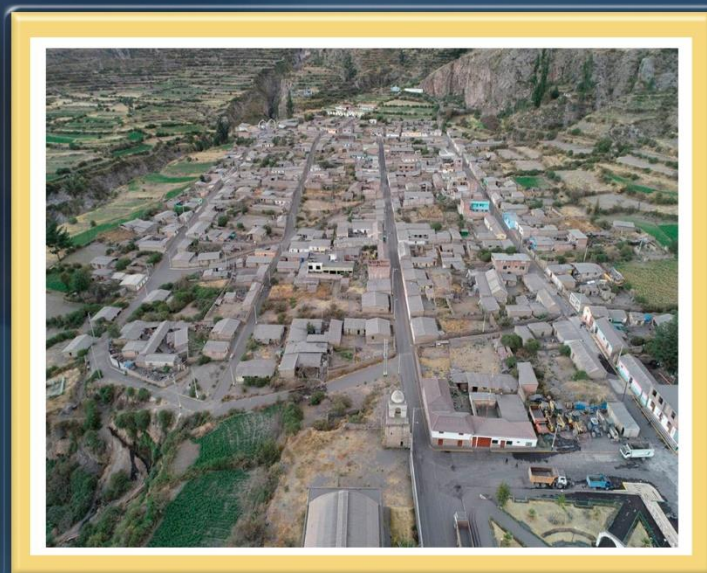


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7000

**INFORME TÉCNICO ANUAL:
VIGILANCIA DEL VOLCÁN UBINAS,
PERIODO 2019**

Región Moquegua
Provincia General Sánchez Cerro
Distrito Ubinas



DICIEMBRE

2019

**INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL INGEMMET – OVI**

Informe Técnico Nro. A7000

**INFORME TÉCNICO ANUAL:
VIGILANCIA DEL VOLCÁN UBINAS, PERIODO
2019**

EQUIPO DE TRABAJO

NOMBRE	AREA
Domingo Ramos Palomino	Sismología
Mayra Ortega Gonzales	Sismología
Yanet Antayhua Vera	Sismología
Rosa Ancasi	Sismología
Beto Ccallata Pacsi	Sismología
Rafael Miranda Cruz	Deformación
Edu Taipe Maquerhua	Deformación
Luis Cruz Mamani	Deformación
Fredy Apaza Choquehuayta	Química
Pablo Masias Alvarez	Química, Hidrología
David Valdivia Humerez	Geología
Carlos Luza Huillca	Sensores Remotos

AREQUIPA – PERU

Diciembre - 2019

Contenido

RESUMEN	6
1 INTRODUCCION	7
1.1 Objetivos	7
1.2 Volcán Ubinas.....	7
1.3 Ubicación.....	8
1.4 Antecedentes	9
1.5 Técnicas de Vigilancia.....	10
1.6 Red de Vigilancia	10
1.6.1 Periodo de Funcionamiento de la Red de Monitoreo.....	12
2 QUIMICA DE GASES Y AGUAS.....	14
2.1 Vigilancia de Gases Volcánicos.....	14
2.1.1 Red Escáner DOAS.....	14
2.1.2 Multigas:.....	14
2.2 Resultados de Vigilancia de flujos de SO ₂	15
2.3 Resultados del Multigas	16
2.3.1 Fuentes de Agua.....	16
2.3.2 Resultados del Vigilancia de fuentes termales.....	17
2.3.3 Resultados de Temperatura de la Fuente UBT	17
3 DEFORMACIÓN.....	19
3.1 Estaciones GPS CORS.....	19
3.1.1 Instrumentación y Red de Vigilancia	19
3.1.2 Adquisición y Procesamiento de Datos.....	21
3.1.3 Estaciones GPS Permanentes	21
3.1.4 Series temporales y deformaciones asociadas	21
3.1.5 Líneas base GNSS.....	24
3.1.6 Mapa de vectores de desplazamiento	26
3.2 Inclinometría Electrónica	27
3.2.1 Instrumentación De Inclinómetros	28
3.2.2 Adquisición de Datos y Procesamiento.....	28
3.2.3 Análisis de Resultados	28
3.3 InSAR	30
4 VIGILANCIA SÍSMICA.....	33
4.1 Red sísmica.....	33

4.2	Procesamiento y análisis	34
4.3	Resultados	35
4.3.1	Señales sísmicas representativas	35
4.3.2	Sismicidad en el volcán Ubinas	39
4.3.3	Energía sísmica diaria y acumulada.....	41
4.3.4	Localización de las señales sísmicas volcano – tectónicas (VT).....	42
5	SENSORES REMOTOS.....	45
5.1	Red de Cámaras.....	45
5.2	Características de las Emisiones.....	45
5.2.1	Forma y ocurrencia.....	45
5.2.2	Dirección predominante	47
5.2.3	Imágenes representativas de emisiones fumarólica.....	47
5.3	Vigilancia satelital.....	49
5.3.1	Anomalías Térmicas	52
6	PRODUCTOS EMITIDOS	53
6.1	Red de cenizómetros.....	53
6.2	Muestreo de Cenizas.....	53
6.3	Análisis por Lixiviación.....	54
6.3.1	Metodología	55
6.3.2	Datos	55
6.3.3	Interpretación	56
6.4	Componentes y Granulometría.....	56
6.4.1	Distribución Granulométrica y Análisis de Parámetros Estadísticos.....	57
6.5	Petrografía de Balísticos.....	61
6.6	Medida de espesores IN SITU.....	64
6.7	Mapa de Isópacas.....	67
7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
8	CONCLUSIONES	71
9	RECOMENDACIONES	73
10	BIBLIOGRAFÍA	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista del cráter del volcán Ubinas después del 19 de julio del 2019. A) Cráter del volcán Ubinas de forma elíptica, B) Conducto y caldera del volcán Ubinas.	8
Figura 1.2. Mapa de ubicación del volcán Ubinas, dentro de la cadena volcánica de sud-América	9
Figura 1.3. Mapa de distribución de la red de monitoreo y vigilancia para la actividad volcánica del Ubinas, durante el periodo 2019.....	11
Figura 1.4. Periodo de funcionamiento de los equipos de la red de monitoreo del volcán Ubinas, periodo 2019.	13
Figura 2.2. Mediciones de los flujos máximos diarios con el equipo NOVAC, escáner de las lecturas diarias, registradas en las estaciones UBD1, UBD2, para el monitoreo del gas volcánico dióxido de azufre SO ₂ , en la pluma.....	15
Figura 2.5. Resultados del análisis de las muestras de la fuente termal del Ubinas, periodo 2019.....	18
Figura 3.1. Red de estaciones GPS de registro permanente, para el monitoreo del volcán Ubinas.....	20
Figura 3.1. Serie temporal del comportamiento de las estaciones GPS permanentes UBGW	22
Figura 3.2. Serie temporal de componentes de la estación GPS permanente de referencia PCSA..	23
Figura 3.3. Serie temporal de componentes verticales de la red GNSS Ubinas.....	24
Figura 3.4. Serie temporal de las líneas base de las estaciones GPS para los segmentos PCSA-UBGW, PCSA-UBHU y UBGW-UBHU de la red GPS del Ubinas.	25
Figura 3.5. Mapa de velocidades de desplazamiento horizontal registrado por las estaciones GPS	27
Figura 3.6. Resultados del comportamiento de las componentes X (Este), Y (Norte) del inclinómetro electrónico de la estación UBIW, de la red de m monitoreo del volcán Ubinas.	29
Figura 3.7. Comportamiento de la serie temporal con la temperatura y deriva instrumental minimizados de la estación UBIW.	30
Figura 3.9. Interferogramas pre-evento del proceso eruptivo del Ubinas, con orbitas de periodo del 14/07/2019 y 16/07/2019, obtenidos por el CVO (Cascades Volcano Observatory)	32
Figura 4.1. Operatividad de las estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas durante el 2019.....	34
Figura 4.2. Ventana principal del Programa Clasificacion_V03, usado para el análisis de las señales sísmicas registradas en el volcán Ubinas.	34
Figura 4.3. Evento Volcano-tectónico VT, registrado el 13 de agosto de 2019, componente Vertical.	36
Figura 4.4. Evento Largo Periodo (LP), registrado el 23 de julio de 2019, componente Vertical.	36
Figura 4.5. Evento Híbrido (HYB), registrado el 30 de julio de 2019, componente Vertical.	37
Figura 4.6. Evento Tornillo (TOR), registrado el 01 de agosto de 2019, componente Vertical.	37
Figura 4.7. Evento Tremor (TRE), registrado el 20 de julio de 2019, componente Vertical.	38
Figura 4.8. Explosión (EXP), registrado el 23 de julio de 2019, componente Vertical.	38
Figura 4.9. Histograma de la ocurrencia de los principales eventos sísmicos identificados en el volcán Ubinas durante el periodo enero – diciembre del 2019.....	40
Figura. 4.10. Histograma de la actividad sísmica en el volcán Ubinas durante el año del 2019.....	41
Figura. 4.11. Evolución de la actividad sísmica del volcán Ubinas, correspondiente al 2019.....	42
Figura 4.12 a) Sismograma de la estación UBN04 (componente vertical), correspondiente al día 18 de junio desde las 00: 00 hasta las 23:00 horas UTC; en dicho registro se puede apreciar que entre las 08:00 y 12:00 horas UTC, se registró un enjambre de sismos VT (10 sismos); b) Registro sísmico, contenido espectral y espectrograma de un sismo VT de considerable energía (209 MJ) ocurrido el 18 de junio a las 15:33 horas UTC, dicho evento presentó una magnitud local de 2.1 ML y a una profundidad de 2.6 km.	42
Figura 4.13 Distribución espacial de los 40 sismos volcano – tectónicos localizados en los alrededores del volcán Ubinas.	44

