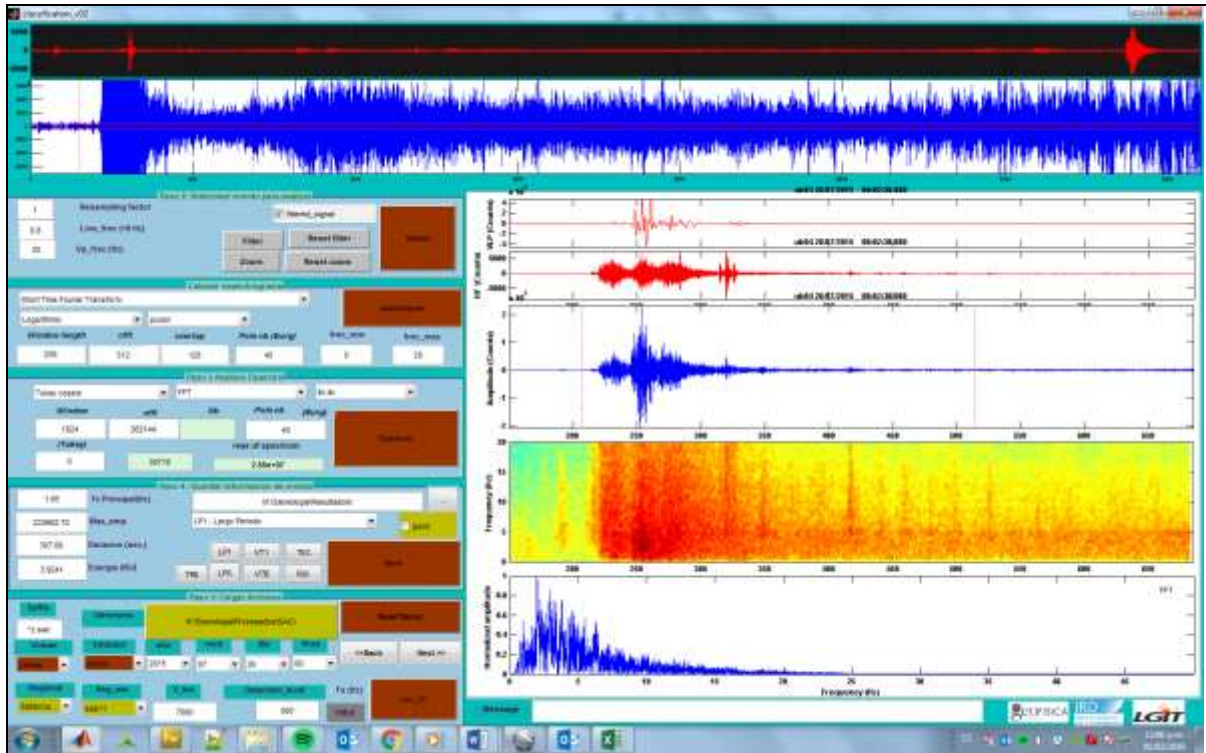


Fig. 2.1.5 Ventana principal del Programa Clasificación_V02, usado para el análisis de las señales sísmicas registradas en el volcán Ubinas.

Una vez identificada y clasificada la señal sísmica, se alimenta un fichero con extensión “*.cls”, que contiene la siguiente información:

- Tipo de evento (1)
- Fecha (2)
- Hora de inicio UTC (3)
- Frecuencia principal (4)
- Amplitud máxima (5)
- Duración del evento en segundos (6)
- Ubicación (7)
- Energía MJ. (8)

Calidad (9)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
TRE	2015-07-26	01:00:02.52	4.35	16148	211	20150726_0100.ubn04.z.sac	0.0616	0
EXP	2015-07-26	01:03:34.82	3.31	71351	114	20150726_0100.ubn04.z.sac	0.7116	0
LP1	2015-07-26	01:05:39.36	2.51	19445	20	20150726_0100.ubn04.z.sac	0.0126	0

La data sísmica, los resultados, los sismogramas y la estadística, se guardan en la carpeta de monitoreo de la siguiente manera:

- Los datos sísmicos (formas de onda) se guardan en la carpeta, **M:\Sismologia\Procesados\SAC**
- Los sismogramas de 24 horas se guardan en la carpeta, **M:\Sismologia\Resultados\Helicorders**
- El catálogo de los eventos sísmicos se guardan en la carpeta, **M:\Sismologia\Resultados\LST**
- Los graficas correspondientes a series temporales de la actividad sísmica se guardan en la carpeta **M:\Sismologia\Resultados\estadística**

2.2 Monitoreo geoquímico

El monitoreo geoquímico consiste en la medición sistemática de parámetros físicos y químicos de las fuentes de agua y gases volcánicos emitidos desde la cámara magmática, y que generalmente están asociados a un sistema hidrotermal volcánico. Estos gases fluyen desde el magma hacia la superficie, donde se manifiestan como fumarolas, respiraderos de vapor, fuentes termales, etc. (Fig. 2.2.1).

En periodos de baja actividad volcánica existe un equilibrio entre los fluidos provenientes de la cámara magmática y las manifestaciones geotermales. Sin embargo, al ascender y/o ingresar nuevo material a la cámara magmática este equilibrio se rompe y se manifiesta en aumento de la presión, temperatura y componentes, los que alteran la química de las manifestaciones geotermales. Estas variaciones pueden ser detectadas con un monitoreo continuo de los parámetros y componentes químicos de estas manifestaciones. En el Ubinas, el INGEMMET viene realizando el monitoreo de fuentes termales desde septiembre del 2005 y el monitoreo de gases como SO_2 desde septiembre de 2013.

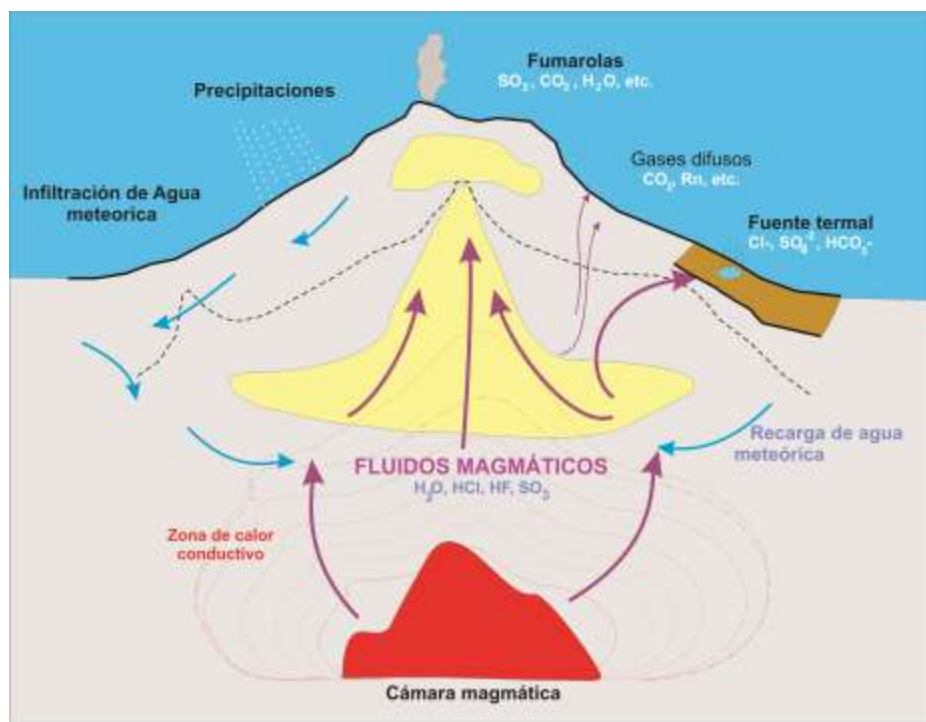


Figura 2.2.1. Modelo de un sistema hidrotermal volcánico (modificado de Hochstein & Browne, 2000).

2.2.1 El monitoreo del Flujo de SO₂ en las fumarolas del Ubinas

Las medidas del flujo de SO₂ se realizan con 2 equipos del proyecto NOVAC, un móvil DOAS y un escáner DOAS.

Las mediciones con el móvil DOAS (Fig. 2.2.1 A) se realizan periódicamente desde septiembre del 2013. La medición se realiza atravesando transversalmente por debajo de la pluma volcánica, utilizando vehículo 4x4 y las carreteras que circundan el volcán los resultados son procesados con el programa MovableDOAS 5.0. Los resultados son expresados en toneladas por día (Tn/d) de Dióxido de azufre SO₂.

El equipo escáner DOAS se instaló en una estación provisional en el poblado de Ubinas, a 6 km del cráter, desde agosto del 2014, con la denominación UBND1 (Fig. 2.2.1 B,C,D). Este realiza un escaneo de las plumas volcánicas en el cielo desde un punto fijo durante el día solar. Los datos son transmitidos en tiempo real al Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI). Los datos obtenidos son procesados con el programa NovacProgram_2009_02_19. Los resultados son expresados en toneladas por día (Tn/d) de dióxido de azufre SO₂.

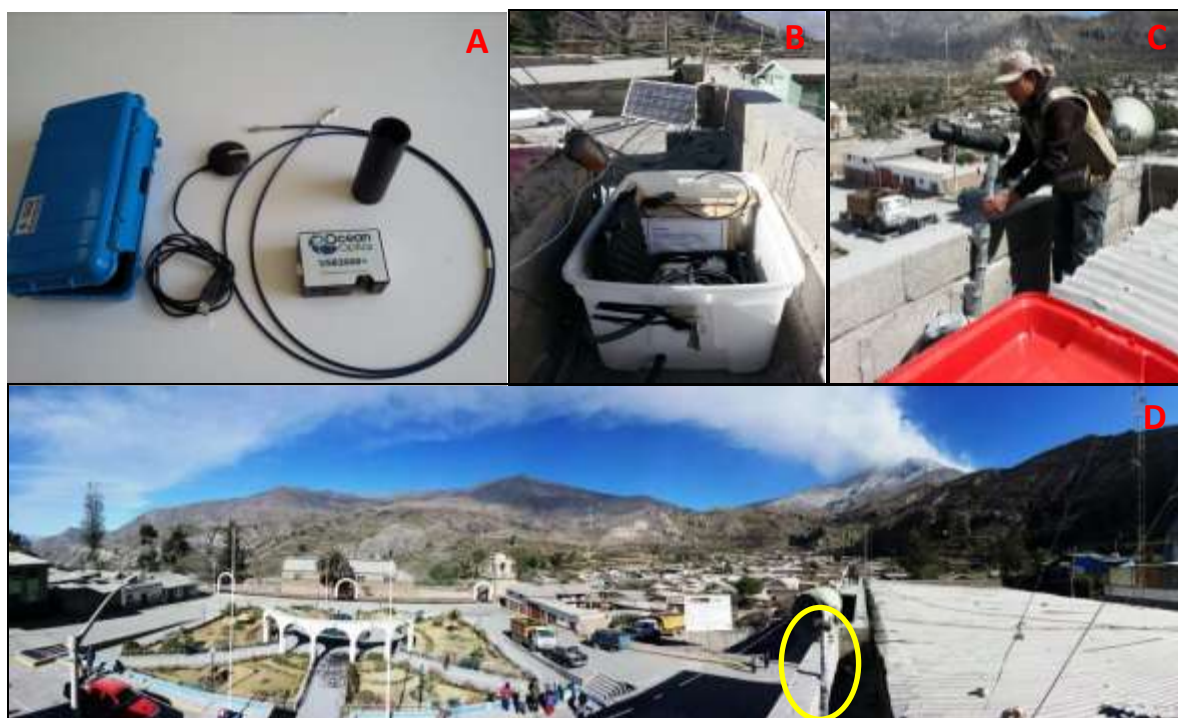


Figura 2.2.2. (A) Equipo móvil DOAS, (B, C) instalación equipo escáner DOAS, perspectiva de visión de las plumas volcánicas en relación la estación escáner DOAS en el techo de la municipalidad de Ubinas.

2.2.2. Monitoreo de fuentes de agua

El monitoreo de las fuentes termales asociadas a volcanes activos, primero consiste en ubicar las fuentes surgentes de agua caliente en los alrededores del volcán, dentro de un radio de 30 km. Posteriormente, después de una minuciosa discriminación, se elige las fuentes que serán empleadas en el monitoreo.

Para el monitoreo geoquímico de fuentes termales en el volcán Ubinas se eligió 01 fuente como punto principal del monitoreo, la fuente Ubinas Termal (UBT), localizada a 6 km del cráter. Esta fuente se muestreo continuamente 2 veces por semana durante todo el año. Adicionalmente se eligieron 06 fuentes termales ubicadas dentro de un radio de 18 km del actual cráter. Estas fuentes termales fueron visitas eventualmente para la obtención de las lecturas correspondientes. Actualmente, dos fuentes termales (Ubinas termal y Chimpamoyo), tienen un monitoreo permanente de la temperatura con mediciones cada 5 minutos, mediante registradores de temperaturas o data loggers que almacenan la información, pero estas requieren de un back-up manual para la recuperación de su información.

2.2.3. Métodos de muestreo y análisis de agua

El muestreo del agua de fuentes se realiza en el punto de surgimiento del agua utilizando la técnica de inmersión simple, llenando 2 botellas de plástico para el análisis de aniones y para metales disueltos, esta última previamente filtrada a 0,45 μm , y preservada con ácido nítrico (HNO_3 1:1) hasta $\text{pH} = 2$. Adicionalmente, se miden los parámetros fisicoquímicos en el agua de la fuente termal, como la Temperatura (T°) con un termómetro electrónico, el potencial de hidrogeno (pH) con un pH-metro electrónico, Conductividad eléctrica y Solidos totales disueltos (TDS) con un Conductímetro. Los detalles de los equipos se pueden observar en la tabla 2.2.1 y la Fig. 2.2.3. Las muestras obtenidas son enfriadas a 4 $^\circ\text{C}$, almacenadas en coolers y trasladadas a la ciudad de Lima para su análisis. Los análisis de las muestras recolectadas se realizan en el laboratorio de Química del INGEMMET, la metodología de dichos análisis se detallan en la tabla 2.2.3.

Tabla 2.2.1. Equipos de medición de los parámetros fisicoquímicos.

Equipo	Parámetro	Marca	Modelo	Precisión
Termómetro	Temperatura	AA	Precisión	$\pm 0,1$
Termómetro (*)	Temperatura	TECPEL	318	$\pm 0,1$
pH-metro	pH	Cyberscan	waterproof	$\pm 0,01$
pH-metro (*)	pH	WTW	3210	$\pm 0,001$
Conductímetro	CE	HACH	sensION5	$\pm 0,5\%$
Conductímetro	TDS	HACH	sensION5	$\pm 0,1$

(*) Usado desde enero del 2012



Figura. 2.2.3. Equipos utilizados en el monitoreo geoquímico (A) Termómetro TECPEL, (B) pH-metro WTW, (C) Conductímetro HACH.

Tabla 2.2.3. Métodos de análisis de agua efectuados en el laboratorio de química de INGEMMET.

Análito	Formula	M. análisis	LDM	Análito	Formula	M. análisis	LDM
Carbonato	CO ₃ ⁻²	Titrimétrico	1,0	Cadmio	Cd	ICP-AES	0,001
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	Titrimétrico	1,0	Cobalto	Co	ICP-AES	0,001
Fluoruro	F ⁻	C. I.	0,5	Cromo	Cr	ICP-AES	0,02
Cloruro	Cl ⁻	C. I.	0,5	Cobre	Cu	ICP-AES	0,003
Nitrato	NO ₃ ⁻	C. I.	1,0	Hierro	Fe	ICP-AES	0,01
Sulfato	SO ₄ ⁻²	C. I.	2,0	Manganeso	Mg	ICP-AES	0,001
Sodio	Na	ICP-AES	0,1	Molibdeno	Mo	ICP-AES	0,005
Magnesio	Mg	ICP-AES	0,1	Níquel	Ni	ICP-AES	0,005
Potasio	K	ICP-AES	0,2	Plomo	Pb	ICP-AES	0,01
Calcio	Ca	ICP-AES	0,3	Antimonio	Sb	ICP-AES	0,006
Estroncio	Sr	ICP-AES	0,02	Selenio	Se	ICP-AES	0,05
Litio	Li	ICP-AES	0,02	Estaño	Sn	ICP-AES	0,005
Aluminio	Al	ICP-AES	0,02	Titanio	Ti	ICP-AES	0,003
Arsénico	As	ICP-AES	0,01	Talio	Tl	ICP-AES	0,02
Bario	Ba	ICP-AES	0,003	Vanadio	V	ICP-AES	0,02
Bismuto	Bi	ICP-AES	0,1	Zinc	Zn	ICP-AES	0,003
O. de silicio	SiO ₂	ICP-AES	0,5				

C. I.: Cromatografía Iónica

ICP - AES: Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente

LMD: Limite de Detección Medible (mg/L)

2.3. Monitoreo Geodésico

La deformación en superficie es un fenómeno común en los volcanes activos en respuesta a una probable intrusión magmática. El OVI emplea en la actualidad tres métodos de monitoreo para este fenómeno: EDM (Electronic Distance Measurement), GNSS (Global Navigation Satellite System) e InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), la red de monitoreo se visualizan en la Figura 2.3.1.

2.3.1. Método de monitoreo EDM

Cuenta con una red que monitorea los cuatro flancos, constituido de cuatro bases EDM denominados UBQE (Querapi, flanco sur), base UBHY (Huayrapata, flanco suroeste), base UBPI (Piscococha, flanco oeste) y la base UBCH (Chimin, flanco noreste) que miden distancias desde una base hacia prismas distribuidos y ubicados a diferentes altitudes en el volcán (Ver figura 2.3.1).

2.3.2. Método de monitoreo GPS

Se ha implementado una red de hitos geodésicos en el edificio volcánico para ser reocupados periódicamente con equipos GPS. Esta red consta de 11 puntos monumentados (ver figura 2.3.1). Durante el año se ha realizado una serie de campañas de campo para reiterar las mediciones GPS en estos puntos, el 20 de agosto de 2015 se tiene instalado un estación GPS geodésica permanente (Marca Trimble, modelo GNSS R7) para el monitoreo continuo de deformación del volcán Ubinas denominado UBGW (Ubinas Base GPS Oeste). El 03 de noviembre del 2015 a la estación se implementó un sistema de transmisión de datos en tiempo real (Trimble NetR9 + Radio Zwave).