Figura 5.1. Localización de cámaras ópticas de monitoreo y vigilancia de lahares en el volcán Ubinas.....	45
Figura 5.2. Altura de las emisiones del volcán Ubinas periodo 2019.....	46
Figura 5.3. Diagrama de rosetas que muestra la dirección de las emisiones preferencialmente NE – SO.....	47
Figura 5.4. Vista de las explosiones más representativas del proceso eruptivo del volcán Ubinas, a) explosión del 19 de julio que superó los 6500 m.s.c y b) Explosión del 3 de setiembre, con altura que superó los 3000 msc.	48
Figura 5.5. Vista del volcán Ubinas del 24 de junio donde se observaron emisiones constantes con alturas de 1400 msc, fue premonitorio para la explosión ocurrida un mes después.	48
Figura 5.6. Imagen Satelital Sentinel 2 en falso color fecha de captura correspondiente al 24/06/2019. En esta se observa la dirección de la pluma alcanzó más de 40 km de distancia y se dirige al N -NNE.....	49
Figura 5.7. Imágenes satelitales de la agencia NOAA, del desplazamiento de la pluma de ceniza volcánica, a horas 05:10 a.m. (hora local).....	50
Figura 5.8. Imagen satelital CIRA, del 19 de julio del 2019. Se muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección E - SE.....	51
Figura 5.9. Imágenes satelitales del Ubinas, a). Imagen Sentinel del 19 de julio, b). Vista del cráter del Ubinas, Fuente USGS.	51
Figura 5.12. Imágenes Planet Scope del volcán Ubinas muestran un cráter despejado y sin actividad considerable no se observan cambios en el interior del cráter durante todo el año incluso después de las explosiones ocurridas, Cortesía Sociedad Geológica de Colombia.....	51
Figura 5.12. Anomalías térmicas detectadas por la plataforma MIROVA para el periodo 2019.	52
Figura 6.1. Mapa de ubicación de cenizómetros instalados alrededor del volcán Ubinas	53
Figura 6.2. Tipo y característica del cenizómetro, ubicado en la azotea de una vivienda en el pueblo de Ubinas.	54
Figura 6.3. a). Muestra de ceniza del 19 de julio, quebrada Vulcanmayo b). Grafica de porcentajes de partículas de muestras de ceniza vs componente.	56
Figura 6.4: a) Lítico juvenil gris oscuro; b) Lítico juvenil gris Claro escoria; c) Lítico no juvenil Hidrotermalizado	57
Figura 6.5. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-05.....	60
Figura 6.6. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-07.....	60
Figura 6.7. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-25.....	61
Figura 6.8. a) Muestra de Proyectoil Balístico Sección delgada Balístico b) Fenocristal de clinopiroxeno; c) Fenocristal de Ortopiroxeno; d) Fenocristal de Olivino característico de otras erupciones en el volcán Ubinas; e) Fenocristal de anfíbol con borde oxidado.	62
Figura 6.9: Diagrama de clasificación de los productos emitidos (material juvenil de escorias y líticos densos) en 2019 por el volcán Ubinas. Le Bas et. al., (1986).....	63
Figura 6.10. Diagrama de TAS; comparación de los productos emitidos en 1667, 2006 y 2014 con el actual proceso (2019).	63
Figura 6.11. Diagrama K2O vs. SiO2 de Peccerillo y Taylor (1976), de los productos emitidos en 2019 por el volcán Ubinas que muestran contenido de potasio es alto.....	64
Figura 6.12. Mapa de espesores medidos in situ al sur-este del volcán Ubinas.....	65
Figura 6.13. Registro de mediciones de espesores de caída de ceniza a) Sector Escacha, b) Sector Vulcanmayo.....	65
Figura 6.14. Mapa de registro de espesores medidos al Este del volcán Ubinas.	66
Figura 6.15. Cenizómetro UC-03, recolectado 0.2 mm de caídas de cenizas	66
Figura 6.16. Mapa de isópacas de caída de cenizas de la erupción del Ubinas, iniciado en junio del 2019, las elipses representan los espesores de isópacas medidos en campo.....	67
Figura 7.1. Correlación de parámetros de monitoreo volcánico, periodo 2019, volcán Ubinas.	70

RESUMEN

El volcán Ubinas situado en el segmento de la zona volcánica Central de los Andes del sur del Perú, considerado dentro de los volcanes potencialmente activos debido a sus 25 episodios eruptivos con magnitudes desde bajas a moderados (VEI 1-3), su historia eruptiva data desde los últimos 500 años. Uno de los últimos episodios eruptivos registrados en el Ubinas corresponde al 19 de julio del 2019, considerado como una de las actividades explosivas vulcanianas más energéticas y de gran magnitud que en general libero una energía de hasta 284 MJ (MegaJoule), y un volumen estimado de 3.5×10^6 m³ entre cenizas y productos volcánicos, la altura de las emisiones superaron los 6,500 msc, los balísticos alcanzaron hasta una distancia de 3.5 km del cráter que consisten en fragmentos de hasta 2.5 cm, el desplazamiento de la pluma volcánica (cenizas) según las imágenes de satélite viajaron por más de 180 km, atravesando las regiones de Moquegua, Puno, Oruro (Bolivia), incluido Salta (Argentina, se reportó caída de ceniza), la magnitud de la erupción se ha clasificado dentro del índice de explosividad VEI 2. En comparación con el episodio eruptivo del 2006-2009 con un volumen estimado de 4×10^6 m³ mientras el episodio eruptivo del 2013-2017 el volcán libero una energía acumulado de 70 MJ con un volumen estimado de 15×10^6 m³, nada comparable con el proceso eruptivo del 19 de julio, lo cual sugiere que un cuerpo magmático involucrado en movimiento fue de volumen muy grande que evoluciono en una ventana de tiempo corto.

Durante enero a febrero la actividad sísmica muestra un ligero incremento en la tasa de VT de hasta 5 eventos por día, posteriormente se mantuvo en niveles bajos de actividad, la desgasificación mantuvo niveles bajos con un máximo 1169 TN/día y en cuanto a la deformación volcánica esta registro un periodo de estabilidad, durante este periodo los archivos sísmicos registran dos explosiones freática entre el 16 de febrero y el 3 de marzo, sin cambio significativo en los parámetros de monitoreo. Durante abril la deformación evidencia un periodo de despresurización, seguido de una desgasificación de gases volcánicos SO₂, las emisiones de gases no superaban los 200 msc. Días antes del 24 de junio se registran periodos de enjambres sísmicos tipo VT y enjambres de LP días antes del 19 de julio, posteriormente la tasa de sismos volcánicos fue decreciendo gradualmente y se mantiene hasta la fecha. Entre abril e inicios de junio la deformación volcánica registra un periodo de presurización continua, mientras la desgasificación fue incrementando gradualmente hasta superar los 4,000 TN/día, periodo que se asoció a la etapa de ascenso de magma desde la fuente superficial.

La evaluación integral de los diferentes parámetros de monitoreo permanente del volcán se concluye que el periodo comprendido entre enero a al 24 de junio se mantuvo en un NIVEL VERDE, inmediatamente al 24 de junio el nivel de alerta se declaró en **NIVEL NARANJA**, actualmente el nivel de alerta se mantiene en **NIVEL AMARILLA**.

1 INTRODUCCION

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de su Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), creado en el año 2013 en la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), es la encargada de realizar la vigilancia y el monitoreo permanente, clasificándose de acuerdo al grado de actividad que presenta, es así que los volcanes Sabancaya, Ubinas, Misti y Ticsani, son considerados potencialmente activos, las que se sitúan dentro de la cadena volcánica central de los andes del Perú, cuyo fin es determinar la naturaleza y el comportamiento actual que presenta el volcán Ubinas, durante el 2019 presento un comportamiento variable en su dinámica con cambios registrados en la tasa de ocurrencia de sismos tipo VT y LP, así como cambios registrados en los demás parámetros de monitoreo como, químicos, geodésicos, geofísicos, satelitales y en base a estudios geológicos y análisis avanzado, permiten clasificar y determinar su grado de actividad y así evaluar los tipos de peligros volcánicos; para sí proporcionar alertas oportunas a la sociedad sobre una actividad volcánica actual o inminente, para así continuar con implementar la gestión de riesgo de desastres a beneficio de la población con una vigilancia permanente de los volcanes activos en el sur del Perú.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), cumpliendo con su actividad de la vigilancia y seguimiento de la actividad volcánica del Ubinas, presenta el informe del comportamiento y situación durante el año 2019, en este documento se compila toda la información obtenida, registrada y detectada a través de las diferentes técnicas que compone la red de monitoreo y en continua optimización y ampliación de la red.

1.1 Objetivos

- Emitir información actualizada de la evolución de la actividad volcánica para el presente año.
- Correlacionar información de diferentes técnicas volcánicas a fin de establecer parámetros que ayuden en la probabilidad del pronóstico.
- Brindar a la sociedad, autoridades, entidades públicas y en general información veraz y oportuna de la actividad volcánica.

1.2 Volcán Ubinas

El volcán Ubinas es considerado uno de los volcanes más activos de la cadena volcánica del sur del Perú, con más de 24 eventos volcánicos registrados desde el siglo XVI y con una recurrencia de 02 a 08 episodios eruptivos por siglo (Rivera et al, 2010), el Ubinas es un estratovolcán que tiene una forma muy peculiar ligeramente prolongado o elíptica de su caldera con dirección de SW-NE (Figura 1.1 a) con una extensión de 1,660 metros, la caldera del volcán presenta un área de 1.4 km², conformado por una secuencia estratificada de depósitos de lapilli, cenizas y caídas piroclásticas de espesor variable y cubierta de lavas hidrotermalizadas, el cono volcánico presenta una forma cónica que disminuye hacia el centro del cráter, con una

extensión de 806 metros y un área de 0.34 km² (Figura 1.1 b), el conducto volcánico estuvo formado por un cono de tefra resultado de las emisiones frecuentes de cenizas después del 19 de julio, el cráter tiene alrededor de 180 m. de diámetro (Figura 1.1 b), evidenciando así un sistema con un conducto volcánico abierto.

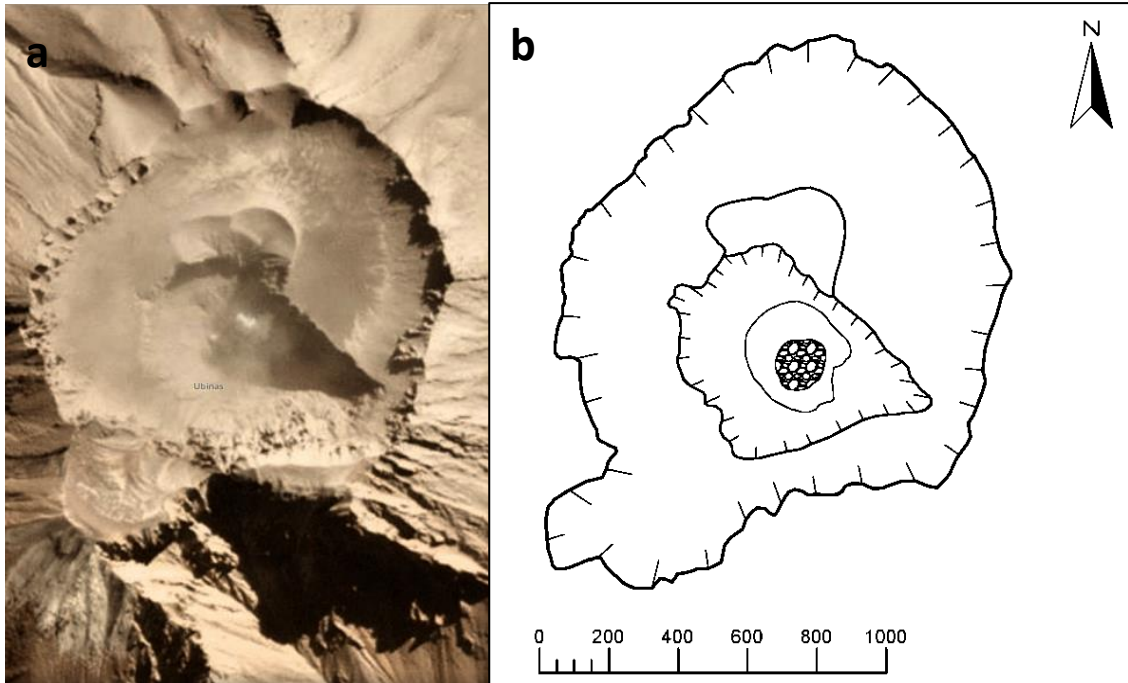


Figura 1.1. Vista del cráter del volcán Ubina después del 19 de julio del 2019. A) Cráter del volcán Ubina de forma elíptica, B) Conducto y caldera del volcán Ubina.

1.3 Ubicación

Sud-américa está caracterizado por presentar cuatro segmentos de zonas volcánicas activas conocidos como zona volcánica del Norte, Centro, Sur y la Antártida, se distribuye principalmente en toda el arco volcánico de la cordillera Andina (Figura 1.2). El volcán Ubina se sitúa dentro de la zona volcánica central (CVZ), emplazado en la cordillera occidental de los andes, específicamente en el segmento de la cordillera volcánica del cuaternario, que se extiende desde el departamento de Ayacucho hasta el límite del sur de Chile. Políticamente se sitúa en la provincia General de Sánchez Cerro, dentro de la jurisdicción del Distrito de Ubina, que pertenece al Departamento de Moquegua y está a 94 km al norte de la misma ciudad, como se ilustra en la figura 1.2.