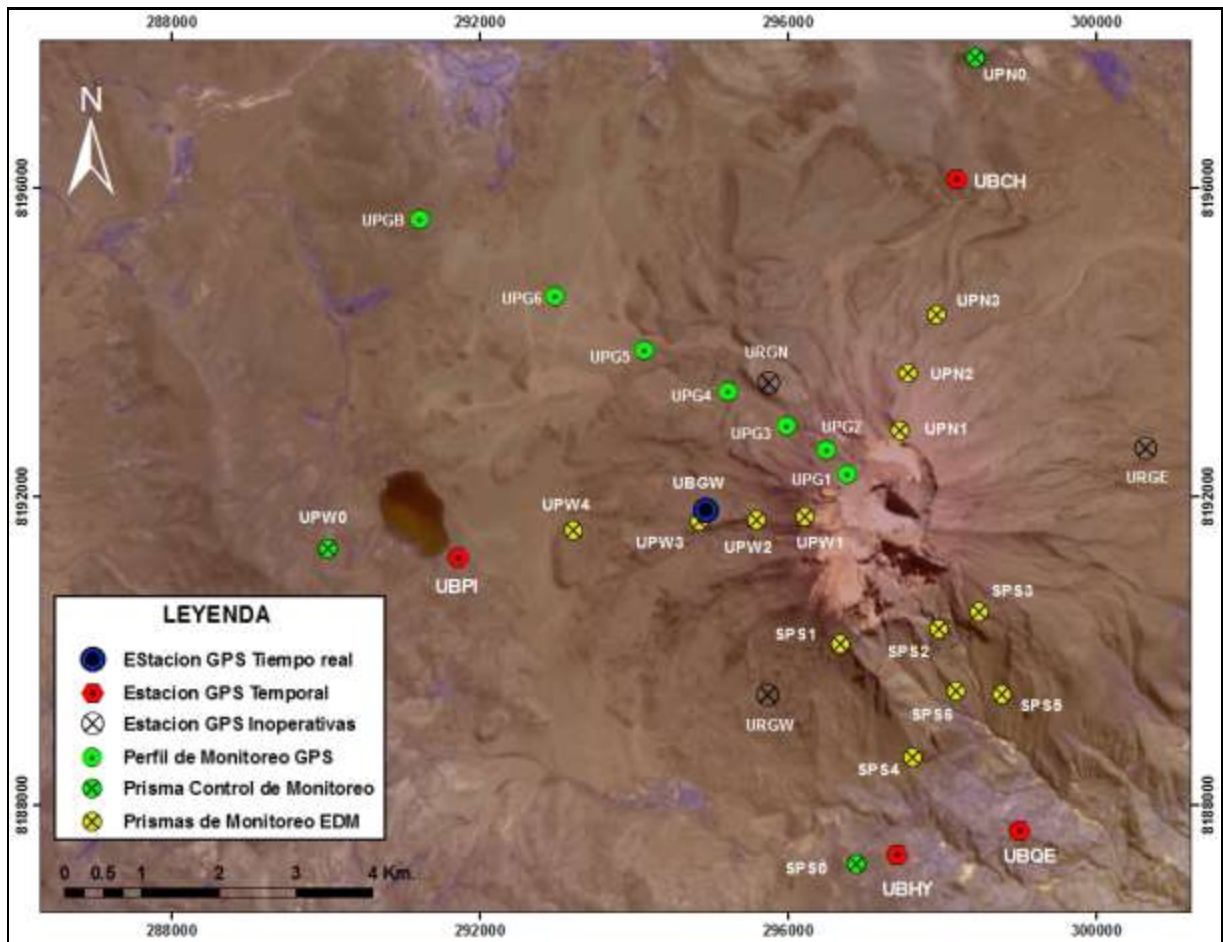


Figura 2.3.1 Red de monitoreo geodésico del volcán Ubinas durante el año 2015.

2.3.3. Instrumentación Geodésica

Para el monitoreo geodésico de los volcanes activos de la región sur del Perú, el OVI cuenta con 11 GPS-diferenciales y 02 equipos de estación total para monitoreo EDM, tal como se indica en el Cuadro 2.3.1.

Cuadro 2.3.1 Equipos de monitoreo disponibles en el OVI, para monitoreo de deformación.

Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Año adquisición
GPS Continuo	4	Trimble	NET R9	2012-2013
GPS Diferencial	7	Trimble	R6 y R7	2011
Estación Total	2	Topcon	GPT8002A	2008

2.4. Monitoreo visual

El OVI realiza el monitoreo visual del volcán Ubinas desde el 17 de setiembre del 2005, mediante un observador quien realizó el registro diario de los parámetros (fecha y hora de inicio, altura, color, densidad, forma y dirección de desplazamiento de la columna eruptiva) de los eventos más importantes de cada día. Esta información ayuda a describir los últimos procesos eruptivos del volcán Ubinas hasta la actualidad.

Desde los últimos dos años el monitoreo visual se realiza mediante cámaras de videos las cuales registran los acontecimientos volcánicos en tiempo real. Las imágenes son enviadas por telemetría hasta las instalaciones del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET.

En el 2015, el monitoreo visual se realizó mediante dos cámaras Axis modelo 1765-LE (figura 2.4.1) instaladas estratégicamente para calibrar las imágenes (tomadas cada 30 segundos) con una escala referencial, ubicada entre dos puntos del edificio volcánico; una cámara está instalada en Municipalidad del poblado de San Juan de Tarucani (Arequipa), a 25 km al NO del cráter. La otra cámara está ubicada en la Municipalidad Distrital de Ubinas (Moquegua) a 6 km al SE del cráter.

Las cámaras registran cada 30 segundo imágenes que son transmitidas en tiempo real vía internet (recurriendo al servicio de internet provisto por las municipalidades) hacia el OVI y publicadas en la página web institucional.



Figura 2.4.1. Mapa de Ubicación de los puntos de monitoreo visual.

2.4.1. Operatividad de las cámaras de vigilancia del volcán Ubinas

En la Figura 2.4.2, las barras horizontales de color rojo representan el periodo de operatividad de las cámaras que registran las imágenes del volcán Ubinas, correspondiente al periodo enero-diciembre del 2016. Los espacios en blanco representan los cortes de funcionamiento de las cámaras por problemas técnicos (corte de electricidad en la zona) o problemas de comunicación (caída de la señal del proveedor de internet).

La cámara ubicada en la municipalidad de San Juan de Tarucani presento una operatividad continua en cuanto al registro de imágenes durante los primeros 6 meses del año; los meses que se perdió información fueron el mes de agosto, setiembre y diciembre por problemas técnicos.

La cámara ubicada en la Municipalidad de Ubinas presento una mayor operatividad continua. También presento mayor cantidad de problemas de transmisión debido a problemas técnicos, esto en los meses de diciembre y octubre.

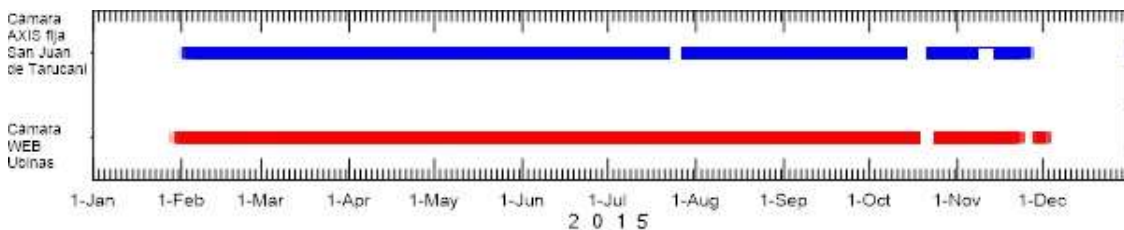


Figura 2.4.2 Operatividad de las cámaras de monitoreo visual en el volcán Ubinas durante el 2015.

3. Resultados del monitoreo

A continuación se exponen los resultados obtenidos en el monitoreo del volcán Ubinas durante el presente año.

3.1. Sismicidad del Ubinas

Como bien sabemos la composición litológica de un volcán es muy heterogénea, ya que consiste de superposiciones de coladas de lava, ceniza volcánica, depósitos de flujos piroclásticos, etc., existe una diferencia en el número de eventos cuando se realiza el registro sísmico con varias estaciones. Pues, el efecto de sitio puede influir en la calidad de registro sísmico y atenuar ciertos sismos de baja energía. En ese sentido, el conteo de eventos se efectúa empleando las estaciones UBN02, UBN04 y UBN10, y el análisis de la sismicidad se realiza con la información de todas las estaciones. Además, estas estaciones proveen la información para la elaboración de los reportes diarios, pues solo estas estaciones contaban con transmisión de data en tiempo real.

3.1.1. Ocurrencia Sísmica

La estadística general de los eventos sismo-volcánicos identificados durante el año 2015, ha permitidos contabilizar un total de 46396 señales de origen netamente volcánico con un promedio de ocurrencia de 127 sismos por día.

En la Cuadro 3.1.1 y Figura 3.1.1, se presenta el total de los tipos de eventos sísmicos clasificados en el volcán Ubinas, donde se aprecia, claramente, que la actividad sísmica dominante fueron los sismos tipo Largo Periodo – LP, con un promedio de ocurrencia de 108.1 eventos/día, seguidos por sismos Volcano – Tectónicos con 17.5 eventos/día; luego ocurrieron los sismos de tipo Híbridos – HYB con 0.7 eventos/día, también se presentaron sismos tipo Tornillo - TOR con 0.7 eventos/día y finalmente las Explosiones – EXP con un promedio de ocurrencia de 0.1 eventos/día.

Cuadro 3.1.1 Tipos de sismos clasificados y sus principales características.

TIPO DE EVENTO		N° DE EVENTOS	PORCENTAJE (%)	SISMOS/DÍA
Volcano - Tectónico (VT1 y VTB)	VT	6405	13.8	17.5
Largo Periodo (LP1, LPS y SWL)	LP	39455	85.0	108.1
Híbridos	HYB	251	0.5	0.7
Tornillos	TOR	259	0.6	0.7
Explosiones	EXP	25	0.05	0.1
TOTAL		46395	100	127.1

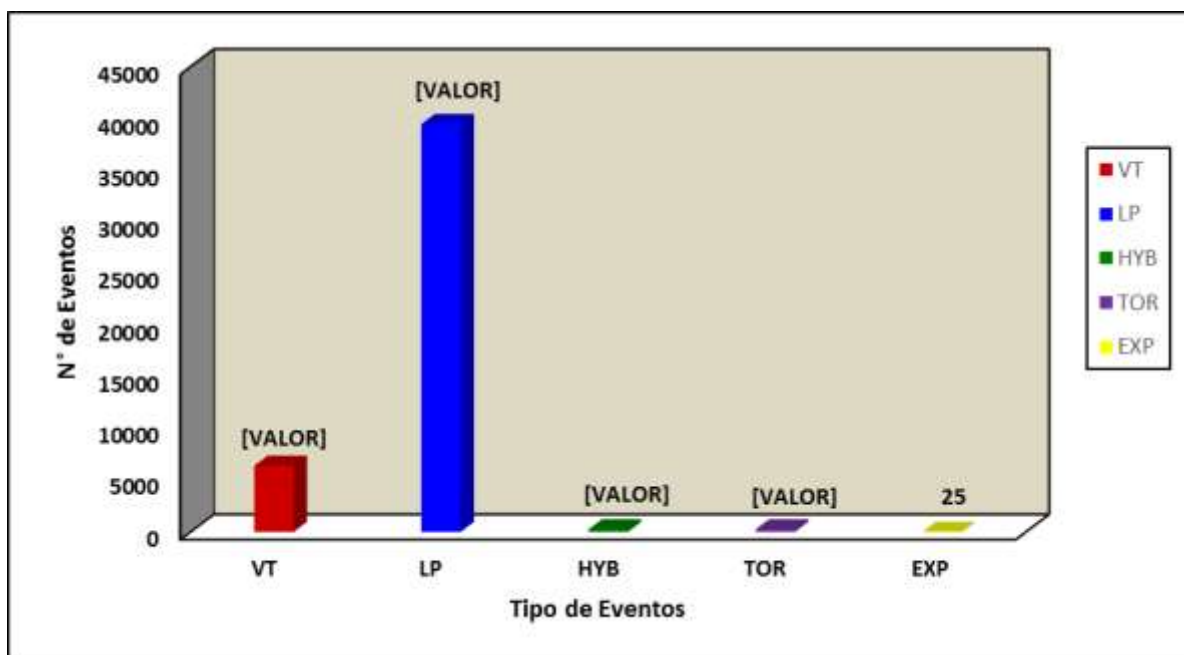


Figura 3.1.1 Histograma de la ocurrencia de los principales eventos sísmicos identificados en el volcán Ubinas durante el periodo enero – diciembre del 2015.

3.1.2. Estadística por tipo de evento

En la Figura 3.1.2, se muestra la evolución temporal por tipo de eventos registrados en el volcán Ubinas durante el año 2015. Donde claramente se aprecia que estuvo dominada por sismos de tipo Largo Periodo – LP, los cuales se asocian al ascenso de fluidos volcánicos; a inicios de año la tasa de ocurrencia fue menor a razón de 100 eventos por día. A partir del 22 de junio la tasa aumento a razón de 200 eventos por día. Por otro lado, el día 10 de junio se registró la máxima ocurrencia de este tipo de sismicidad, contabilizándose hasta 1554 LP's. Cabe señalar que durante los primeros meses del año, entre enero y principios de julio, se registró una mayor tasa de ocurrencia de los sismos de tipo Volcano – Tectónicos – VT, los cuales se asocian a fracturamiento de material rocoso en el interior del edificio volcánico; registrándose un pico máximo de 289 eventos el día 10 de febrero. Posteriormente, durante el resto del año, este tipo de sismicidad se mantuvo en niveles bajos, con 2 eventos por día. Asimismo, se registraron sismos tipo Híbridos – HYB, asociados al ascenso de magma. El día 17 de agosto se registró un pico de 28 eventos de este tipo, también es posible apreciar que, los incrementos en este tipo de sismicidad coincidieron con el posterior registro de Explosiones ocurridas durante el mes de abril. Por otro lado también se identificaron sismos de tipo Tornillo – TOR, los cuales, durante este periodo analizado, se asociaron a un sistema resonador que la mayor parte del tiempo permaneció en el sector: gases y ceniza, según el diagrama de SOMPI.

A inicio de año, en el mes de febrero se registró la primera explosión, sin embargo la mayor cantidad de explosiones fueron identificadas durante el mes de abril, luego de haberse registrado eventos tipo tornillos e híbridos, posterior a este se registraron explosiones esporádicamente, siendo la explosión del día 26 de julio la más importante, liberando 3.9141 MJ aproximadamente.

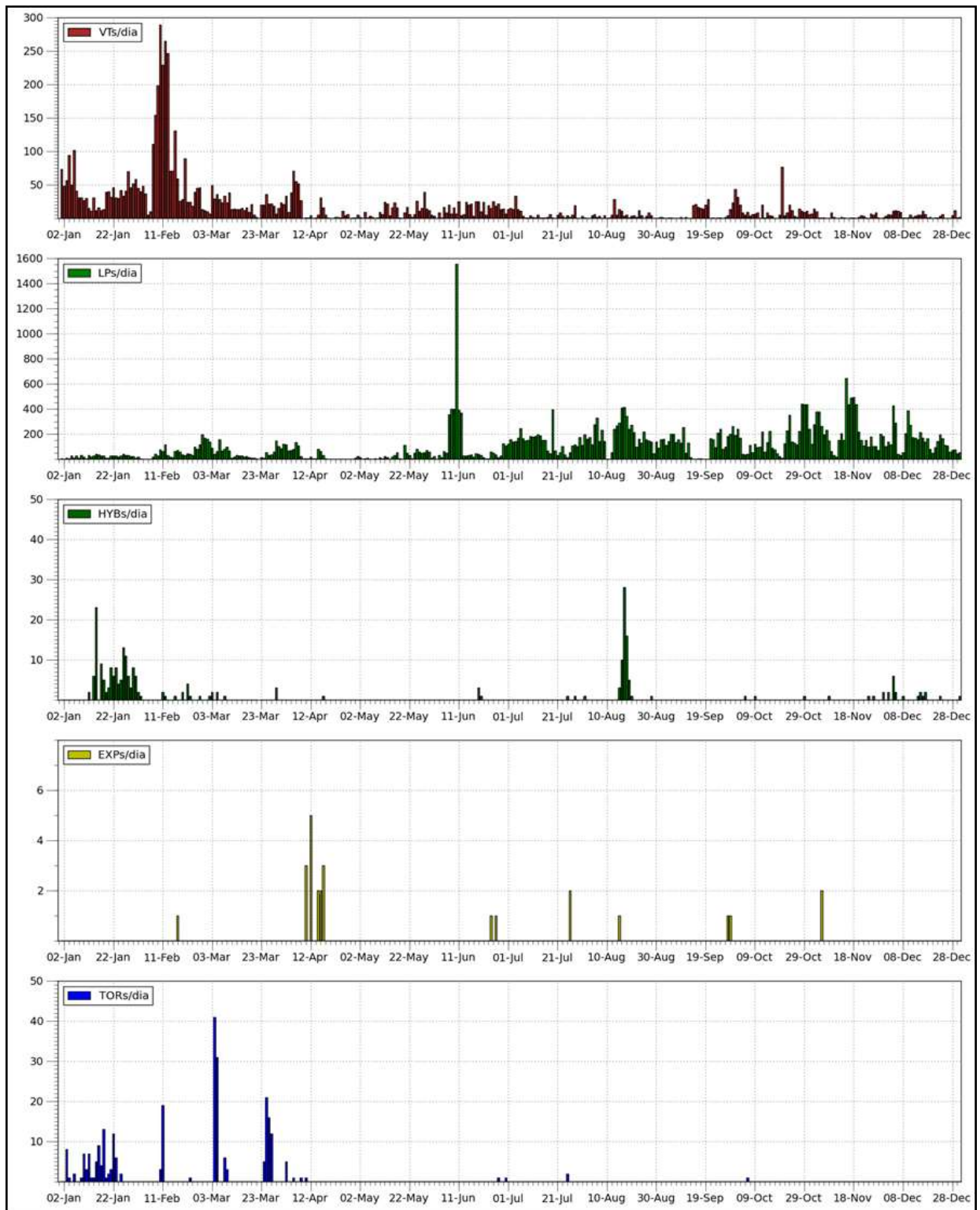


Figura 3.1.2 Histograma de la actividad sísmica en el volcán Ubinas durante el año del 2015.

También se identificaron episodios de actividad Tremórica de tipo Espasmódica – TRE y Armónica – TRA, los TRE mayormente se asociaron a emisiones de gases y ceniza y en cuanto a los TRA, los cuales se presentaron previos a explosiones ocurridas en el mes de abril, se asociaron a fase de intrusión y desgasificación de magma. Este tipo de actividad alcanzó duraciones de hasta 24 horas (todo un día, de persistente actividad tremórica).

3.1.3. Porcentaje de ocurrencia

Según el análisis efectuado se puede ver que el porcentaje de los sismos LP constituyen el 85.0% (Figura 3.1.3), a razón de 108 sismos por día; los sismos VT constituyen el 13.8%; luego los sismos HYB con el 0.5%, seguido de sismos tipo TOR con 0.5% y por ultimo con EXP con el 0.1%.

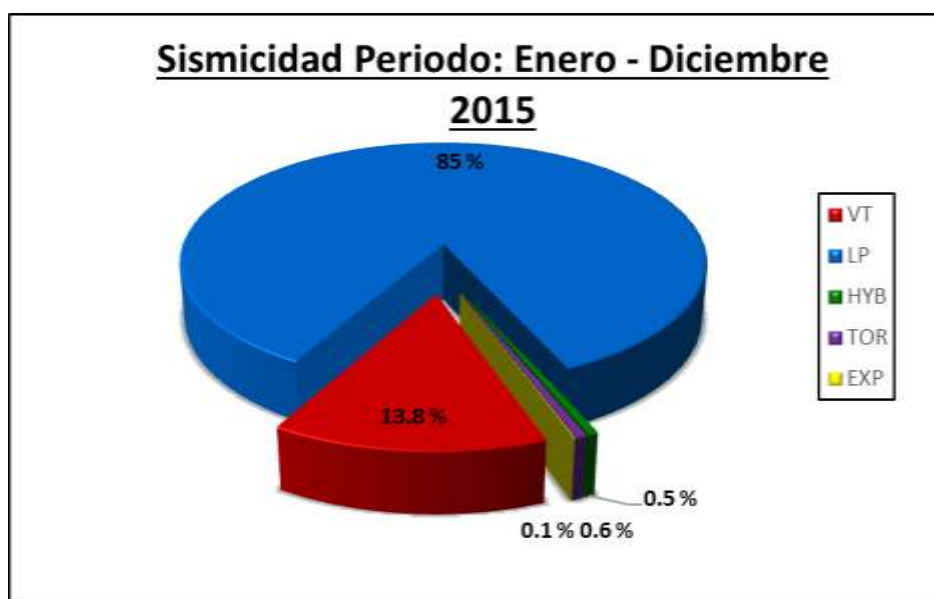


Figura 3.1.3. Porcentaje de sismos identificados volcán Ubinas durante el periodo enero – diciembre del 2015.

3.1.4. Energía Sísmica

El análisis de la energía sísmica liberada en el volcán Ubinas durante el año 2015, se realizó mediante el registro de las estaciones UBN04 y UBN10 con transmisión vía telemétrica. La Figura 3.1.4 muestra una relación de incrementos considerables de la energía sísmica acumulada, asociada a la ocurrencia de explosiones, así como también a episodios tremóricos de alta energía. El valor final de la energía acumulada es de 419.05 MJ.

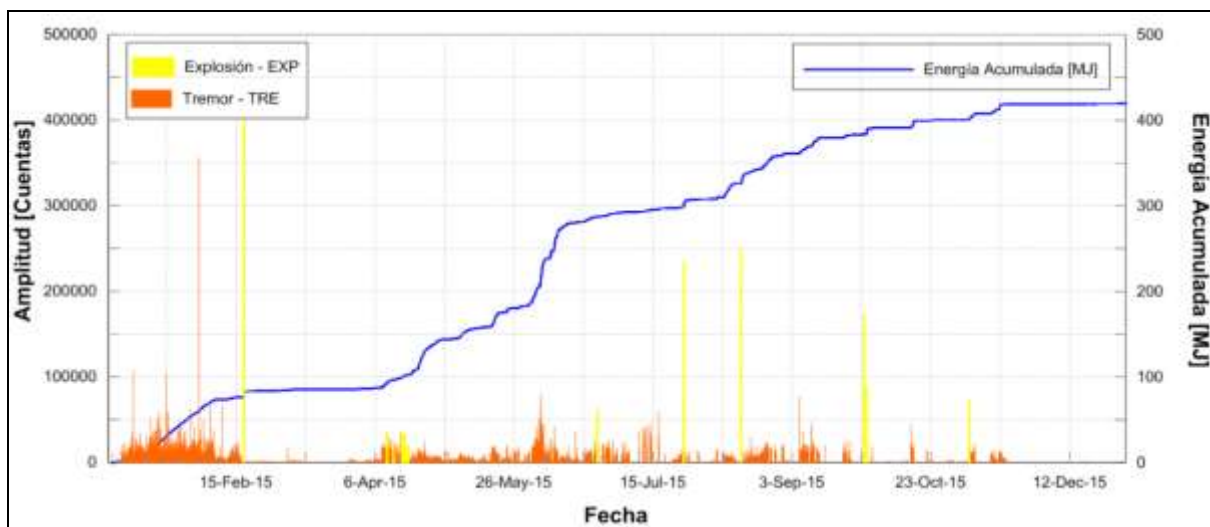


Figura 3.1.4. Evolución de la actividad sísmica (Energía, Explosiones y Tremor) del volcán Ubinas, correspondiente al proceso eruptivo del 2015.

3.1.5. Localización de los eventos sísmicos tipo VT

Durante el año 2015, se han identificado un total de 6405 eventos VT registrados, pero solo se han localizado 72 eventos que tienen claras llegadas de las fases P y S, y errores mínimos, en más de cuatro estaciones sísmicas, tal como se muestra en la Figura 3.1.5.

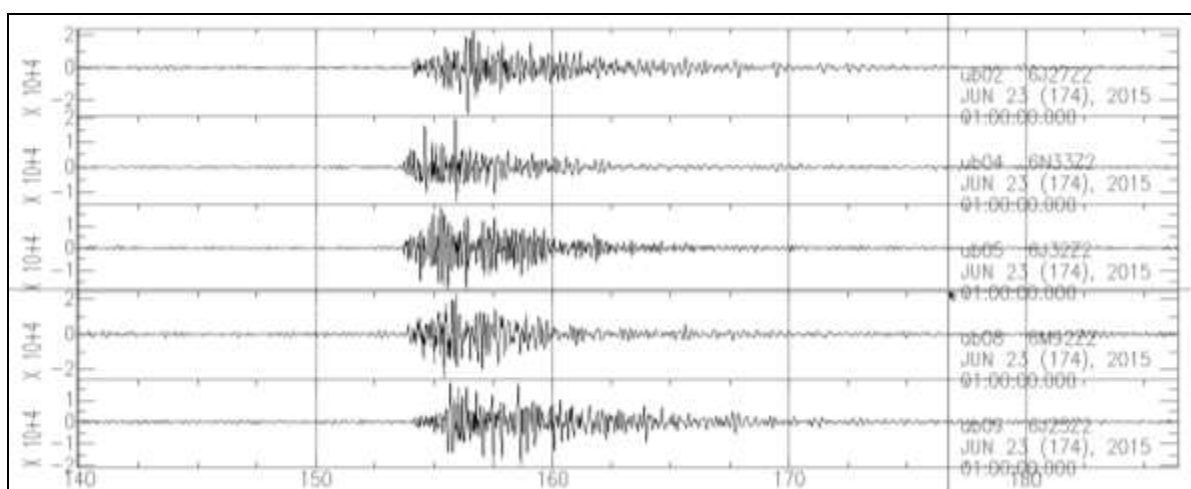


Figura 3.1.5 Ejemplo de picado de fases sísmicas para la localización de sismos VT, registros de la campaña sísmica del 2015.

Los resultados sobre las localizaciones hipocentral de los sismos tipo VT registrados durante este proceso eruptivo, muestra una intensa actividad sísmica localizada debajo del volcán, con profundidades menores a 15 km (Figura 3.1.6). Así mismo, en los perfiles sísmicos verticales se observa ausencia de sismos a profundidades mayores a 15 km debajo de la cumbre, este vacío de sismos sugiere la posible ubicación de la cámara magmática, ya que no es posible que se presente eventos sísmicos de ruptura (VT's) en un medio plástico (Figura 3.1.7 b).

Estos resultados al igual que los del año 2014, han sido correlacionados con el modelo del sistema magmático del volcán Ubinas propuesto por Rivera et al., (2014), quien en base a estudios petrológicos estima la presencia de reservorios de magma: uno localizado entre 16 y 19 km de profundidad, el cual coincide con la profundidad obtenido con las localizaciones sísmicas.

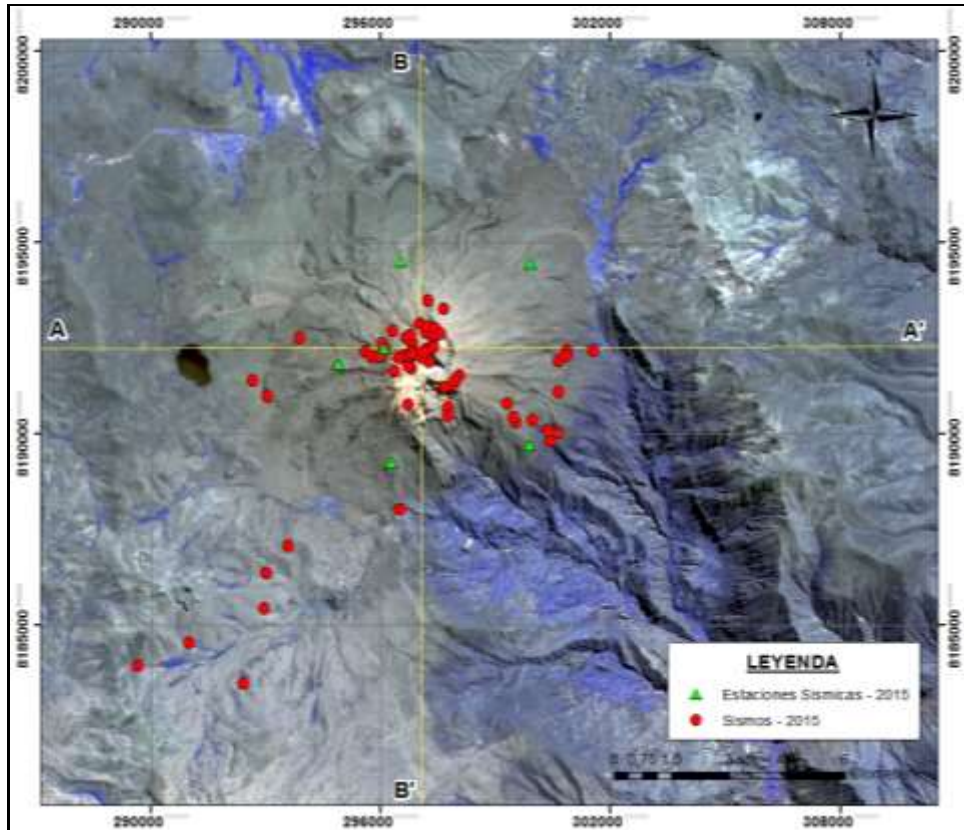


Figura 3.1.6. Mapa de localización de sismos tipo VT durante el año 2015. Los triángulos verdes representan la ubicación de las estaciones sísmicas, y los círculos rojos la fuente sísmica.

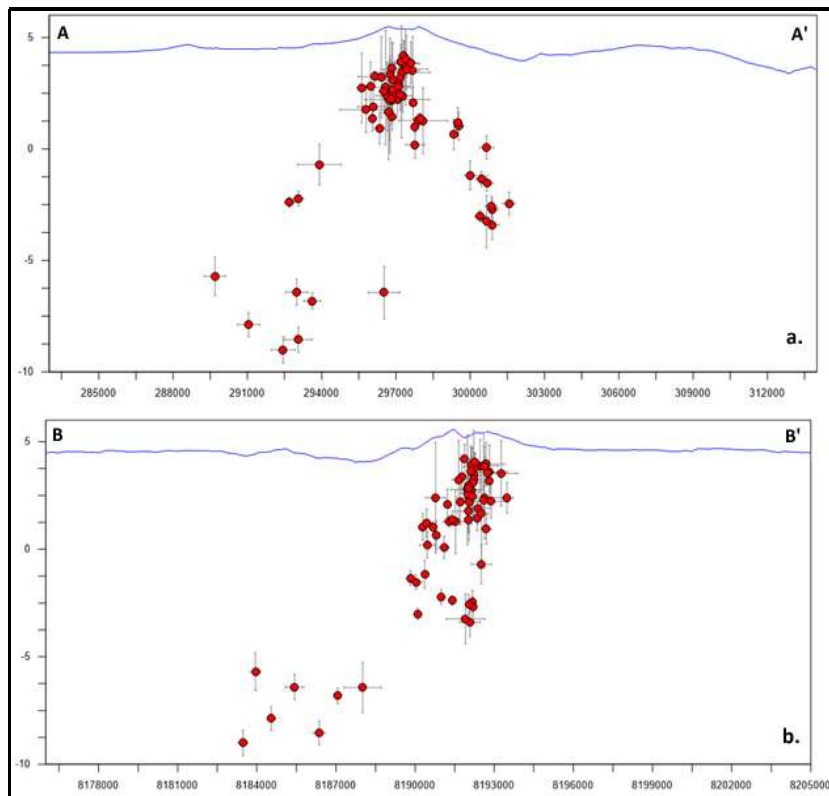


Figura 3.1.7. Perfiles en profundidad con las barras de error. **a.** Perfil A – A' de sur a norte; **b.** Perfil B – B' de oeste a este.

3.1.6. Análisis auto-regresivo de sismos tipo Tornillo

El análisis auto-regresivo se realizó a los sísmicos de Largo Periodo (LP y TOR) registrados en el volcán Ubinas, se seleccionaron las señales con formas de onda caracterizadas por un decaimiento (atenuación) lento de las ondas de coda y bajos niveles de ruido para no afectar en lo posible la calidad del espectro de frecuencias, cuya resolución disminuye conforme aumenta la relación de Ruido/Señal. En total se procesaron 166 sismos de tipo Tornillo – TOR.

Cabe resaltar que, no se determinó un número mínimo de estaciones sísmicas en las que estén registradas las trazas, ya que este método puede ser utilizado con una sola estación, en tal sentido, para el análisis a través del método SOMPI, se empleó la estación sísmica en tiempo real UBN04 y UBN10 (Figura 3.1.8).

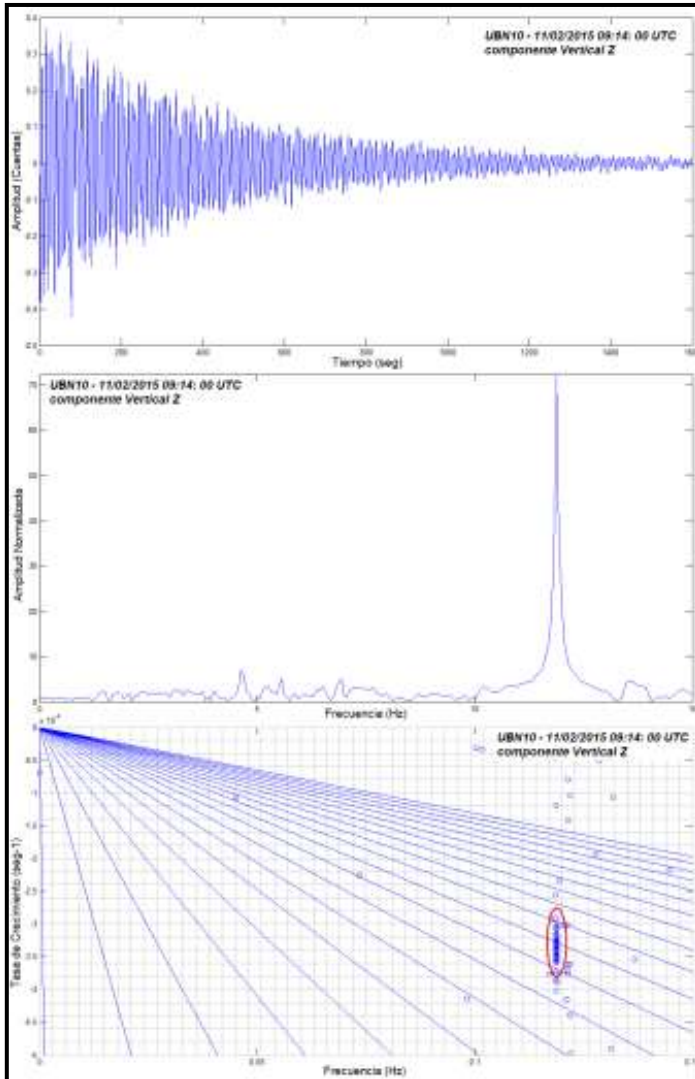


Figura 3.1.8 Forma de onda y espectro del sismo tipo TORNILLO registradas en el volcán Ubinas los días 11/02/2015 a las 09:14 UTC ($f = 11.80$ Hz y un $Q_r = 179.13$), sismo representativo de los eventos escogidos para el análisis SOMPI. Estación UBN10 – componente vertical (Z), ubicada a 1 km aproximadamente en el flanco Sureste del volcán Ubinas.

Durante el periodo analizado, se registraron eventos de Largo Periodo – LP tipo Tornillo – TOR (166 eventos), para lo cual, se realizó el análisis de las frecuencias complejas y del factor Q_r (factor de calidad debido a pérdidas por radiación de la energía) utilizando el método SOMPI (Figura 3.1.7), el cual permite cuantificar las propiedades características del sistema resonador. De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayoría de los eventos fueron generados por una mezcla de gases y partículas sólidas que muy bien podrían ser cenizas (Figura 3.1.9).

Los valores calculados dentro del año 2015 para el Q resonador (Q_r) variaron entre 40 y 230 en promedio, las frecuencias presentaron diferentes rangos (oscilando entre 2.46 y 11.91 Hz); sin embargo, en el mes de marzo, se observaron frecuencias predominantes entre 6.0 Hz y 8.0 Hz.