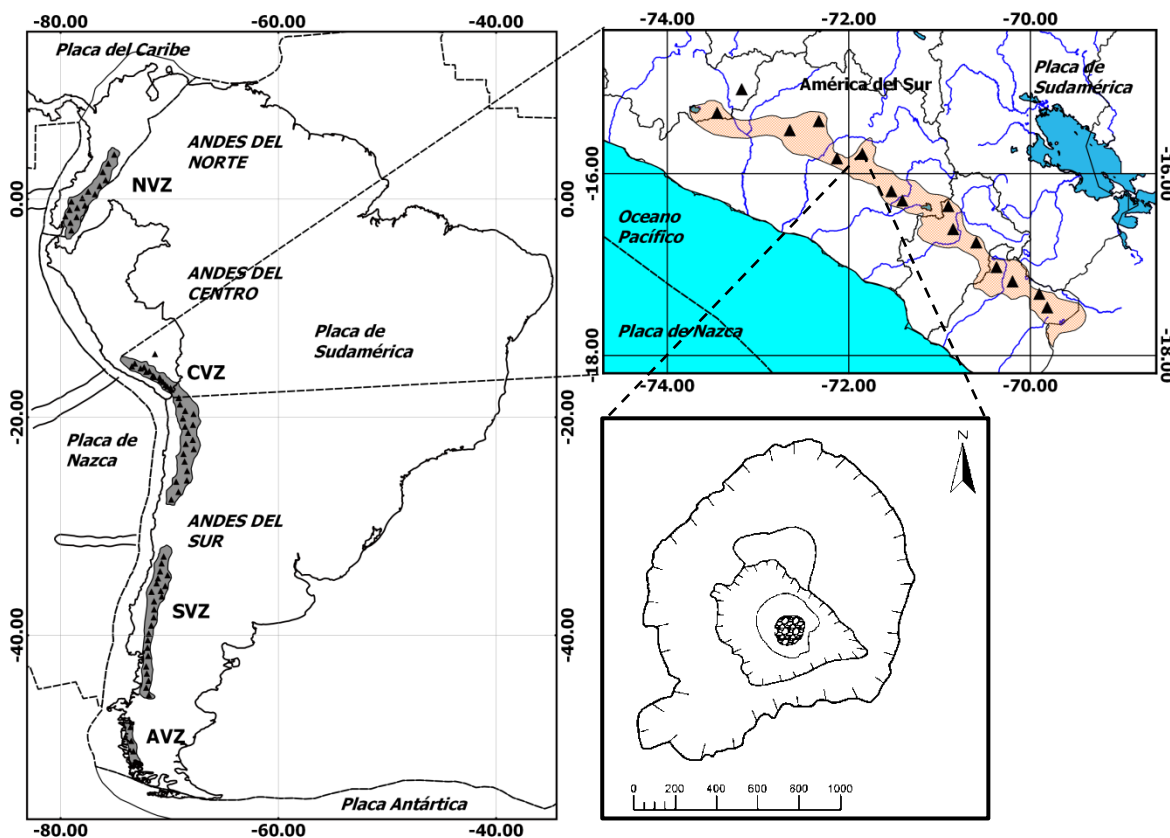


Figura 1.2. Mapa de ubicación del volcán Ubinas, dentro de la cadena volcánica de sud-América.

1.4 Antecedentes

En el contexto vulcanológico desde el punto de vista de los acontecimientos ocurridos asociados a la recurrencia de la actividad volcánica del Ubinas, se datan con registros históricos desde el año 1953 (F. Alayza), una descripción breve de los periodos eruptivos y su actividad eruptiva histórica se realiza en 1966 (G. Hantke y I. Parodi), en 1991 se realizan los primeros estudios mediante imágenes de Satélite Landsat Thematic Mapper, para posibles escenarios de erupción del Ubinas, (S. Silva y P. Francis), la primera investigación, estudio a detalle de la geología y vulcanología, así como su modo de evolución en el tiempo y las características de las erupciones se describen en la publicación de M. Rivera, J.C. Thouret y A. Gourgaud, 1998. Las primeras publicaciones sobre la estratigrafía, la petrología y Geoquímica en base a productos volcánicos se refieren en el Bulletin of Volcanology en el 2005 (J.C. Thouret, A. Finizola, M. Gerbe, M. Rivera). Estos estudios permitieron establecer la línea de tiempo de la actividad eruptiva y la tasa de recurrencia, en base a estos estudios y demás investigaciones, se realizan las primeras mediciones instrumentadas en el 2006 de la temperatura de las fuentes termales del Ubinas, así como las mediciones EDM (Medición de Distancia electrónica) que datan desde el 2009, durante el proceso eruptivo del Ubinas (2013 – 2017), el OVI progresivamente continuó implementando la red de monitoreo, que actualmente conforma una amplia red multiparamétrica de vigilancia volcánica.

1.5 Técnicas de Vigilancia

El volcán Ubinas considerado uno de los volcanes más activos del sur del Perú (R. Gordon, J. Thouret, J. Mariño, 2019), con una recurrencia de 2-8 erupciones por siglo, evidencian un alto riesgo, por ende el INGEMMET – OVI, cumpliendo en el ámbito de su competencia y funciones tiene como misión, el de realizar una vigilancia volcánica rigurosa empleando diferentes técnicas, que generan un conjunto de datos que permiten conocer cuando se aproxima un proceso eruptivo.

Conocer un proceso eruptivo trae consigo una serie de cambios y señales, tanto internos como externos, las cuales pueden ser registrados y detectados a través de un conjunto de equipos de alta sensibilidad, de que como el magma en ascenso hacia la cámara magmática y a la superficie puede generar distintos tipos de procesos las cuales están relacionados entre sí, como el incremento de la presión dentro de la cámara o conducto volcánico, la diversidad de señales sísmicas debido a la fractura de rocas y cambios en el patrón de circulación de fluidos magmáticos, deformación de la superficie volcánica, cambios en la temperatura del medio y en las fuentes termales en superficie, cambios en la composición química de los gases magmáticos y de las emisiones fumarólicas, cambios en el tipo y altura de emisiones fumarólicas, etc. Todos estos cambios son procesos que son monitoreados mediante el empleo de las diferentes técnicas como geofísicas, geodésicas, químicas y geológicas, para obtener un panorama lo más completo de como el sistema volcánico cambia en el tiempo.

1.6 Red de Vigilancia

El monitoreo de un volcán es una tarea de continua mejora en las diferentes técnicas de vigilancia, estudio e investigación. El Ubinas compone de una amplia red de vigilancia en continua implementación durante el 2019, compuesto por un conjunto de equipos por cada técnica de monitoreo empleado para obtener, registrar y medir diferentes parámetros vulcanológicos, mediante que emplea el OVI, tales como Geodesia, Geoquímica, Geofísica, Sensores Remotos, Geología. Que componen la red permitiendo así realizar un seguimiento riguroso de la actividad y su evolución temporal del Ubinas, dicho proceso de mejora se ha evaluado en términos de porcentuales de operatividad y funcionamiento. En la Figura 1.3 se observa la distribución de la red para el Ubinas, con las diferentes técnicas, así como en la tabla 1.0 se enumeran las características de la amplia red de monitoreo.

Durante el 2019 se destacaron los siguientes trabajos de importancia:

Setiembre:

- ✓ Se reinstalo la estación Sísmica UBN08.
- ✓ Se realizó la instalación de 24 cenizómetros con una distribución azimutal al cono del volcán y dirección predominante del viento, que permitirá caracterizar los productos emitidos, así como el cálculo del volumen de material emitido.
- ✓ Se optimizo la red de telemetría con radios de mayor ancho de banda, así como la adquisición de datos en tiempo real de las estaciones sísmicas UBN11 y UBN08.

Octubre:

- ✓ Se implementó con equipos de radio enlace de mayor ancho de banda a la repetidora Pucasaya, que concentra a toda la sub-red del volcán Ubinas, hacia el OVI.
- ✓ En el flanco sur del volcán se instaló una estación de monitoreo GNSS con transmisión en tiempo real, para mejorar el estudio y modelamiento de la fuente de deformación.
- ✓ Se realizó la instalación de un equipo multigas en el cráter del volcán, que permitió caracterizar el origen y la composición de los gases volcánicos.
- ✓ Se reinstalo el sistema ScanDOAS de la estación UBD2, flanco este del volcán.

Noviembre:

- ✓ Se implementó con una nueva estación GNSS en el flanco este del volcán, que complementara la red de monitoreo de deformación.
- ✓ Se instaló una nueva estación de Inclínometría, que permitirá determinar los cambios más significativos asociado a la actividad volcánica, ubicado en el flanco oeste del volcán.
- ✓ Se instaló una estación meteorológica en el flanco sureste del volcán, que permitirá determinar la tasa de precipitación que generan a los lahares.
- ✓ Se instaló una nueva estación sísmica en el extremo izquierdo, aguas abajo del rio vulcanmayo, con transmisión en tiempo real, para el monitoreo de lahares.
- ✓ Se instaló una cámara óptica de video vigilancia del rio vulcanmayo con transmisión en tiempo real, que permitirá determinar el paso de los lahares y el tiempo de recorrido.