Por lo tanto, es posible que las variaciones en ambos parámetros (Q_r y f_c) se deban a cambios en el contenido del fluido, desde compuestos de burbuja, gases hasta material particulado que posiblemente sea ceniza por otro lado, se presume que los tamaños de las grietas donde posiblemente se encuentra la mezcla de fluidos que estarían generando los eventos de tipo Tornillo, se mantienen estables (Figura 3.1.9).

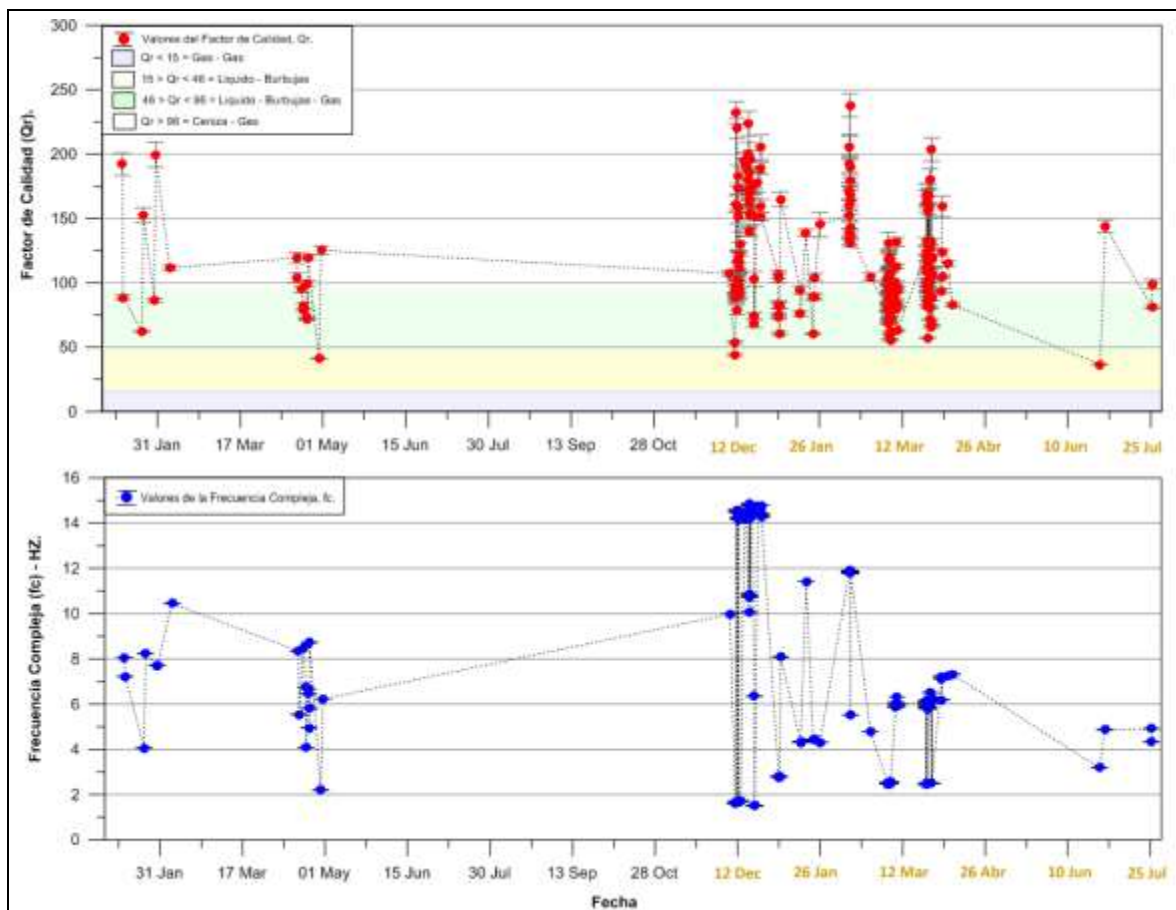


Figura 3.1.9 Variaciones temporales de los valores del Factor de Calidad (Qr) y Frecuencias (Hz) determinados para los sismos de Largo Periodo – LP tipo Tornillo – TOR registrados en el volcán Ubinas durante el 2015.

3.2. Resultados del monitoreo Geoquímico

3.2.1. Resultados del flujo de SO₂ medido con el DOAS

En la estación “UBND1” durante el periodo Enero-Diciembre 2015, los 365 días se realizaron mediciones del gas volcánico SO₂ los resultados de los flujos máximos y promedios diarios, así como el porcentaje de lecturas validas se pueden observar en la Tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1. Mediciones del gas SO₂ en la pluma volcánica del Ubinas entre Enero y Diciembre del 2015.

N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	Fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% lect Validas
1	01/01/2015	1134.74	423.55	97.62	32	01/02/2015	455.61	249.57	22.73	63	04/03/2015	449.15	158.32	33.33
2	02/01/2015	653.26	256.05	82.19	33	02/02/2015	1013.62	454.56	20.65	64	05/03/2015	484.55	166.32	21.98
3	03/01/2015	730.48	122.94	80.61	34	03/02/2015	292.47	134.23	16.09	65	06/03/2015	3898.03	1991.28	89.33
4	04/01/2015	327.38	145.90	10.26	35	04/02/2015	654.56	322.48	16.67	66	07/03/2015	2121.73	982.74	93.75
5	05/01/2015	717.08	330.27	86.59	36	05/02/2015	686.20	334.29	61.25	67	08/03/2015	1535.42	655.12	54.88
6	06/01/2015	2179.84	847.41	88.00	37	06/02/2015	1170.34	365.96	73.26	68	09/03/2015	846.73	338.25	50.54
7	07/01/2015	737.42	185.61	33.73	38	07/02/2015	133.16	100.46	8.11	69	10/03/2015	1427.63	434.64	42.86
8	08/01/2015	808.64	214.18	68.35	39	08/02/2015	1049.70	448.75	17.14	70	11/03/2015	638.80	271.17	10.64
9	09/01/2015	587.61	193.66	32.26	40	09/02/2015	652.97	163.75	24.19	71	12/03/2015	1887.47	481.73	7.06
10	10/01/2015	798.04	355.08	40.51	41	10/02/2015	303.15	148.04	19.72	72	13/03/2015	443.83	223.13	8.43
11	11/01/2015	1039.95	184.65	25.00	42	11/02/2015	526.77	277.65	70.67	73	14/03/2015	652.66	276.66	14.29
12	12/01/2015	830.86	314.00	18.37	43	12/02/2015	368.16	136.52	48.91	74	15/03/2015	1159.44	474.01	39.33
13	13/01/2015	630.56	204.70	22.77	44	13/02/2015	3533.73	1700.09	77.38	75	16/03/2015	834.48	285.19	16.05
14	14/01/2015	594.08	284.69	71.11	45	14/02/2015	377.88	157.22	16.67	76	17/03/2015	389.59	99.12	15.38
15	15/01/2015	950.77	524.26	95.29	46	15/02/2015	301.30	152.53	15.49	77	18/03/2015	553.00	264.81	43.21
16	16/01/2015	262.24	98.66	67.33	47	16/02/2015	1115.21	602.99	56.25	78	19/03/2015	384.00	170.53	25.76
17	17/01/2015	1004.80	446.00	69.57	48	17/02/2015	867.12	314.49	11.24	79	20/03/2015	239.36	132.78	9.33
18	18/01/2015	1296.38	534.75	80.58	49	18/02/2015	723.11	226.96	14.44	80	21/03/2015	1048.19	443.04	8.75
19	19/01/2015	901.12	539.18	94.79	50	19/02/2015	833.59	361.06	48.28	81	22/03/2015	1469.38	800.61	10.71
20	20/01/2015	1183.40	391.57	59.77	51	20/02/2015	2767.53	1068.94	74.03	82	23/03/2015	530.84	275.56	29.73
21	21/01/2015	858.88	161.21	65.52	52	21/02/2015	2156.44	993.69	60.81	83	24/03/2015	1356.04	723.27	84.21
22	22/01/2015	1359.22	382.93	43.04	53	22/02/2015	1503.63	508.50	18.67	84	25/03/2015	1424.67	639.06	67.57
23	23/01/2015	706.35	284.22	28.95	54	23/02/2015	1278.12	559.33	9.86	85	26/03/2015	871.46	401.61	74.70
24	24/01/2015	480.24	202.59	15.38	55	24/02/2015	1092.88	484.67	21.84	86	27/03/2015	2593.16	1017.73	63.86
25	25/01/2015	270.45	170.55	6.98	56	25/02/2015	878.03	350.14	10.34	87	28/03/2015	1902.25	789.27	79.12
26	26/01/2015	727.20	429.68	22.97	57	26/02/2015	876.00	327.55	39.51	88	29/03/2015	1147.66	478.08	84.04
27	27/01/2015	280.72	229.09	3.80	58	27/02/2015	284.53	138.85	41.98	89	30/03/2015	564.55	241.16	67.35
28	28/01/2015	736.60	267.69	43.06	59	28/02/2015	598.87	199.80	14.12	90	31/03/2015	1471.95	508.88	85.23
29	29/01/2015	1944.31	575.34	85.33	60	01/03/2015	975.10	235.36	12.50	91	01/04/2015	2502.07	973.48	90.67
30	30/01/2015	666.79	314.18	41.86	61	02/03/2015	1550.02	517.79	13.04	92	02/04/2015	1799.28	870.43	91.86
31	31/01/2015	933.94	323.53	52.22	62	03/03/2015	702.52	295.47	12.35	93	03/04/2015	627.06	194.97	77.45

Continúa la Tabla 3.2.1.

N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	Fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% lect Validas
94	04/04/2015	457.04	166.97	34.83	140	20/05/2015	3869.85	1455.18	88.04	186	05/07/2015	1138.51	254.32	57.14
95	05/04/2015	755.86	243.88	47.92	141	21/05/2015	1532.66	584.33	64.37	187	06/07/2015	3571.66	1555.19	63.64
96	06/04/2015	1713.74	444.13	92.31	142	22/05/2015	2647.76	688.85	68.18	188	07/07/2015	5248.63	2179.25	17.05
97	07/04/2015	1490.32	407.20	96.51	143	23/05/2015	6467.40	999.18	80.23	189	08/07/2015	2137.98	396.52	45.35
98	08/04/2015	2942.31	1092.39	79.17	144	24/05/2015	1153.66	363.89	93.10	190	09/07/2015	973.88	403.64	43.02
99	09/04/2015	1694.81	303.56	62.35	145	25/05/2015	3683.27	1229.99	94.25	191	10/07/2015	958.19	251.57	55.29
100	10/04/2015	1583.28	544.40	83.33	146	26/05/2015	4842.24	1614.74	70.83	192	11/07/2015	826.00	242.33	70.24
101	11/04/2015	3479.25	509.14	90.54	147	27/05/2015	4005.23	725.47	58.82	193	12/07/2015	1248.11	420.00	71.76
102	12/04/2015	1689.06	745.32	84.15	148	28/05/2015	2547.22	654.68	83.53	194	13/07/2015	3289.08	1339.24	48.31
103	13/04/2015	830.97	228.04	77.78	149	29/05/2015	1284.98	346.38	79.07	195	14/07/2015	6698.26	2541.36	51.69
104	14/04/2015	1174.40	246.08	77.50	150	30/05/2015	2767.53	862.95	59.77	196	15/07/2015	2483.87	989.08	53.26
105	15/04/2015	1536.00	419.82	80.00	151	31/05/2015	2381.93	1045.64	75.58	197	16/07/2015	3744.39	1178.00	61.80
106	16/04/2015	2659.48	300.09	88.54	152	01/06/2015	1501.04	396.03	90.22	198	17/07/2015	4339.12	1653.40	83.91
107	17/04/2015	1609.93	354.37	89.53	153	02/06/2015	1996.17	534.94	86.52	199	18/07/2015	7633.07	2244.19	89.66
108	18/04/2015	2735.88	1197.33	90.43	154	03/06/2015	2727.00	944.06	93.10	200	19/07/2015	3645.23	1304.67	63.64
109	19/04/2015	1525.18	515.89	90.36	155	04/06/2015	1694.54	512.32	94.32	201	20/07/2015	1215.72	375.24	69.32
110	20/04/2015	3094.06	1222.02	85.51	156	05/06/2015	1123.91	374.83	12.94	202	21/07/2015	1689.50	754.76	91.40
111	21/04/2015	3420.47	1428.78	92.68	157	06/06/2015	1401.76	481.16	25.00	203	22/07/2015	2922.69	1179.52	73.56
112	22/04/2015	2072.24	699.50	96.47	158	07/06/2015	2006.56	619.21	55.29	204	23/07/2015	2789.50	1158.55	63.22
113	23/04/2015	2389.21	772.33	92.00	159	08/06/2015	1984.44	551.14	85.06	205	24/07/2015	1954.33	729.94	83.15
114	24/04/2015	2548.63	1103.50	94.87	160	09/06/2015	693.35	258.12	81.91	206	25/07/2015	2198.21	360.65	59.34
115	25/04/2015	1131.32	559.93	89.71	161	10/06/2015	1930.32	560.67	58.24	207	26/07/2015	2713.71	811.81	93.41
116	26/04/2015	970.64	475.96	75.00	162	11/06/2015	1091.06	311.30	60.92	208	27/07/2015	3447.85	1097.79	85.23
117	27/04/2015	1893.62	951.69	82.05	163	12/06/2015	2355.97	651.51	83.91	209	28/07/2015	1436.87	547.98	92.39
118	28/04/2015	320.39	82.16	21.28	164	13/06/2015	2224.19	868.16	78.16	210	29/07/2015	1059.70	539.91	94.38
119	29/04/2015	649.02	206.62	32.61	165	14/06/2015	1944.48	615.69	91.11	211	30/07/2015	2642.06	713.35	90.22
120	30/04/2015	1182.34	379.05	81.25	166	15/06/2015	4023.91	1462.20	94.57	212	31/07/2015	866.07	453.20	55.06
121	01/05/2015	3244.95	885.41	70.79	167	16/06/2015	1367.37	426.12	69.57	213	01/08/2015	1617.27	420.70	65.59
122	02/05/2015	1988.59	919.97	61.90	168	17/06/2015	3937.53	1402.55	78.82	214	02/08/2015	1941.53	723.89	65.91
123	03/05/2015	2740.98	948.46	75.90	169	18/06/2015	993.03	277.53	92.22	215	03/08/2015	1230.04	494.50	85.87
124	04/05/2015	2299.16	619.45	81.93	170	19/06/2015	882.30	226.01	79.78	216	04/08/2015	841.78	314.20	64.52
125	05/05/2015	957.64	260.76	83.33	171	20/06/2015	2184.83	635.87	35.53	217	05/08/2015	1525.49	653.86	44.19
126	06/05/2015	1966.77	718.41	93.75	172	21/06/2015	2402.79	652.38	94.05	218	06/08/2015	819.29	261.50	21.18
127	07/05/2015	2016.21	626.36	79.31	173	22/06/2015	1424.63	273.72	89.53	219	07/08/2015	3551.70	677.91	94.32
128	08/05/2015	3375.67	1219.53	70.24	174	23/06/2015	2552.41	463.95	93.26	220	08/08/2015	2539.11	948.61	72.73
129	09/05/2015	1798.58	636.75	65.06	175	24/06/2015	1971.66	535.70	93.10	221	09/08/2015	1291.44	349.56	30.68
130	10/05/2015	1469.90	666.76	95.40	176	25/06/2015	981.91	354.36	94.05	222	10/08/2015	3402.65	1153.31	90.70
131	11/05/2015	4731.75	1866.29	62.50	177	26/06/2015	1628.07	389.82	84.15	223	11/08/2015	6486.14	2717.33	81.01
132	12/05/2015	2903.92	622.11	50.00	178	27/06/2015	3133.68	1020.04	70.97	224	12/08/2015	3596.76	1372.66	57.61
133	13/05/2015	3346.66	1092.29	64.94	179	28/06/2015	510.99	146.41	51.72	225	13/08/2015	5747.91	1604.44	63.75
134	14/05/2015	3327.71	1450.97	50.59	180	29/06/2015	1310.70	663.28	9.30	226	14/08/2015	3827.88	1549.88	56.52
135	15/05/2015	3513.99	1207.30	78.65	181	30/06/2015	2152.46	537.26	86.75	227	15/08/2015	2898.52	749.59	70.79
136	16/05/2015	1610.55	530.43	79.07	182	01/07/2015	4974.35	1186.09	65.48	228	16/08/2015	916.53	271.40	81.05
137	17/05/2015	1666.19	820.27	55.42	183	02/07/2015	3145.05	1025.37	67.82	229	17/08/2015	2995.96	1047.13	71.43
138	18/05/2015	3190.11	1067.28	79.78	184	03/07/2015	2394.44	523.49	87.65	230	18/08/2015	1871.02	719.71	96.59
139	19/05/2015	1400.46	623.57	94.51	185	04/07/2015	3340.46	1029.50	45.19	231	19/08/2015	4714.83	2287.81	84.88

N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	Fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% Lect Validas	N°	fecha	Flujo Max.	Flujo Prom.	% lect Validas
232	20/08/2015	1975.98	558.67	95.74	277	04/10/2015	1705.85	385.85	97.80	322	18/11/2015	2372.22	835.01	72.29
233	21/08/2015	5282.95	1353.76	92.22	278	05/10/2015	1294.95	546.62	89.89	323	19/11/2015	1736.69	590.30	51.81
234	22/08/2015	3670.87	1043.35	61.05	279	06/10/2015	1089.36	170.95	85.71	324	20/11/2015	1369.16	497.11	65.85
235	23/08/2015	1797.98	636.05	68.69	280	07/10/2015	965.52	395.91	52.63	325	21/11/2015	1152.98	465.22	77.65
236	24/08/2015	2184.46	843.64	63.33	281	08/10/2015	2270.33	892.62	81.40	326	22/11/2015	1065.38	175.60	78.65
237	25/08/2015	1287.81	426.30	78.02	282	09/10/2015	3319.49	1283.03	11.90	327	23/11/2015	548.92	220.94	61.18
238	26/08/2015	2134.80	551.16	59.55	283	10/10/2015	3101.82	900.33	74.12	328	24/11/2015	573.61	215.39	64.94
239	27/08/2015	1156.34	350.94	10.23	284	11/10/2015	5010.97	877.15	44.71	329	25/11/2015	1226.00	503.23	89.74
240	28/08/2015	1331.78	473.48	10.11	285	12/10/2015	823.10	400.73	21.69	330	26/11/2015	1509.21	494.27	81.40
241	29/08/2015	1115.91	502.78	17.24	286	13/10/2015	1082.09	386.30	48.24	331	27/11/2015	702.65	239.33	40.70
242	30/08/2015	1802.09	672.79	23.60	287	14/10/2015	2287.41	577.69	67.06	332	28/11/2015	812.98	364.54	78.31
243	31/08/2015	3567.59	1163.24	81.11	288	15/10/2015	1910.10	486.23	97.73	333	29/11/2015	2629.90	980.83	57.69
244	01/09/2015	2572.02	1057.97	90.00	289	16/10/2015	2409.62	896.46	98.94	334	30/11/2015	729.14	158.97	65.91
245	02/09/2015	1712.21	533.10	94.81	290	17/10/2015	1907.87	723.74	97.53	335	01/12/2015	1006.67	331.77	94.74
246	03/09/2015	968.90	350.15	74.39	291	18/10/2015	2302.23	865.28	98.78	336	02/12/2015	1271.46	504.02	72.34
247	04/09/2015	1271.96	379.85	90.00	292	19/10/2015	1207.63	443.61	86.41	337	03/12/2015	852.78	455.64	45.57
248	05/09/2015	519.74	211.08	63.29	293	20/10/2015	1835.01	732.75	72.92	338	04/12/2015	677.73	388.83	60.49
249	06/09/2015	3903.44	1307.57	60.22	294	21/10/2015	3831.25	633.88	88.89	339	05/12/2015	1090.68	449.67	51.32
250	07/09/2015	4504.94	1082.95	57.95	295	22/10/2015	654.98	322.62	69.41	340	06/12/2015	744.12	220.48	55.13
251	08/09/2015	3042.20	966.41	39.08	296	23/10/2015	3662.98	956.99	93.10	341	07/12/2015	460.85	257.74	82.50
252	09/09/2015	2288.64	652.81	70.45	297	24/10/2015	1796.18	710.13	83.53	342	08/12/2015	865.28	367.82	44.44
253	10/09/2015	1564.80	710.86	71.26	298	25/10/2015	1370.79	420.74	62.07	343	09/12/2015	1106.31	570.31	90.11
254	11/09/2015	1348.46	453.62	61.18	299	26/10/2015	1255.36	457.44	63.44	344	10/12/2015	1132.38	412.83	96.59
255	12/09/2015	2352.94	789.35	27.59	300	27/10/2015	733.05	241.83	68.54	345	11/12/2015	794.33	378.67	84.71
256	13/09/2015	2096.99	737.47	77.91	301	28/10/2015	2188.26	625.40	72.94	346	12/12/2015	619.26	275.74	67.86
257	14/09/2015	1572.73	574.50	66.29	302	29/10/2015	1385.18	496.72	41.24	347	13/12/2015	1032.15	600.08	42.86
258	15/09/2015	368.05	103.34	63.44	303	30/10/2015	3330.44	1122.80	71.13	348	14/12/2015	972.88	303.99	25.33
259	16/09/2015	446.08	146.63	92.39	304	31/10/2015	2229.75	819.52	71.26	349	15/12/2015	1372.58	348.97	63.75
260	17/09/2015	494.30	184.23	61.22	305	01/11/2015	2229.75	819.52	71.26	350	16/12/2015	1003.24	260.69	63.83
261	18/09/2015	679.83	199.82	75.58	306	02/11/2015	3615.57	1141.40	88.76	351	17/12/2015	1079.49	208.63	54.02
262	19/09/2015	1279.38	506.35	79.31	307	03/11/2015	5478.53	1309.28	68.97	352	18/12/2015	1699.22	570.07	70.97
263	20/09/2015	1296.24	444.07	74.47	308	04/11/2015	1573.58	664.47	77.38	353	19/12/2015	606.70	333.17	50.00
264	21/09/2015	1167.49	337.43	97.89	309	05/11/2015	1854.94	481.16	97.83	354	20/12/2015	1449.98	685.19	69.89
265	22/09/2015	2001.78	486.50	91.58	310	06/11/2015	2085.71	957.77	95.70	355	21/12/2015	829.73	402.60	64.63
266	23/09/2015	1878.77	604.23	54.55	311	07/11/2015	1387.16	561.83	91.95	356	22/12/2015	866.18	321.18	64.89
267	24/09/2015	835.76	374.18	59.18	312	08/11/2015	1430.58	429.15	78.41	357	23/12/2015	1203.71	496.90	68.89
268	25/09/2015	2704.84	812.62	69.39	313	09/11/2015	1625.82	697.28	92.71	358	24/12/2015	1141.63	303.83	32.29
269	26/09/2015	1010.52	475.82	80.00	314	10/11/2015	3822.71	713.63	85.71	359	25/12/2015	870.25	313.21	69.32
270	27/09/2015	2226.83	881.19	88.37	315	11/11/2015	440.00	132.31	82.61	360	26/12/2015	867.57	227.96	45.74
271	28/09/2015	1978.25	440.42	79.31	316	12/11/2015	947.95	266.56	63.04	361	27/12/2015	661.90	247.68	73.03
272	29/09/2015	1782.53	588.28	75.58	317	13/11/2015	1061.29	324.97	62.35	362	28/12/2015	1037.31	473.95	75.64
273	30/09/2015	1858.05	510.73	67.39	318	14/11/2015	1557.58	832.92	84.00	363	29/12/2015	1157.97	467.19	88.89
274	01/10/2015	2011.96	527.85	50.54	319	15/11/2015	1882.61	539.68	67.01	364	30/12/2015	442.01	259.88	78.13
275	02/10/2015	1089.43	262.83	88.42	320	16/11/2015	1674.24	629.10	60.47	365	31/12/2015	817.53	330.75	12.00
276	03/10/2015	3173.09	845.36	91.84	321	17/11/2015	3275.80	1083.32	88.10					

Los resultados de los flujos máximos diarios observados durante el 2015 se graficaron en Fig. 3.2.1, muestran que los flujos más altos (>6000 Tn/d) se presentaron en los meses de mayo, julio y agosto. Siendo el valor más elevado registrado el día 18 de Julio con 7633 Tn/d SO_2 . En este contexto se puede apreciar una tendencia al incremento de los flujos antes del 18 de julio y una posterior tendencia al descenso. Los flujos >4000 Tn/d se observaron entre los meses de mayo y noviembre. Mientras que los flujos >2000 toneladas se observaron todo el año a excepción de diciembre.

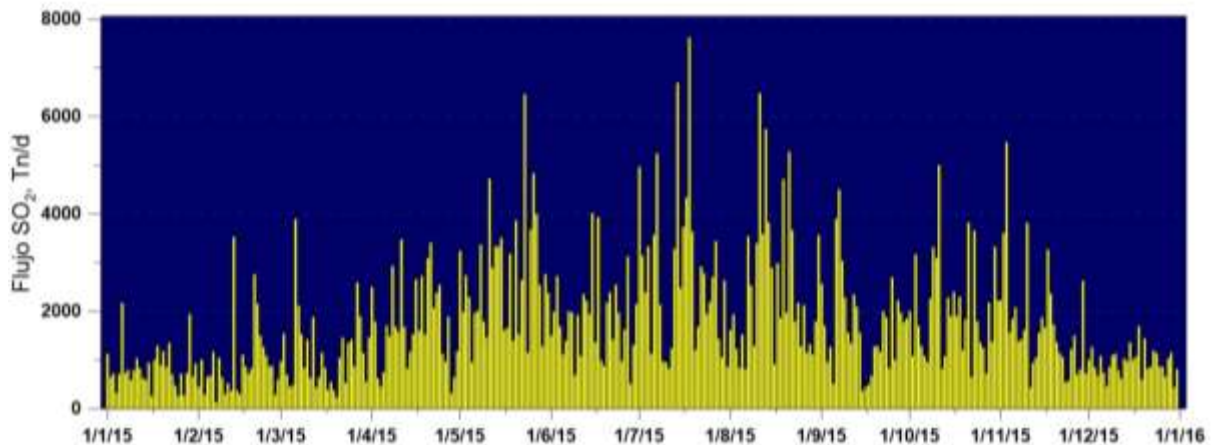


Fig. 3.2.1. Mediciones de los flujos máximos diarios con el equipo NOVAC escáner DOAS (color amarillo) UBND1 para el monitoreo de gases de azufre SO_2 en la pluma volcánica del Ubinas.

La dirección predominante de las plumas donde midieron los flujos durante el 2015 fue predominantemente al Noreste, Sureste (UBND1), Suroeste, Este, Oeste y Sur (Fig. 3.2.2).

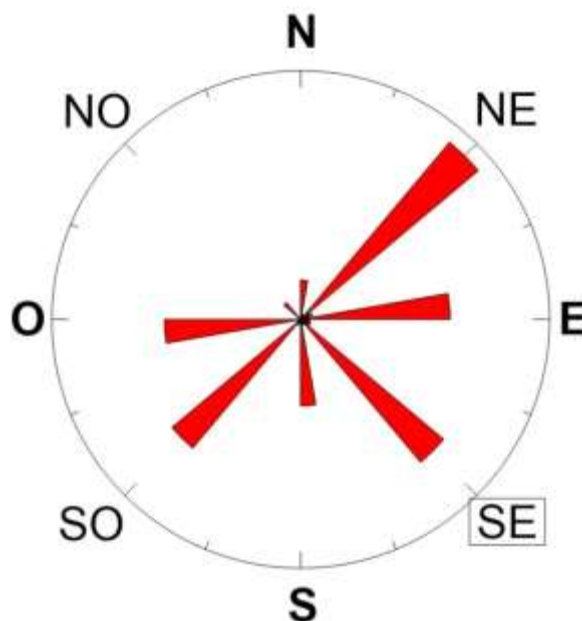


Fig. 3.2.2. Dirección de las plumas donde se midió de gases de azufre SO_2 en el volcán el Ubinas 2015.

3.2.2. Resultados del monitoreo de aguas en el volcán Ubinas

En el periodo Enero a Diciembre del 2015, el monitoreo se centró en la fuente Ubinas termal UBT, a la cual se le realizaron 122 análisis de agua. Adicionalmente se monitorearon 5 fuentes termales, de las cuales se les realizó 12 análisis de agua. Las 6 fuentes monitoreadas al redor del volcán (Tabla 3.2.2 y Fig. 3.2.3). La mayoría de las fuentes termales se ubicaron al Sureste y Suroeste del volcán, en el valle de Ubinas, cerca de los poblados de Ubinas, Querapi, Huarina y Santa Rosa de Phara. La temperatura de estas fuentes estuvo entre 10 y 36 °C.

Tabla 3.2.2. Ubicación de las 06 fuentes termales empleadas para el monitoreo del volcán Ubinas.

N°	Nombre fuente	Codigo	UTM	Latitud	longitud
1	Ubinas termál	UBT	19K	301238	8187748
2	Chimpamoya	CHI	19K	298686	8188209
3	Ispaypuquio	ISP	19K	206447	8187970
4	Huarina	HUA	19K	306029	8180986
5	Chiflon	CHF	19K	301908	8194389
6	Phara	PHA	19K	301081	8187620

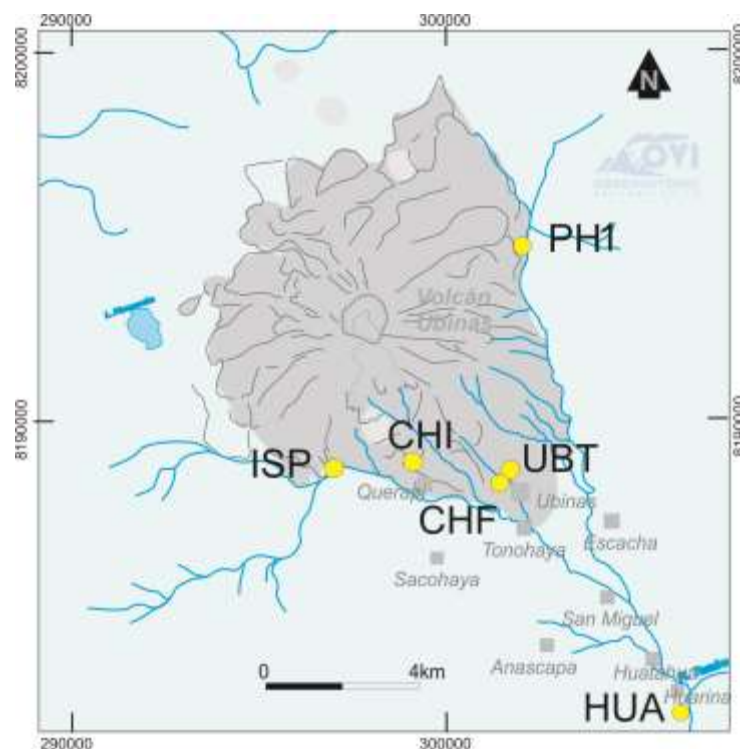


Fig. 3.2.3. Mapa de ubicación de los puntos donde se muestreó el agua (amarillo) alrededor del volcán Ubinas.

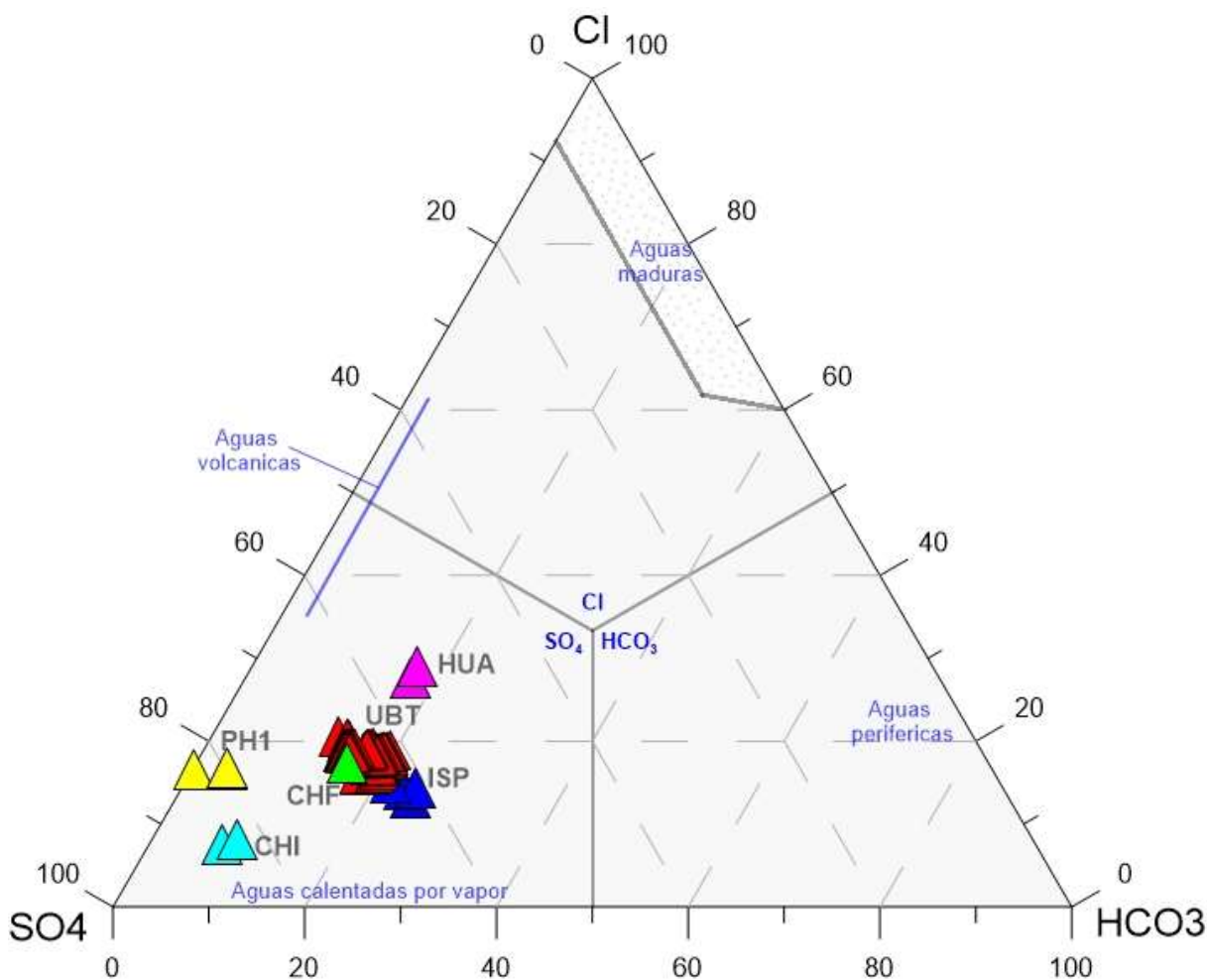


Fig. 3.2.4. Diagrama ternario de los aniones mayoritarios, Cloruros Cl^- , Sulfatos (SO_4^{2-}) y Bicarbonatos (CO_3^{2-}) de las fuentes termales del volcán Ubina, correspondientes al periodo enero a diciembre del 2015.

La fuente UBT, dada su ubicación, a tan solo 6 km al SE del cráter del volcán Ubina, y sobre la carretera de acceso al pueblo de Ubina, y por ende, la mayor cantidad de muestras; fue elegida como la fuente ideal para el monitoreo sistemático de este volcán. Las mediciones realizadas durante el 2015, han evidenciado variaciones en los parámetros fisicoquímicos y la composición del agua.

Interpretación de los resultados de la Fuente Ubina Termal (UBT)

La fuente UBT, ubicada a 6 km al SE del cráter del Ubina, ha presentado variaciones en su composición química y parámetros físicos (Fig. 3.2.5), los principales los que describiremos a continuación:

- **Ión Sulfato (SO_4).**- Es el compuesto es el más abundante en la fuente UBT, varió entre 960 y 1138 ppm. La variaciones con mayor amplitud ocurrieron entre enero mediados de junio, las de menor amplitud entre mediados de junio y mediados de julio. Además se observa una clara tendencia de incremento de la concentración entre los meses de abril a octubre.