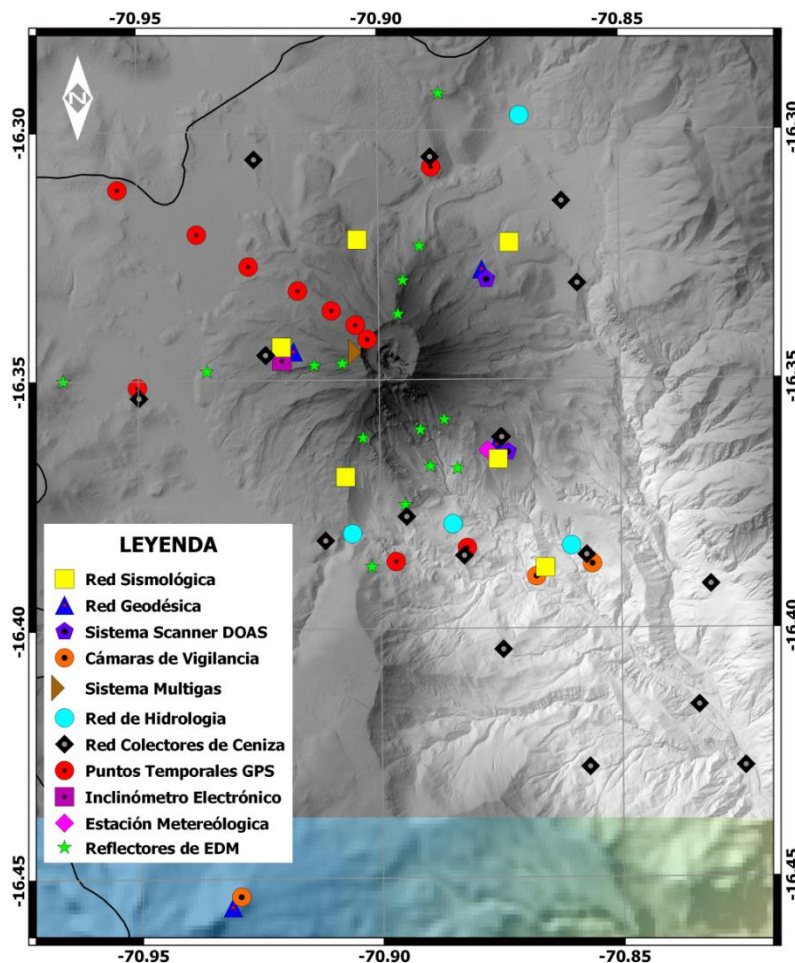


Figura 1.3. Mapa de distribución de la red de monitoreo y vigilancia para la actividad volcánica del Ubinas, durante el periodo 2019.

Tabla 1.1. Situación, características y operatividad de la red de vigilancia del volcán Ubinas.

Lugar	Tipo	Distancia del Cráter (km)	Inicio Registro	Situación	Sistema
Pucasaya	Estación GNSS	12.5	ago-19	Operativo	Tiempo real
	Cámara Web	12.5	ago-19	Operativo	Tiempo real
Huayrapata – Querapi y Ubinas	Estación Sísmica	5.8	nov-18	Operativo	Tiempo real
	02 Cámaras web	5.8 - 6.3	may-15 nov-19	Operativo	Tiempo real
	Fuente Termales	4.0 - 4.7 - 5.7	2006	Operativo	Tiempo real
	02 Base EDM	4.5	2010	Operativo	Tiempo real
Huayrapata	Estación Sísmica	2.8	may-15	Operativo	Tiempo real
	Fuente Termal	4	208	Operativo	Temporal
Huayna Ubinas	Estación Sísmica	3	feb-14	Operativo	Tiempo real
	Estación GNSS	3	may-16	Operativo	Tiempo real
	Sistema DOAS	3	mar-16	Operativo	Tiempo real
	Estación Meteorológica	3	nov-19	Operativo	Tiempo real
Phara	Estación Sísmica	3.6	abr-17	Operativo	Tiempo real
	Estación GNSS	2.7	nov-19	Operativo	Tiempo real
	Sistema DOAS	2.7	may-17	Operativo	Tiempo real
Chimin	Estación Sísmica	2.7	abr-14	Operativo	Temporal
	Base EDM	4.3	2010	Operativo	Temporal
Piscococha	Estación Sísmica	2.3	feb-15	Operativo	Tiempo real
	Sistema Multigas	0.6	sep-19	Operativo	Tiempo real
	Estación GNSS	2.3	jun-15	Operativo	Tiempo real
	Inclinómetro electrónico	2.3	oct-19	Operativo	Tiempo real
	Base EDM	5.6	2010	Operativo	Temporal
	Base GPS Diferencial	0.6 hasta 7.1	2013	Operativo	Temporal
Tarucani	Cámara web	25.2	jul-14	Deficiencias	Tiempo real
Ubinas	24 Cenizometro distribuidos alrededor del volcán		jul-19	Operativo	Temporal

1.6.1 Periodo de Funcionamiento de la Red de Monitoreo

La red de monitoreo para el seguimiento de la actividad volcánica, se basa fundamentalmente en la continuidad de su registro, medición de datos en los diferentes parámetros, el funcionamiento de los equipos por cada técnica se evalúa de acuerdo al porcentaje de operatividad del propio equipo (Figura 1.4), así como se sus sistema de transmisión de datos o sistema de telemetría y de su calidad de señal, existen periodos en que el sistema de telemetría de las estaciones tuvo deficiencias, los datos fueron válidos para el procesamiento a pesar de que la calidad de la señal. En la figura 1.4, las estación PCSA y UBPR, son estaciones GNSS recientemente instalados y 100% operativos, así como las estaciones UBN12 y la cámara web UBCP que son equipos exclusivos para el monitoreo de lahare y en funcionamiento, las cámaras web UPUB (Ubinas) y USJT (Tarucani), son estaciones que transmiten datos vía

internet, su deficiencia ha generado lapsos de tiempo sin registro. En el volcán Ubinas el sistema de telemetría esta soportado por una serie de sub-redes que transmiten la señal hacia dos repetidoras, una ubicado en el sector de Huancarane que receptiona datos de los equipos distribuidos en el flanco este, sureste y noreste, a su vez esta trasmite hacia la estación repetidora principal de Pucasaya, que receptiona datos de los flancos oeste, sur y noroeste, esta repetidora re-trasmite hacia la repetidora Chachani y de allí hacia el OVI. Por lo tanto durante el 2019 la red de telemetría tuvo un funcionamiento del 92% correspondiente a las sub-redes situados en los diferentes flancos del volcán.

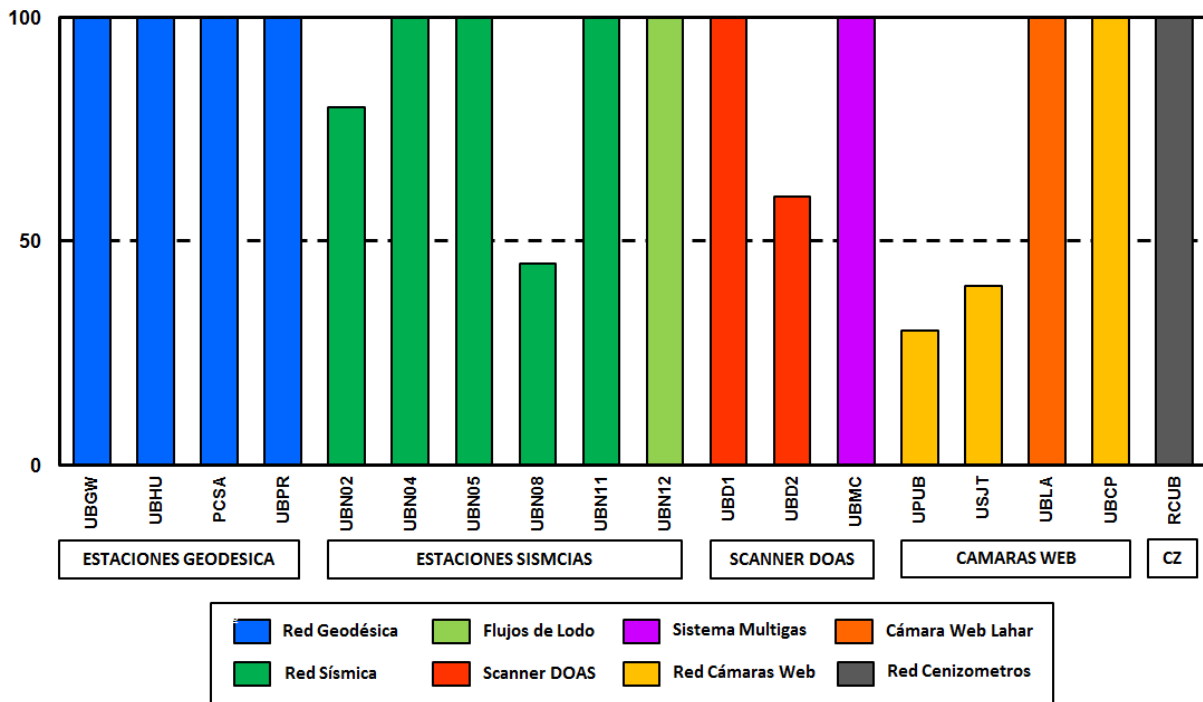


Figura 1.4. Periodo de funcionamiento de los equipos de la red de monitoreo del volcán Ubinas, periodo 2019.