- **Temperatura (T°).**- se registrada cada 5 minutos por triplicado equipos Tinytag Aquatic2 hasta principios de noviembre. La temperatura obtenida varió entre 28,12 °C y 29,74 °C. Se puede apreciar una tendencia de descenso entre mediados de enero y fines de octubre, con variaciones de gran amplitud casi todo el año a excepción de lo ocurrido entre (1) mediados de marzo a principios de abril, (2) segunda quincena de junio, (3) finales de julio y agosto, todos estos periodos coinciden con etapas de mayor actividad en el Ubinas. Otro acontecimiento es el descenso de la temperatura ocurrido entre septiembre y octubre, alcanzando el mínimo (28,125 °C) el 20 de octubre.
- **Sodio (Na).**- Varió entre 242 y 399 ppm. El pico de mayor concentración se dio el 19 de octubre, fecha que coincide con el mayor descenso de temperatura. Se puede destacar que para fines de diciembre se registraron los valores menores.
- **Calcio (Ca) y Potasio (K).**- La concentración de ambos elementos presentan un comportamiento similar. Con variaciones de 195 a 292 ppm y 33 a 46 ppm respectivamente, el Potasio con fines comparativos se graficó cinco veces su valor. El pico de las variaciones más notable es el registrados en marzo, el cual también se observó en el Sodio.
- **Sílice (SiO₂).**- Varió entre 39 y 74 ppm, Lo más destacable un incremento que se prolonga desde mediados de enero y fines de febrero, un descenso de la concentración en agosto, y un notable incremento en diciembre antes de un súbito descenso.
- **Ión Fluoruro (F).**- el incremento de este ión se puede asociar con el incremento de componente magmática en el sistema hidrotermal. Se ha expresado en la gráfica 150 veces para fines comparativos. Varió entre 0.5 y 1.9 ppm. Su incremento se da desde fines de marzo, se mantiene alto hasta julio, en agosto ocurre un descenso, posteriormente se presenta una tendencia a incrementarse hacia mediados de diciembre, posteriormente descendió hacia fines de diciembre, este comportamiento es similar al Sílice.
- **Ión Cloruro (Cl).**- Varió entre 263.0 y 332.8 ppm. Mostró una clara tendencia de incremento de su concentración entre febrero y principios de noviembre con variaciones en febrero, marzo, abril junio, julio agosto y octubre, periodos en que se dio un notable incremento de la actividad del volcán Ubinas.
- **Ión Bicarbonato (HCO₃⁻).**- Varió entre 201 y 331 ppm, Presenta las variaciones más notables a partir de julio, en agosto registra el mínimo de concentración, de manera similar al Sílice e Ión Fluoruro. Posteriormente presenta un súbito descenso, manteniéndose hasta diciembre.
- **Conductividad Eléctrica (CE).**- Varió entre 2620 y 3490 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Presentó picos en los meses febrero y julio, Posteriormente cambia su comportamiento presentando valles en julio, agosto septiembre y octubre.
- **Potencial de Hidrógeno (pH).**- Varió entre 5.8 y 7.1. Las principales variaciones se dieron en febrero, una tendencia de incremento de abril a junio. No se obtuvieron registros posteriores a julio.

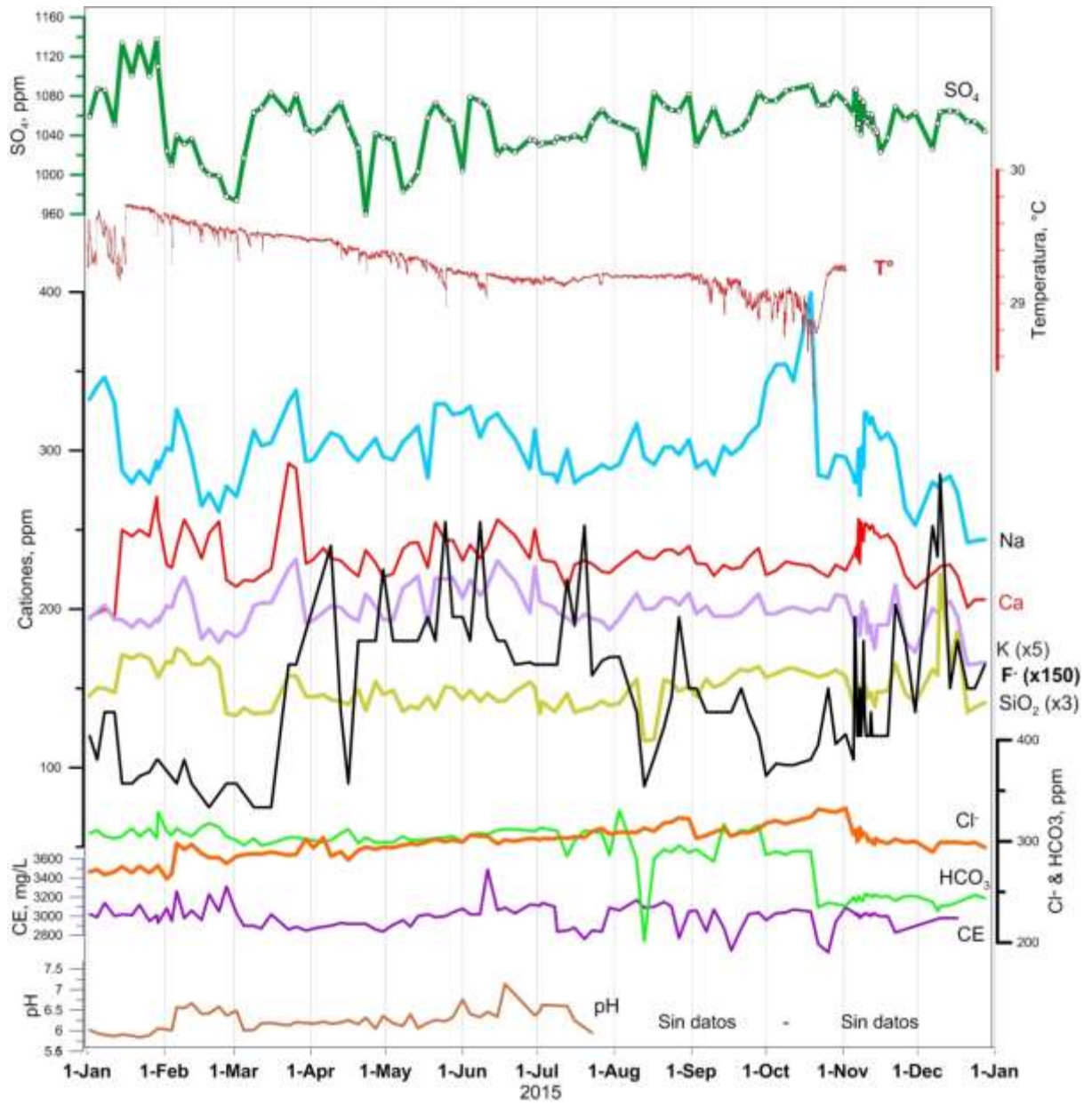


Fig. 3.2.5. Composición química de los principales elementos e iones de la fuente Ubinas termal (UBT), periodo 2015.

3.3. Interpretación de resultados de geodesia

Los métodos de monitoreo GPS y/o EDM permiten conocer con exactitud el grado de deformación de un volcán basado en la existencia de alguna variación de la distancia, base-prisma reflector. Para ello, los datos de las estaciones son procesadas diariamente en el centro de procesamientos del OVI. Cada coordenada es comparada con la primera lectura del periodo (fecha inicio de monitoreo) y su diferencia se graficada en función del tiempo para observar el comportamiento del punto durante el periodo de registro en cada una de las componentes, tanto en magnitud como en sentido.

3.3.1. Mediciones EDM

Los resultados de mediciones para el año 2015 se muestran en las figuras 3.3.1 – 3.3.4. En ellas se observan variaciones de distancia entre cada una de las mediciones realizadas (mensual), estas se expresan en curvas de deformación para cada flanco. Estas curvas, mantienen una tendencia horizontal en una ventana de tiempo considerado para el presente reporte de un año (entre enero a diciembre de 2015). Las últimas lecturas muestran que esta tendencia se mantiene y a veces fluctúa dentro del rango de error del instrumento. Las variaciones observadas se deben a factores atmosféricos (presión, temperatura y humedad) e inherentes al instrumento (calibración, posicionamiento). Siendo esta tendencia evidente en cuatro estaciones, se interpreta que la actividad volcánica (sísmica y emisiones de ceniza) del Ubinas no estaría generando suficiente presión en el interior que pudiera manifestarse como cambio en la superficie del volcán medible con este método.

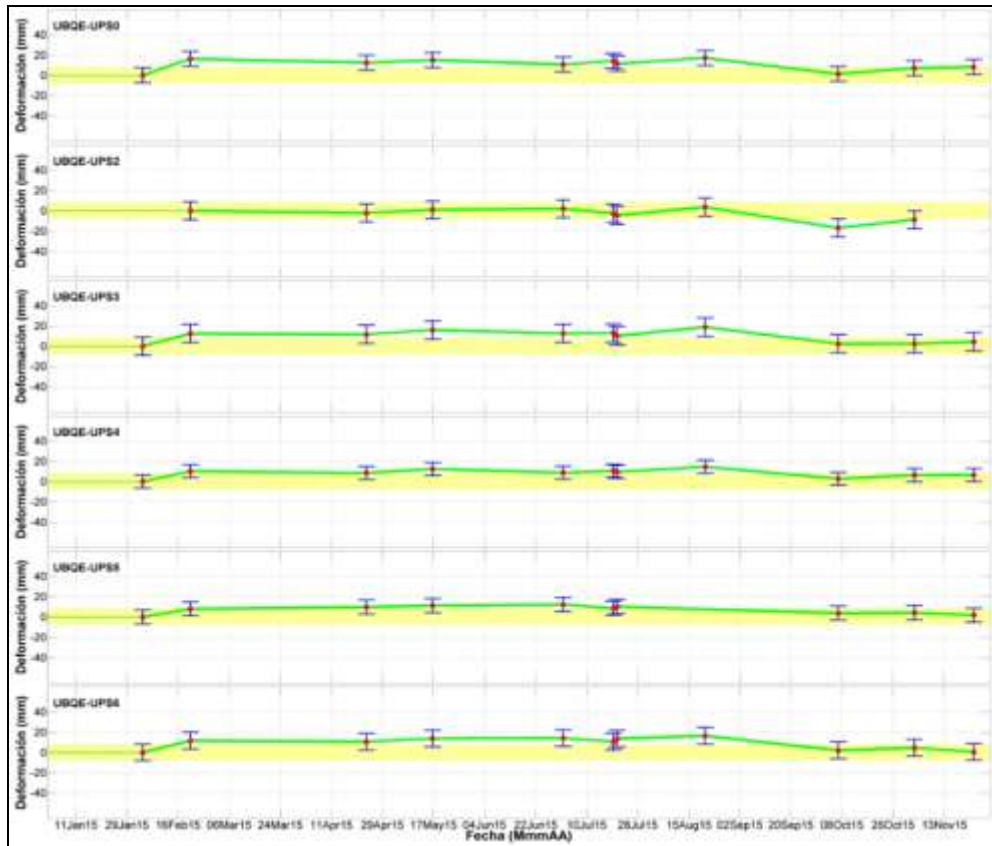


Figura 3.3.1 Comportamiento de mediciones EDM observado de la estación UBQE, periodo de registro enero – diciembre de 2015.

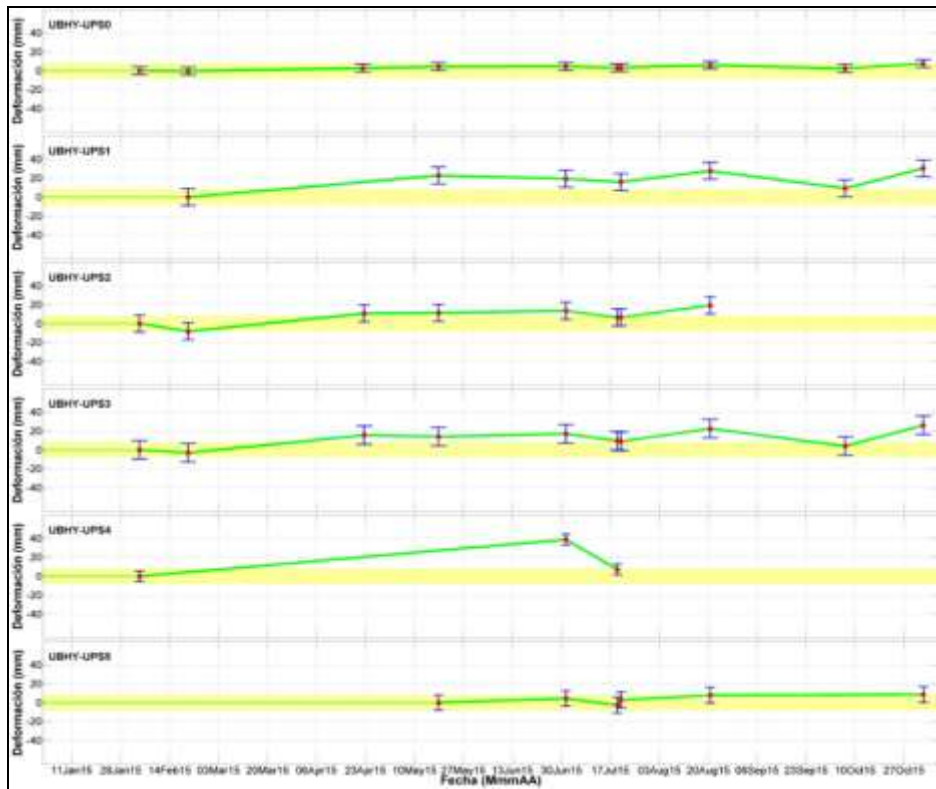


Figura 3.3.2 Comportamiento de mediciones EDM observado de la estación UBHY, periodo de registro enero – diciembre de 2015.

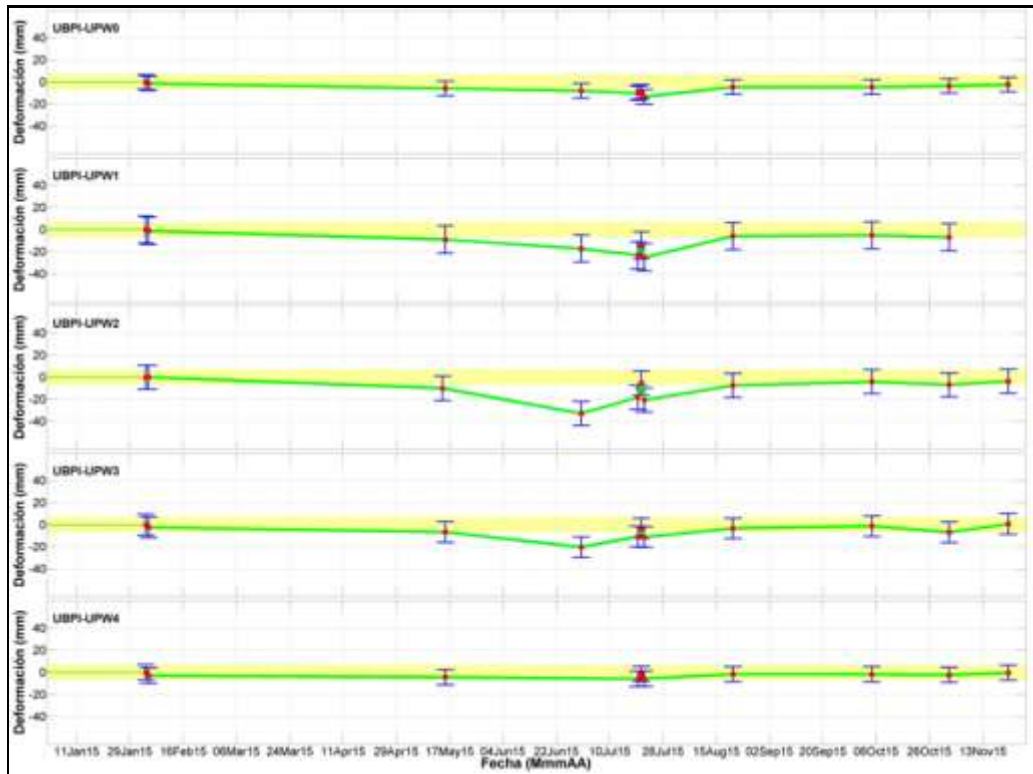


Figura 3.3.3 Comportamiento de mediciones EDM observado de la estación UBPI, periodo de registro enero – diciembre de 2015.

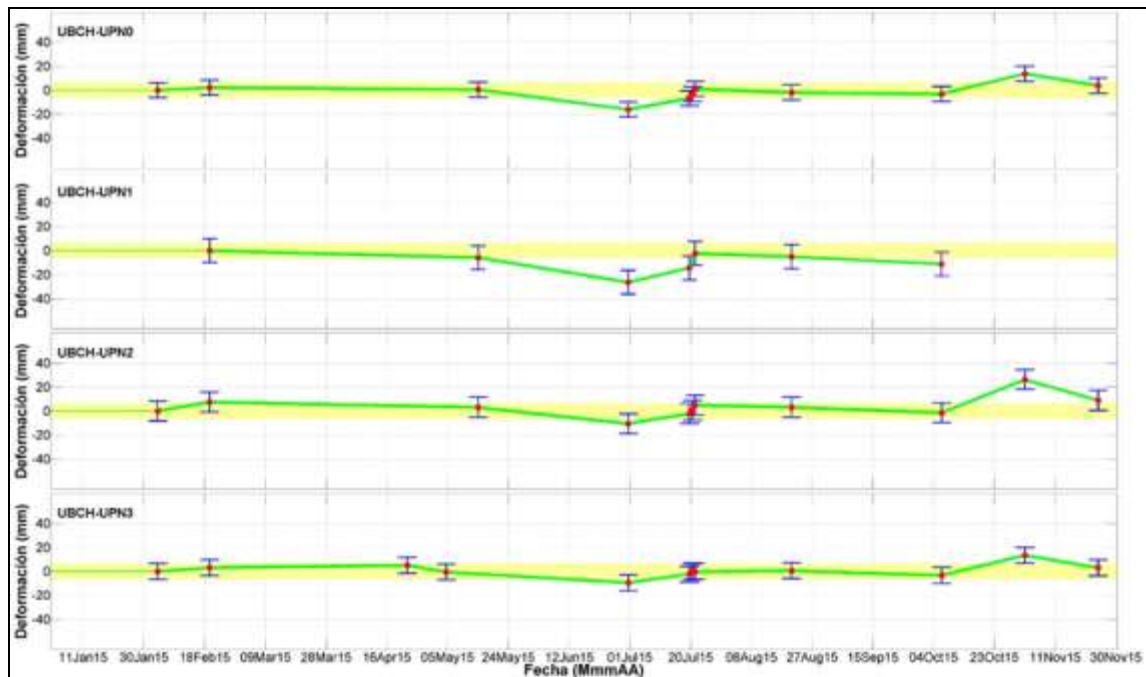


Figura 3.3.4 Comportamiento de mediciones EDM observado de la estación UBCH, periodo de registro enero – diciembre de 2015.