2 QUIMICA DE GASES Y AGUAS

El INGEMMET inició el análisis de las fuentes termales asociadas al volcán Ubinas en el año 2005 (Masías et al., 2013). En el 2013 se iniciaron las mediciones del flujo de SO₂, con escáneres manuales. A partir del 2015, el INGEMMET realiza las mediciones del flujo de SO₂ de manera continua y permanente con transmisión en tiempo real de datos hacia el OVI.

2.1 Vigilancia de Gases Volcánicos

Este monitoreo, durante el periodo 2019, se realizó aplicando 2 métodos: Primero. Scanner DOAS de la red NOVAC y segundo Equipos móvil DOAS, las que se describen a continuación.

2.1.1 Red Escáner DOAS

El INGEMMET-OVI realiza mediciones de SO₂, en el Ubinas, a partir del 2013. Para ello, emplea la técnica de espectroscopia de absorción óptica diferencial (DOAS): Que mide las emisiones UV/ visible del espectro electromagnético, y se compara con la radiaciones del sol, a cielo limpio y en la pluma volcánica, donde se encuentra el SO₂, en un espectro de 280 a 420 nm (nano-metros) a una resolución de 0.6 nm.

Durante el 2018, el INGEMMET-OVI mantuvo operativa, dos (02) Escáner DOAS (UBD1 y UBD2). Las que se distribuyen a 3 km del cráter, y con transmisión de datos en tiempo real hacia el OVI-INGEMMET en Arequipa. Las informaciones provistas por estas estaciones han servido para elaborar los reportes semanales de la Plataforma de Defensa Civil al COER-Arequipa.

2.1.2 Multigas:

Este equipo es utilizado en el Ubinas desde el 2019, las mediciones se realizan pasando los gases por los sensores del equipo, que utilizando una bomba de succión, este equipo se encuentra instalado en el cráter del volcán en el sector norte de la caldera.

Se realizó la instalación de la estación MultiGAS denominado como "UBM1" en la caldera del volcán Ubinas, esta estación cuenta con energía y transmisión en tiempo real. Figura 2.1. Esta instalación se realizó en colaboración con el DEEP CARBON OBSERVATORY "DECADE", la Universidad de Palermo y el Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología "INGV "



Figura 2.1. Instalación del equipo multigas, localizado en el borde de la caldera del volcán Ubinas, la cual permitirá determinar la relación entre el gas CO₂ y SO₂.

2.2 Resultados de Vigilancia de flujos de SO₂

El flujo de SO₂, por lo general, se mantuvo por debajo de las 7,000 toneladas/día hasta mayo, a partir de esta fecha se registró un incremento sustancial en los flujos llegando hasta los 12,900 Ton/día durante el periodo mayo a septiembre, entre octubre y noviembre los flujos disminuyeron por debajo de las 5,000 toneladas/día. Estos valores de los flujos de gases volcánicos SO₂, son equivalentes al nivel de actividad para un volcán en proceso eruptivo, con un sistema abierto (Figura 2.2).

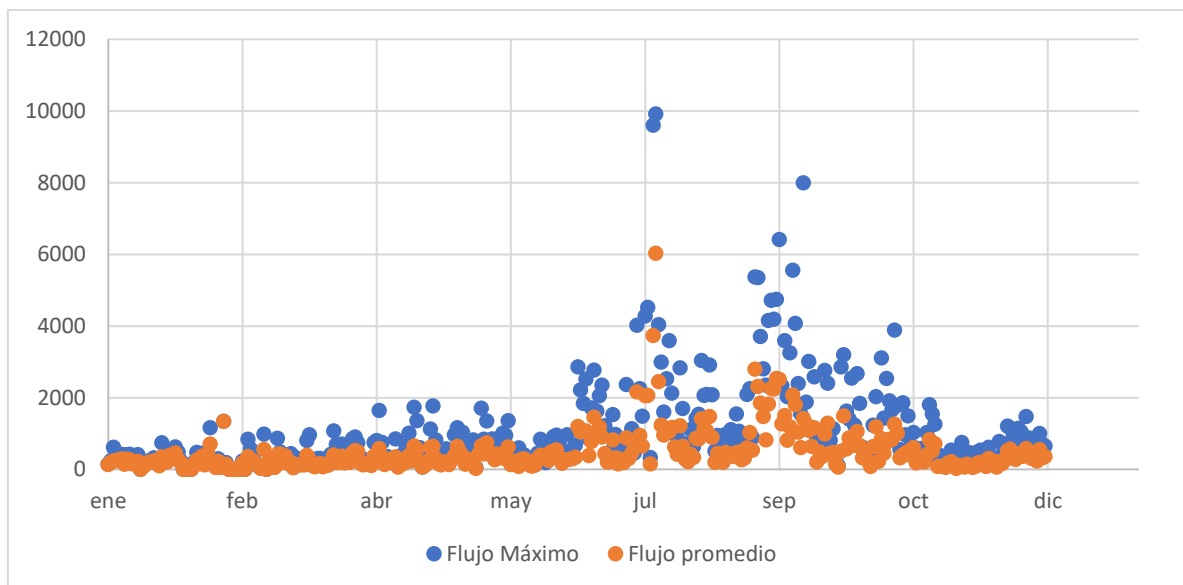


Figura 2.2. Mediciones de los flujos máximos diarios con el equipo NOVAC, escáner de las lecturas diarias, registradas en las estaciones UBD1, UBD2, para el monitoreo del gas volcánico dióxido de azufre SO₂, en la pluma.

2.3 Resultados del Multigas

Esta estación proporciona información acerca de los gases volcánicos CO₂, SO₂, H₂S y H₂O que contribuirá a la interpretación de la actividad volcánica. En la siguiente dirección se puede visualizar los datos en tiempo real <http://147.163.124.210/decade/ubinas-r.php>

En la siguiente figura 2.4 se observa la concentración de gases en el volcán Ubinas.

Durante el 2019 se registraron datos desde el 6 de octubre con alrededor de 7,200 lecturas diarias distribuidas en periodos de 30 minutos 4 veces al día.

La relación existente hasta diciembre indica que no existe un cuerpo de magma cerca de la superficie y que los niveles de concentración de gases magmáticos es muy bajo por lo tanto la actividad del volcán es muy baja

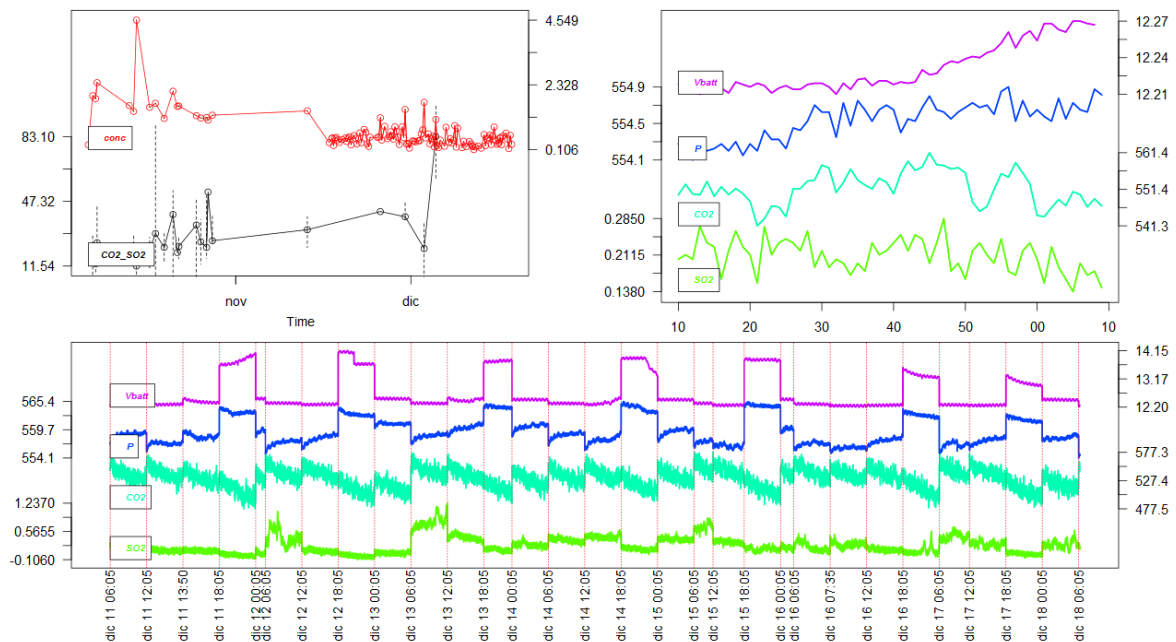


Figura 2.4. Registro de la concentración de los gases CO₂, SO₂, H₂S y H₂O, medidos con el equipo multigas.