3.3.2. Mediciones GPS

En la Figura 3.3.8 se muestran los resultados obtenidos que corresponde a un periodo de 122 días de la estación permanente UBGW. Los gráficos representan la variación de cada una de las componentes de coordenadas (latitud = X, longitud = Y y altura = Z) en el tiempo, denominado series temporales y esta nos permite ver la tendencia de desplazamiento del hito geodésico. La componente X presenta tendencia negativa de 3.81 mm (dirección oeste). La componente Y presenta tendencia horizontal. La componente Z presenta tendencia negativa de 5.69 mm, hacia el final del periodo. Estas tendencias se pueden ver mejor en el mapa de campo de desplazamiento (ver Figura 3.3.10).

Tabla 3.3.1 Desplazamientos calculados para las series temporales durante el periodo de monitoreo correspondiente al año 2015, obtenido para cinco estaciones GPS de registro temporal.

ESTACIÓN MONITOREO	VALORES CALCULADOS PARA LAS SERIES TEMPORALES					
	X (mm)	DIRECCION	Y (mm)	DIRECCION	Z (mm)	TENDENCIA
UBQE	10.62	OESTE	5.28	SUR	5.85	POSITIVA
UBHY	6.83	ESTE	6.19	SUR	9.09	POSITIVO
UBPI	35.23	ESTE	6.99	SUR	23.00	POSITIVO
UBGW	6.47	OESTE	0.88	NORTE	10.19	POSITIVO
UBCH	11.80	OESTE	8.02	NORTE	32.56	POSITIVO

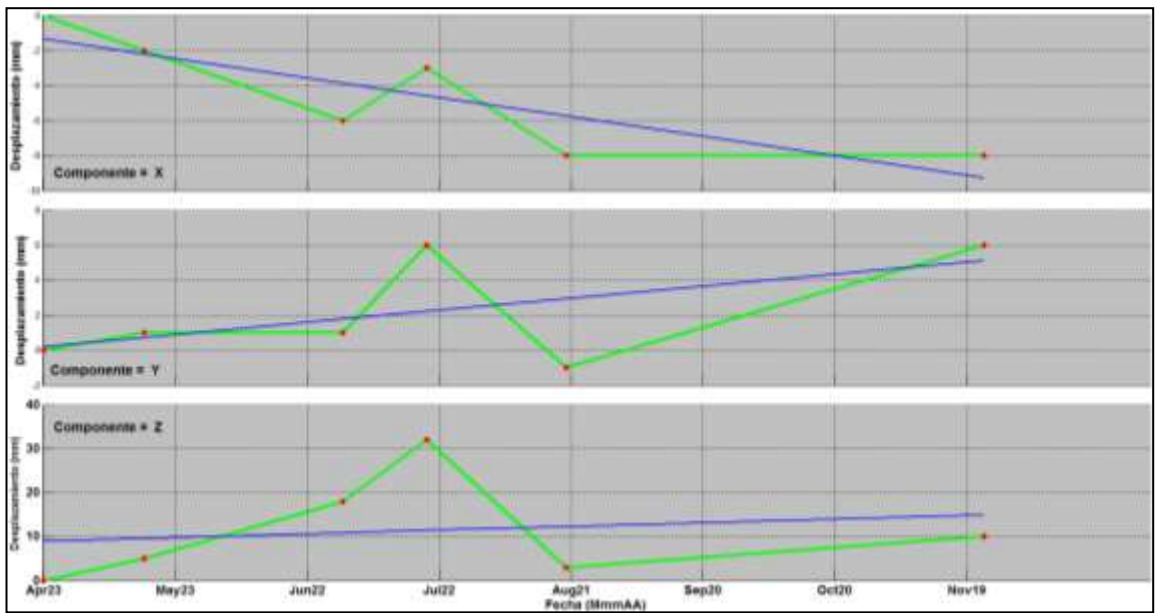


Figura 3.3.5 Comportamiento de las coordenadas de la estación UBQE para el periodo comprendido entre enero a diciembre de 2015.

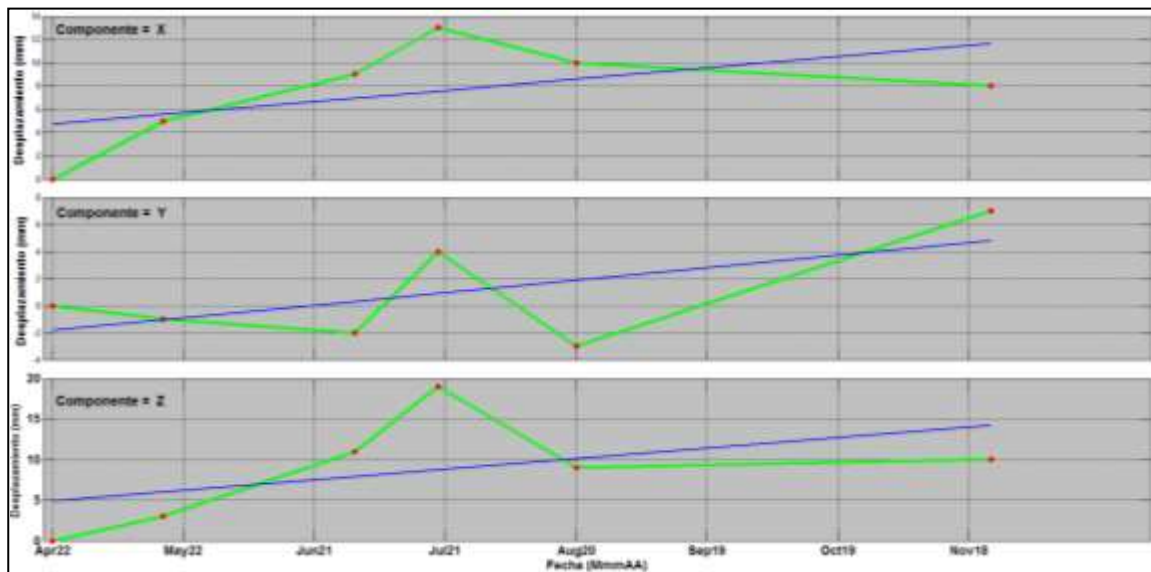


Figura 3.3.6 Comportamiento de las coordenadas de la estación UBHY para el periodo comprendido entre enero a diciembre de 2015.

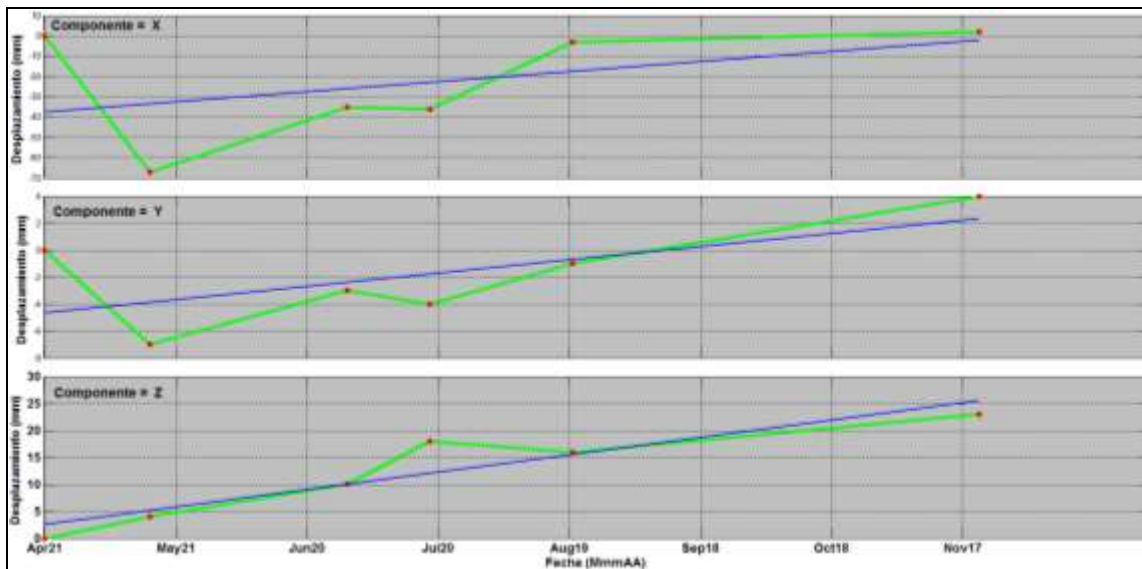


Figura 3.3.7 Comportamiento de las coordenadas de la estación UBPI para el periodo comprendido entre enero a diciembre de 2015.

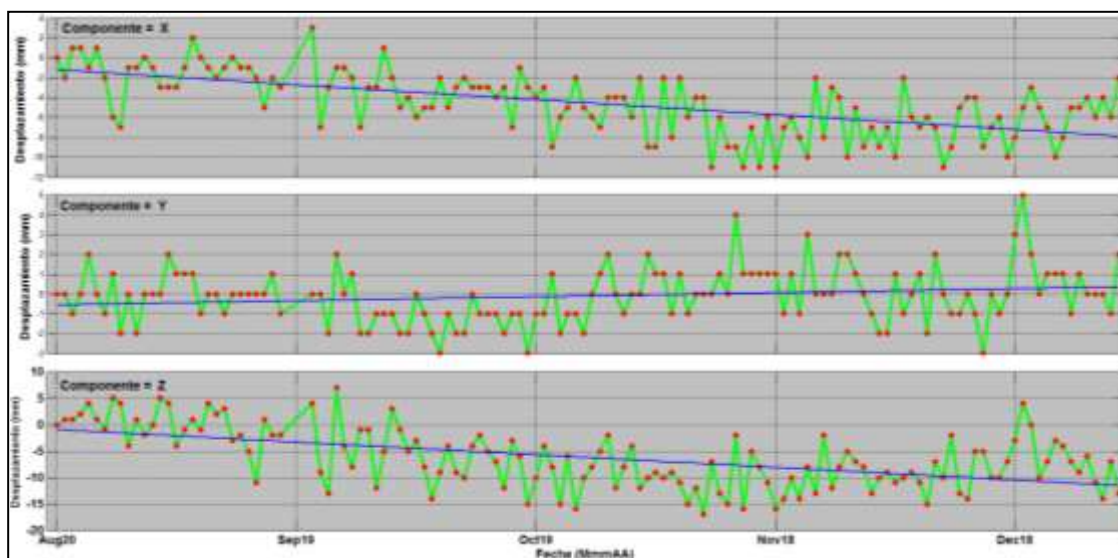


Figura 3.3.8 Comportamiento de las coordenadas de la estación UBGW para el periodo comprendido entre enero a diciembre de 2015.

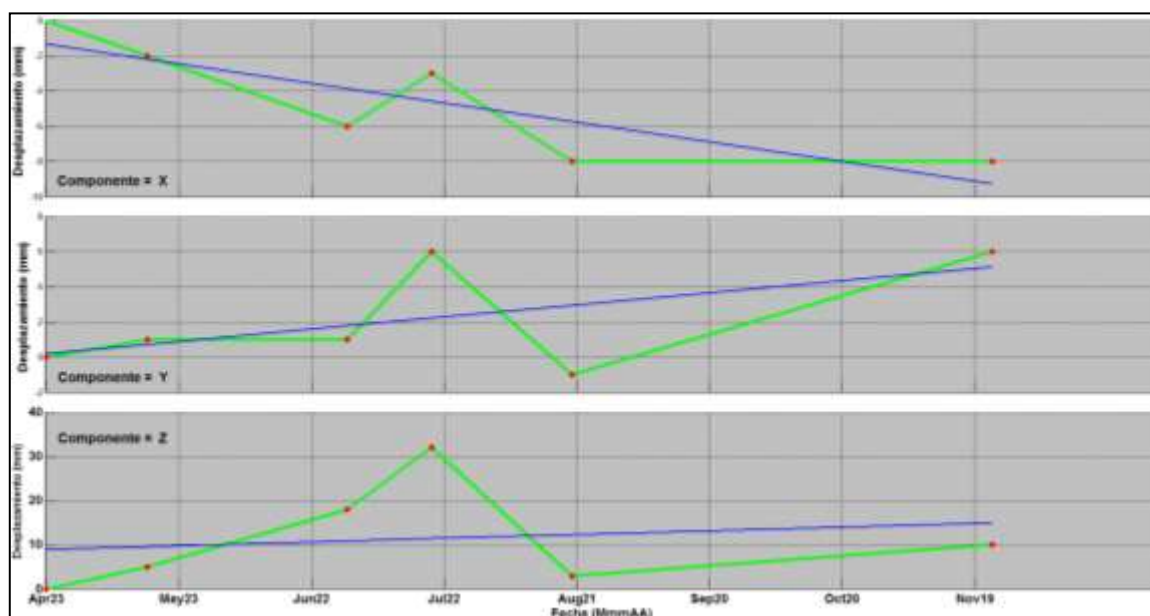


Figura 3.3.9 Comportamiento de las coordenadas de la estación UBCH para el periodo comprendido entre enero a diciembre de 2015.

Se presentan los desplazamientos calculados para el volcán Ubinas (Figura 3.3.10) donde se muestran los vectores de desplazamiento horizontal y vertical. Para la estación UBQE (Querapi) se calculó un desplazamiento horizontal de 10.8 mm en dirección Noreste, así mismo para la estación UBHY (Huayrapata) se calculó un desplazamiento de 4.2 mm, a su vez para la estación UBPI (Piscococha) se obtiene un desplazamiento de 34.1 mm en dirección este y para la estación UBCH (Chimin) se obtiene un desplazamiento de 18.0 mm en dirección sureste para un periodo de 424 días. Los vectores de desplazamiento vertical se muestran en la Figura 3.3.10, cuatro estaciones registran tendencia en sentido positivo entre 9 a 37 mm, respectivamente, evidenciando un probable proceso de levantamiento del volcán. Los desplazamientos obedecen a que el área de monitoreo posee una afectación de la deformación local atribuido, probablemente al comportamiento de la actividad tectónica, las cuales condicionan la magnitud del desplazamiento. Resultados NO están vinculados al proceso eruptivo del Ubinas.

Tabla 3.3.2 Valores calculados de los vectores de desplazamiento para el volcán Ubinas.

TIPO DE MONITOREO	ESTACIONES DE MONITOREO	VECTORES DE DESPLAZAMIENTO			
		HORIZONTAL (mm)	DIRECCION DESPLAZAMIENTO	VERTICAL (mm)	TENDENCIA
TIEMPO REAL	UBGW	5.30	SUROESTE	14.00	POSITIVO
TEMPORAL	UBQE	10.80	NORESTE	6.00	POSITIVO
	UBHY	4.20	SURESTE	37.00	POSITIVO
	UBPI	34.10	ESTE	26.00	POSITIVO
	UBCH	18.00	SURESTE	27.00	POSITIVO

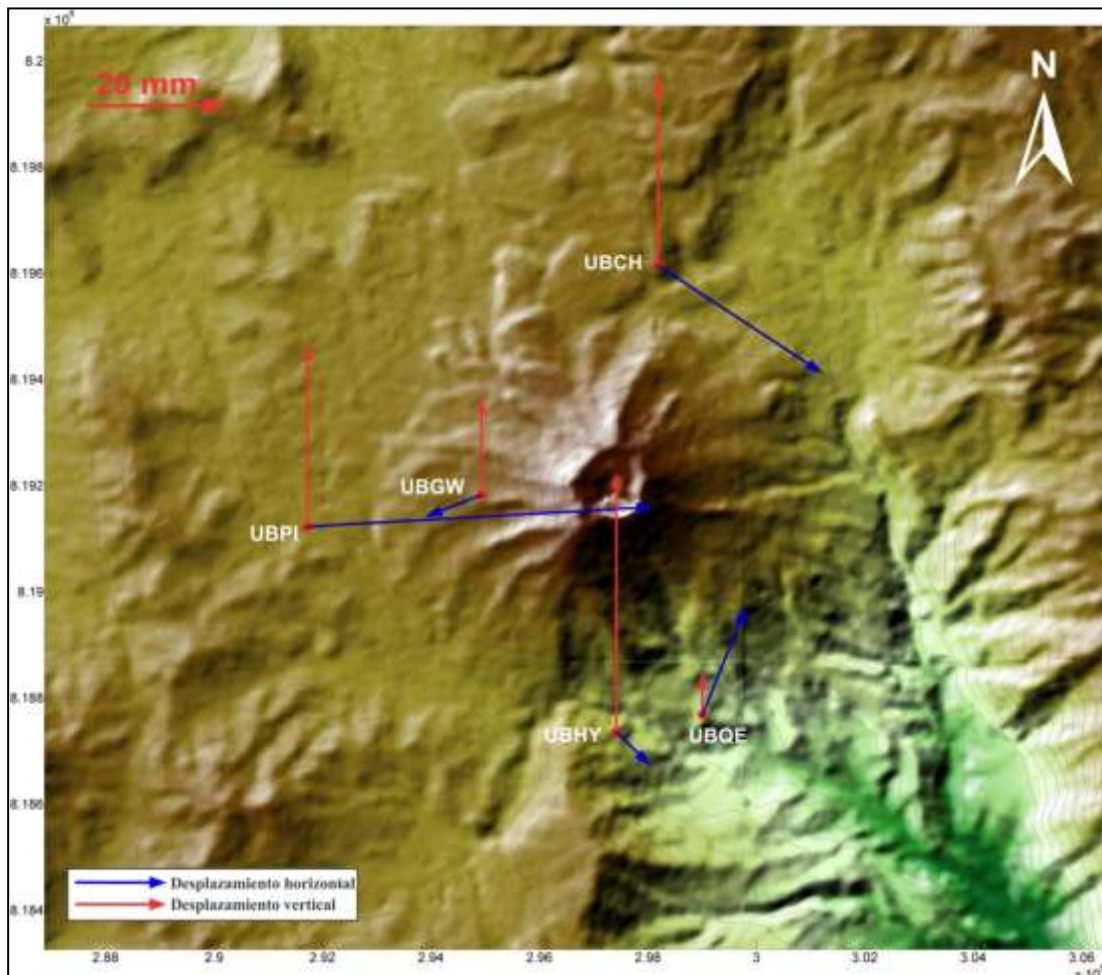


Figura 3.3.10 Vectores de desplazamiento de las estaciones de monitoreo, para un periodo entre enero a diciembre de 2015 (un año).