2.3.1 Fuentes de Agua

La vigilancia de fuentes termales consiste en la identificación y seguimiento de la composición química del agua en el tiempo, así como de parámetros físicos como la temperatura.

2.3.2 Resultados del Vigilancia de fuentes termales

Durante el 2019, el trabajo de monitoreo se centró únicamente en la fuente UBT, Ubicada a 6 km al sureste del cráter del volcán (Figura 1.1b).

El muestreo se realizó de manera continua, siguiendo una periodicidad de 2 muestras por semana, las que fueron colectadas por un personal capacitado y equipado para esta labor en la zona. En total se colectaron 98 muestras, las que fueron enviadas a la oficina del Observatorio Vulcanológico de INGEMMET en Arequipa, para ser reenviadas a Lima, al laboratorio de química de INGEMMET, donde se analizaron los aniones y Metales disueltos, utilizando las metodologías y equipos que se enumeran a continuación:

Metales disueltos - (Na, Mg, K, Ca, Sr, Li, SiO₂, B, Fe, S) por Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) marca VARIAN, modelo 735-ES. Además (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Sr, Li, Fe, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn) por Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) marca Perkin, modelo Nexion 300D.

Aniones - (F⁻, Cl⁻, SO₄⁼) por Cromatografía Iónica marca Thermo Scientific, modelo Dionex ICS-5000. Además (CO₃⁼, HCO₃⁼) por método Titrimétrico marca Thermo Scientific, modelo Orion Versa Star.

2.3.3 Resultados de Temperatura de la Fuente UBT

En los resultados de la vigilancia de la fuente UBT, se puede observar claramente una perturbación del sistema hidrotermal, la que se evidencia en variaciones en los compuestos asociados a la componente magmática (Figura 2.5), los que se manifiestan con diferentes tendencias que terminan en un incremento de las concentraciones hacia el periodo eruptivo (julio – agosto), donde los que resaltan los cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄⁼) y bicarbonatos (HCO₃⁼), calcio (Ca), Magnesio (Mg), potasio (K), Litio (Li). Arsénico (As) y Hierro (Fe). El caso más peculiar se da en los fluoruros (F⁻), donde hubo un incremento hasta el mes de abril, a partir de este momento se ve una clara tendencia a disminuir. Posiblemente este compuesto escapó por el cráter.

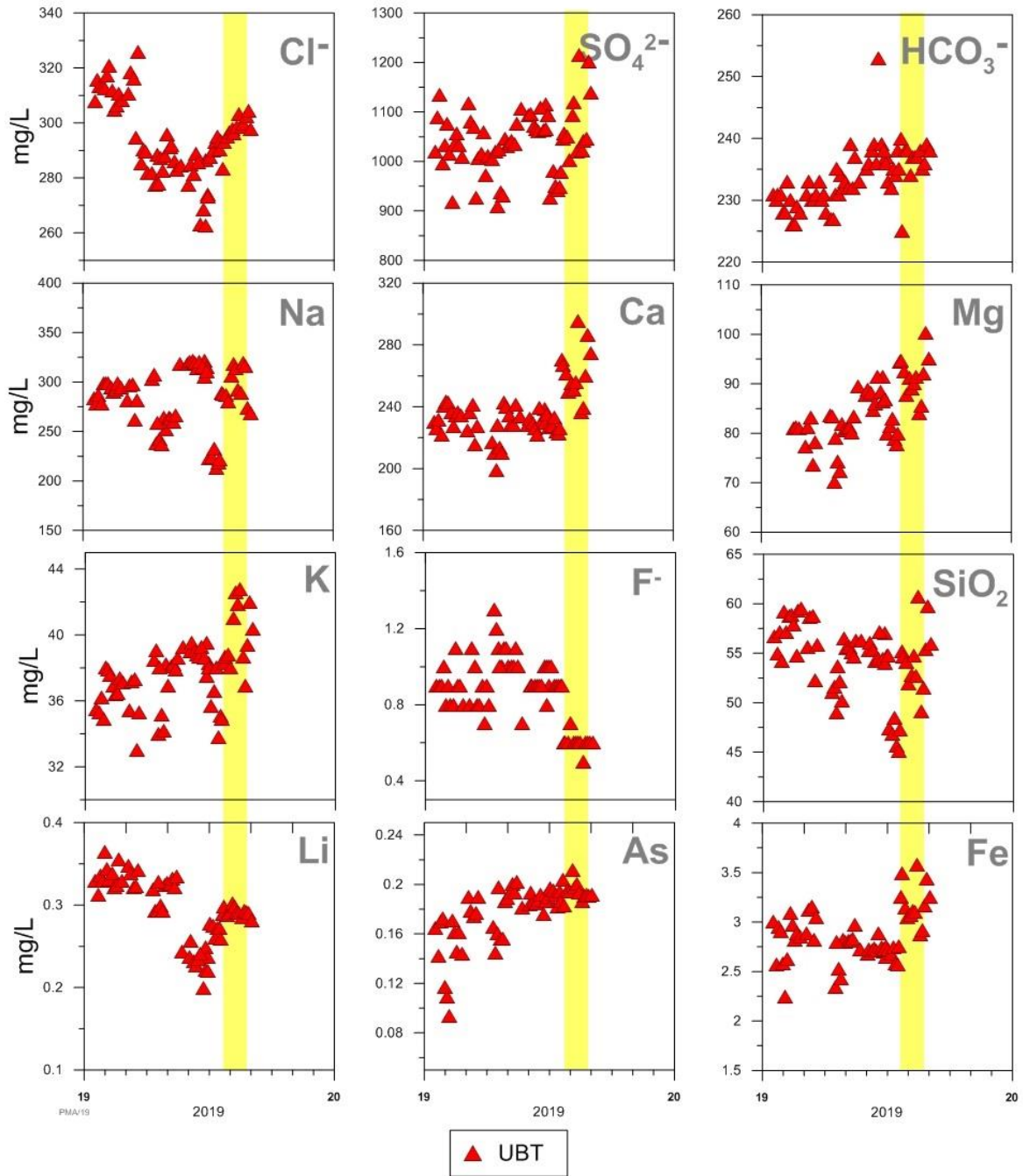


Figura 2.5. Resultados del análisis de las muestras de la fuente termal del Ubinas, periodo 2019.

3 DEFORMACIÓN

Es una de las formas de estudiar a un volcán de cómo y cuándo varía sus dimensiones y las condiciones por las cuales experimentar dichos cambios, para que ocurra este procesos, el sistema pierde el equilibrio en su sistema dinámico debido a cambios de las condiciones fisicoquímicas en la cámara magmática, estos cambios, patrones y/o tasas de deformación son transmitidos a la superficie a través de las propiedades mecánicas de la corteza que generan cambios en la morfología del volcán y que reflejan un cambio en el régimen de la actividad volcánica, este procesos es medible de forma cuantitativa y cualitativa de los cambios que ocurre en la superficie del volcán.

3.1 Estaciones GPS CORS

Una de las técnicas con mayor trascendencia en el monitoreo de los volcanes activos en el sur del Perú, es la técnica de Deformación volcánica, es una herramienta de mucha importancia para el estudio cuantitativo y cualitativo de los cambios que ocurren en la superficie del volcán, a diferentes escalas de espacio y tiempo, estas magnitudes de la velocidad de desplazamiento en la morfología del volcán permiten de manera oportuna entender cuando la presión interna ejercida por el magma cambia, la cual se traduce en un cambio en el régimen de la actividad volcánica, los cambios en la deformación permiten mostrar una información de importancia sobre los cambios en la dinámica interna. Para el caso del 25 de junio del 2019 en las estaciones GPS no han observados cambios asociado a la migración de magma hacia la superficie de manera clara.