3.4 Resultados del monitoreo Visual

El histograma de la Fig. 3.4.1, muestra que durante el año 2015 se detectaron 03 fases de actividad volcánica, bien diferenciadas, en función de la altura de las plumas fumarólicas medidas desde la cima del volcán Ubinas. La primera fase se presenta entre los meses de enero hasta marzo, durante el cual, las alturas de las plumas fumarólicas no superan los 1500 m de altura. La segunda fase se presenta desde el 08 de abril y se extiende hasta mediados de octubre con columnas de gases y cenizas más altas, que alcanzan los 4000 m (26 de julio y 28 de septiembre 2015). La tercera fase se presenta entre los meses de octubre a diciembre con columnas fumarólicas más bajas, que en promedio alcanzan los 2000 m.; en las cuales se existe la presencia de gases en estado de dispersión que contienen vapor de agua y partículas de azufre lo cual forma el ácido sulfúrico y da la coloración azulino.

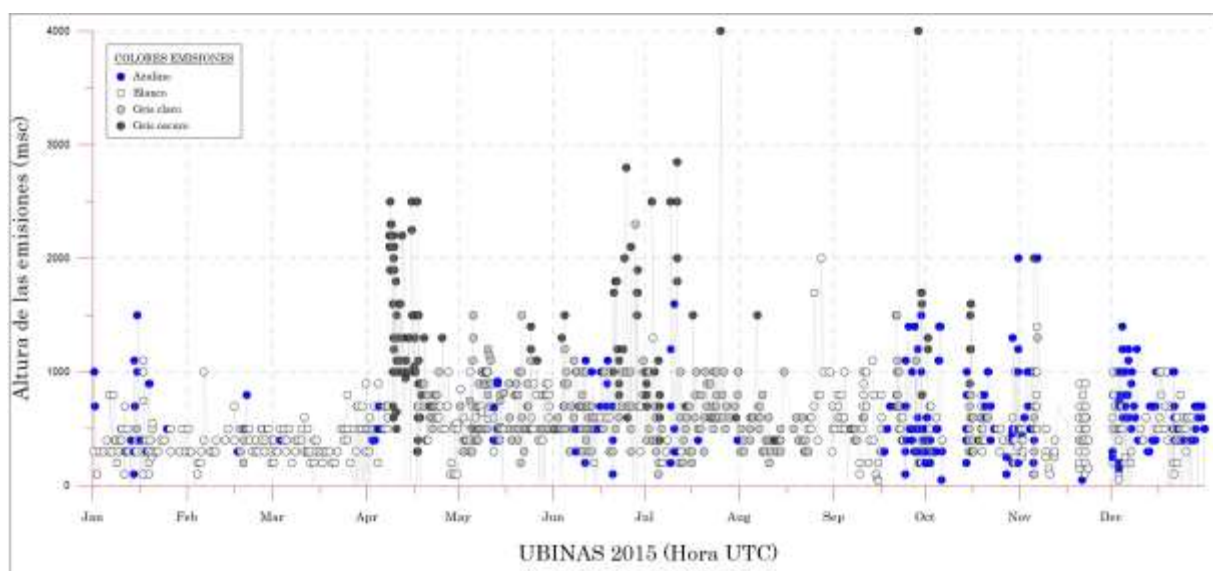


Fig. 3.4.1. Histograma de la altura de las plumas de gases y ceniza registradas en el volcán Ubinas durante el periodo enero-diciembre del 2015.

En general, entre enero a junio, las columnas fumarólicas tuvieron una inclinación predominante hacia el Oeste y Sureste. La segunda mitad del año 2015 (julio a diciembre), las columnas fumarólicas se inclinaron hacia el Sureste, Noreste seguida de la Este del volcán. Estas columnas fumarólicas, por lo general, se extendían en un radio de 20 km alrededor del cráter del volcán Ubinas. Una de estas explosiones (28 de septiembre 2014), generó una columna fumarólica, cuyas partículas que superaron a 50 km al Sureste del volcán Ubinas (<http://archivo.larepublica.pe/23-04->

2014/cenizas-de-volcan-ubinas-llegan-a-7-distritos-de-arequipa-y-en-proximas-horas-a-puno).

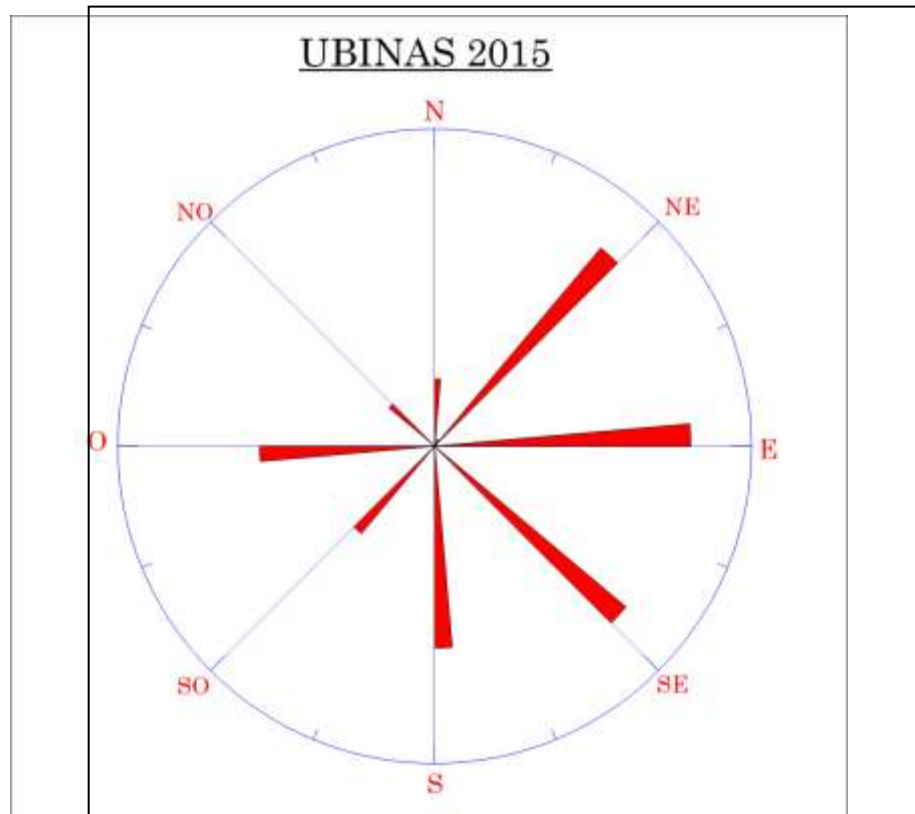


Fig. 3.4.2. Diagrama de rosas correspondiente a desplazamiento de las plumas de gases y ceniza registradas en el volcán Ubinas durante el periodo enero-diciembre del 2015.

En resumen durante el año 2015 se registraron 15 explosiones audibles registradas entre los meses de enero a diciembre, luego de las cuales las columnas eruptivas alcanzaron alturas máximas entre 2000 y 4000 metros sobre el nivel del cráter (msnc), sin embargo la altura promedio durante el año osciló entre los 1000 y 1500 msnc (figura 3.4.3, 3.4.7).El color de dichas emisiones fue, principalmente gris oscuro debido al alto contenido de ceniza para las emisiones más altas.



Fig. 3.4.3. Foto de las emisiones de ceniza y gases que se elevó a 4000 msnc, originada luego de la explosión del 15 de abril del 2015.

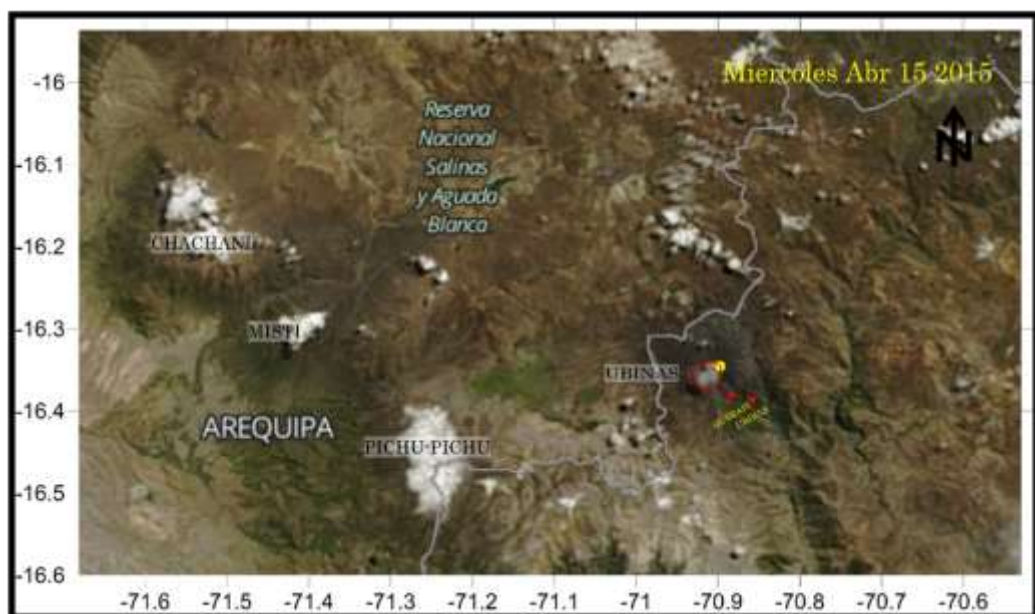


Fig. 3.4.4. Imagen satelital ASTER del 15 de abril del 2015. Se muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección Este.



Fig. 3.4.5. Foto de las emisiones de ceniza y gases de 1800 msnc. Aproximadamente, originada luego de la explosión del 04 junio del 2015.

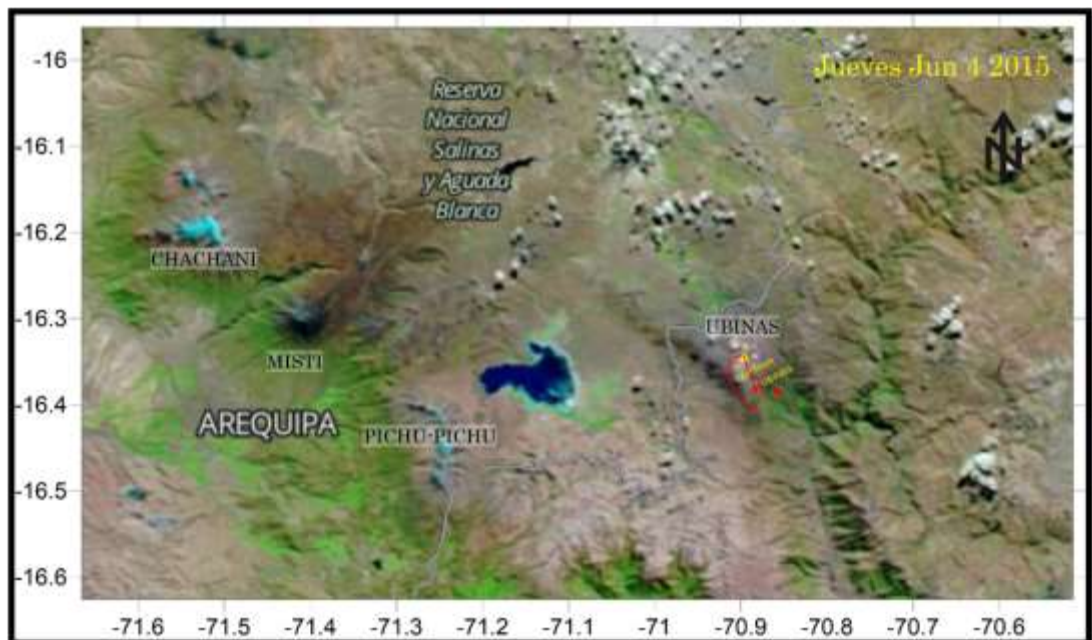


Fig. 3.4.6. Imagen satelital ASTER del 04 de junio del 2015. Se muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección Este.



Fig. 3.4.7. Foto de las emisiones de ceniza y gases que se elevó a 4000msnc, originada luego de la explosión del 28 de septiembre del 2015.



Fig. 3.4.8. Imagen satelital ASTER del 28 de septiembre del 2015. Se muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección Este.

4. Recomendaciones

- Complementar redes de Monitoreo Geodésico, Sísmico, Geoquímico y Visual en el volcán Sabancaya con transmisión de datos en tiempo real, así mismo priorizar trabajos de vigilancia temporal y diaria.
- Implementar sistemas de seguridad y protección de equipos en campo con la construcción de casetas de concreto.
- Implementar las acciones recomendadas en el Comunicado Nro. 09-2015, emitido por el Comité Científico el día 07 de octubre del 2015.

5. Conclusiones

En el 2015 el monitoreo del volcán Ubinas se realizó mediante el empleo de cinco métodos: sísmico, geoquímico, geodésico, visual y remoto.

- ✓ Durante el 2015:
 - El monitoreo Sísmico ha identificado un total de 46396 señales sísmicas volcánicas, con una tasa de ocurrencia de 127 sismos por día. Esta sismicidad ha sido dominada por eventos LP, seguidos de VT, HYB, TOR y 26 explosiones. El análisis de energía para este periodo determina que los incrementos se relacionan a los registros de explosiones y actividad tremórica. Los resultados de las localizaciones de sismos VT muestran una intensa actividad localizada debajo del volcán, a su vez sugiere la ubicación posible de una cámara magmática entre los 16 y 19 km de profundidad.
- ✓ El monitoreo geoquímico de flujos de SO₂, encontró un incremento de los flujos desde inicios de año, que alcanzaron un máximo el 18 de julio con un flujo máximo de 7633 Tn/d. Posterior a esta fecha los flujos disminuyeron. El monitoreo geoquímico de la fuente "Ubinas Termal" mostró que el sistema hidrotermal se perturbo con la presencia e incremento de iones de origen magmático, como Sulfato, Cloruro y Fluoruro, además de variaciones en elementos como Sodio, Calcio y Potasio, entre otros. Mostrando variaciones anómalas asociados con los periodos de incremento y reducción de la actividad, los meses de marzo, abril, junio, julio, octubre y diciembre.
- ✓ Las mediciones de distancia electrónica EDM medidos en los cuatro flancos del volcán Ubinas no han registrado deformación asociado a la actividad volcánica o por lo menos no fueron observados mediante este método.
- ✓ En cuanto al monitoreo Geodésico, para este periodo ha implementado y puesto en operatividad el sistema de monitoreo GPS de transmisión de datos en tiempo real, ubicado en el flanco oeste, denominado estación UBGW, instalado durante el mes de agosto de 2015. Así mismo los registro GPS que representa un año de monitoreo, muestran que las estaciones de monitoreo temporal experimentan un desplazamiento entre 6.47 y 35.23 mm para la componente **X**, las estaciones UBCH, UBGW y UBQE se desplaza en dirección oeste y las estaciones UBPI y UBHY se desplazan hacia el este. mientras la componente **Y** presento un desplazamiento a razón de 0.88 mm a 8.02 mm en dirección norte y la componente **Z** evidencia un probable proceso tectónico de levantamiento entre 5.85 mm y 32.56 mm, calculados para el volcán Ubinas. Dicho proceso estaría atribuido al complejo comportamiento de la dinámica en cada área de monitoreo y estas asociadas al efecto del movimiento de las placas tectónicas.
- ✓ El monitoreo visual del Ubinas se realiza utilizando dos cámaras de video y una escala referencial ubicada entre dos puntos del edificio volcánico. Se ha diferenciado 03

fases en función de la altura de las plumas fumarólicas sobre el borde de la caldera del Ubinas. La primera se presenta entre los meses de enero hasta marzo, durante el cual, las alturas de las plumas fumarólicas no superan los 1500 m de altura. La segunda fase se presenta desde el 08 de Abril y se extiende hasta mediados de octubre con columnas de gases y cenizas más altas, que alcanzan los 4000 m (26 de julio y 28 de septiembre 2015). La tercera fase se presenta entre los meses de octubre a diciembre con columnas fumarólicas más bajas, que en promedio alcanzan los 2000 m.

- ✓ La información generada en el monitoreo multidisciplinario del volcán Ubinas y los resultados obtenidos en el análisis respectivo, se encuentran almacenados en la base de datos del Centro de Procesamientos del OVI. Asimismo, la emisión de reportes diarios, semanales y mensuales son remitidos vía correo electrónico a autoridades y funcionarios públicos; además, esta información está disponible en la página web del INGEMMET.

6. Bibliografía

- De Silva & Francis, 1991. *Volcanoes of the Central Andes*. viii + 216 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag. Price DM 138.00 (hard covers). ISBN 3 540 53706 6.
- Hochtein, M.P. & Broune, P.R.L (2000)-Surface manifestations of geothermal systems with volcanic heat sources. En: Sigurdsson, H., ed., *Encyclopedia of volcanoes*. San Diego, CA:Academic Press, p 835-855
- Lesage, 2009 - *User manual. SEISMO_VOLCANALYSIS: Signal analysis tools for seismo-volcanic events*. Université de Savoie, Chambéry, France. Institut de Recherche pour le développement, France. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Masías, P., Antayhua, Y., Ramos, D. (2010) Monitoreo de las fuentes termales y fumarolas del volcán Misti (AREQUIPA) 2005 – 2010). XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Pub. Esp. Nº 9. Cusco p. 1136 – 1139
- Ramos, D., P. Masías, E. Taipe, R. Machaca, M. Ortega, F. Apaza, I. Lazarte, J. Calderon, D. Enríquez, R. Miranda, R. Anccasi, B. Ccallata (2014) Informe Técnico Monitoreo del volcán Ubinas durante el 2014, Avances y perspectivas. Informe técnico Dirección de Geología Ambiental, INGEMMET.
- Thouret, 1999 - *Volcanic geomorphology—an overview*. Institut de Recherche pour le Développement UR 6 and Centre de Recherches Volcanologiques, UMR 6524 CNRS Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France. Received 13 August 1998; accepted 17 February 1999.