3.1.1 Instrumentación y Red de Vigilancia

El OVI realiza un monitoreo y vigilancia de forma continua y permanente, desarrollando e implementando redes, con la finalidad de cuantificar la deformación, como son los procesos de inflación (presurización) y deflación (despresurización), para ello la técnica geodésica GPS permite alcanzar una precisión muy alta con un adecuada monumentacion estable, a fin eliminar deformaciones que puedan estar originados por la inestabilidad de la propia estación. La red está distribuido de forma radial al cono volcánico a fin de minimizar y diferenciar errores comunes entre estaciones, como las orbitales, desfase de relojes, efecto multipath. La red GPS está compuesta por 2 estaciones existentes (UBGW y UBHU, Figura 1.3) y 2 estaciones GPS implementado durante el 2019 que son UBPR y PCSA, expandiendo así la red geodésica (figura 1.4). El periodo de operatividad y funcionamiento de las estaciones se detalla en la tabla 1.1.

Así mismo, la vigilancia volcánica se complementa también con observaciones GPS realizadas por campañas o salidas al campo, a fin de complementar algunas áreas donde la monitorización continúa no es posible o densificar el número de puntos donde se registran las deformaciones.



Figura 3.1. Red de estaciones GPS de registro permanente, para el monitoreo del volcán Ubina.

3.1.2 Adquisición y Procesamiento de Datos

En los últimos años se ha logrado un avance significativo, la que permite adquirir, registrar datos de forma permanente a intervalos definidos, con transmisión de datos en tiempo real hacia el centro de procesamiento del OVI, para cuantificar la tasa de deformación volcánica, empleando estrategias rigurosos de pre-procesamiento, de las cuasi soluciones finales, determinación de la línea base, soluciones finales, cálculos de la velocidad de desplazamiento, a través del software GAMIT/GLOBK (Harrington et al, 2010), las posiciones finales fueron referenciadas al marco de referencia de SOAM (Altamini et al, 2012), la cual se ha considerado dentro del procesamiento como la microplaca estable de Sudamérica, esta solución final obtenida es ajustada a la posición inicial así como a su velocidad de la estación de referencia AREQ (estación GPS del IGS), los resultados del análisis detallado e interpretación de los datos, permiten tener un control riguroso del comportamiento y evolución del volcán, ya que la deformación varía del orden del centímetro, milímetro, dichos análisis se complementan con las técnicas de sísmica, química, geología, que determinaran la situación actual y diaria de la actividad volcánica y el grado de deformación asociado al movimiento del magma.

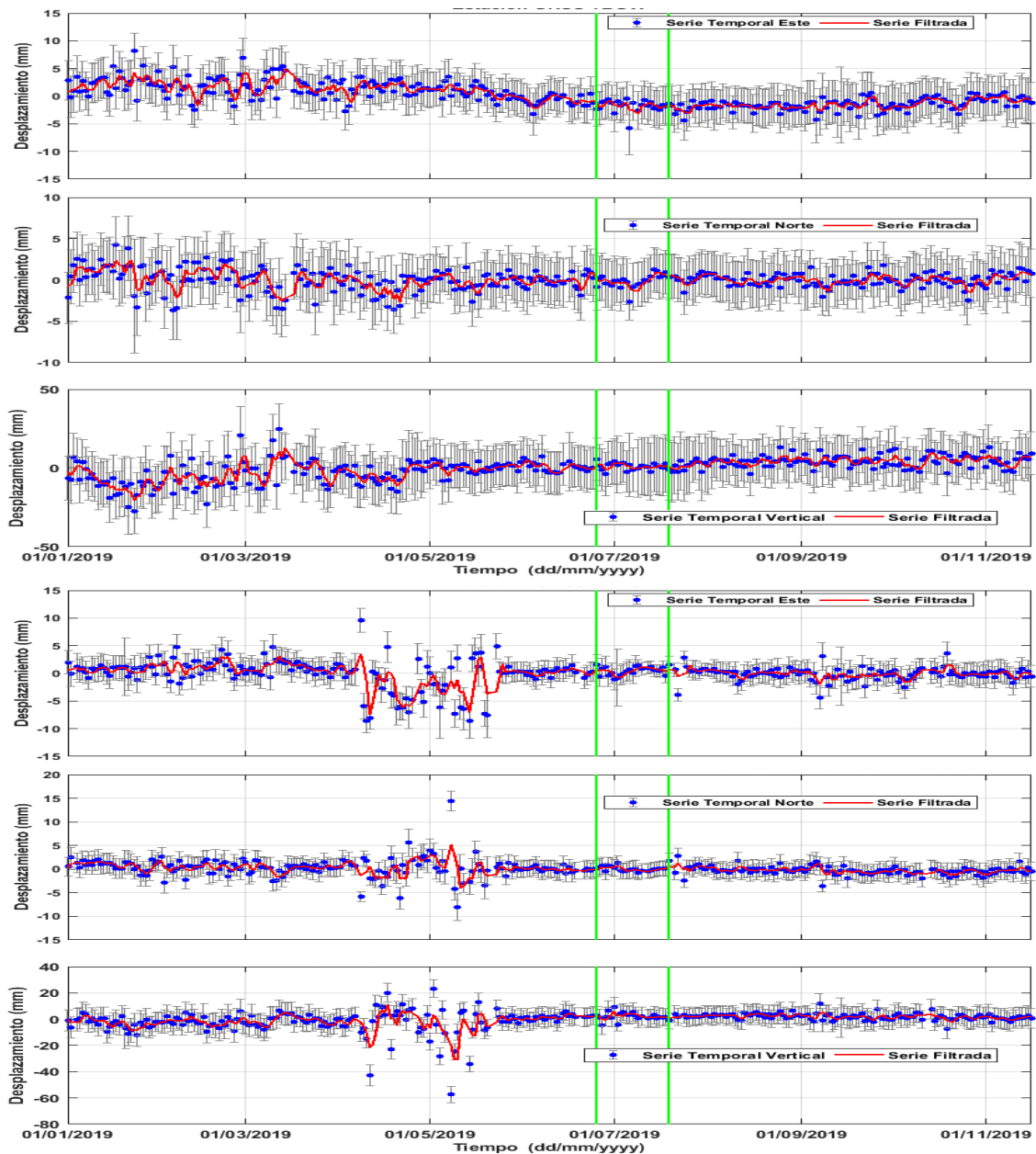
3.1.3 Estaciones GPS Permanentes

Los datos de las estaciones GPS permanentes UBGW, UBHU y UBPR, así como la estación de referencia PCSA (Estación con 4 meses de registro), son datos de las posiciones finales, que requiere de un conjunto de datos externos como las órbitas o efemérides de los satélites, modelos atmosféricos, etc., estos resultados son obtenidos de forma absoluta para las tres componentes ESTE, NORTE y ALTITUD, permiten determinar cambios en la superficie del volcán desde el orden de la magnitud del milímetro hasta centímetro. El análisis comprende a dos estrategias de procesamiento, series temporales, líneas base y velocidad de desplazamiento.

3.1.4 Series temporales y deformaciones asociadas

Los resultados de la serie temporal en el volcán Ubinas de las estaciones GPS permanentes UBGW, UBHU y PCSA, de acuerdo al ítem 1.6.1, mostraron un permanente y continuo funcionamiento. Donde los resultados mediante series temporales, muestran que las tendencias obtenidas de sus componentes (Este, Norte y Altura, Figura 3.1), en general se puede observar un registro con comportamiento estable en las dos estaciones, permitiendo inferir que la morfología del edificio volcánico no ha registrado cambios considerables en la deformación. Para el caso de la estación UBGW, en la componente ESTE se ha observado un cambio en la velocidad de desplazamiento desde el 14 de marzo hasta el 26 de julio a razón de 4 mm/mes, sucesivamente la tendencia de desplazamiento alcanza un periodo de estabilidad, la primera explosión ocurrida el día 25 de junio y seguida por el 19 de julio manifestaron periodo explosivos de muy corto tiempo, (Figura 3.1. Líneas verticales verdes), con una

explosión que alcanzó una altura de hasta 6,500 msc (metros sobre el carácter), lo cual significa en términos de deformación una presurización de mayor magnitud, las series temporales de las estaciones UBHU y UBGW no registró un cambio significativo en la deformación por lo que se asume que el Ubinas deforma como un sistema abierto, asociado a las erupciones ocurridas durante el 2006, 2013 y 2016 por lo que sugiere que el volcán Ubinas después de los procesos eruptivos del 2006 – 2010 y el procesos 2013 – 2017 se comporta como un volcán con sistema de conducto abierto, por lo que el proceso eruptivo del 2019 tuvo como episodio de una presurización súbita profunda debido a cambios en su densidad provocando un proceso explosivo de mayor energía volcánica, comparado con los procesos



anteriores, siendo esta de mayor magnitud.

Figura 3.1. Serie temporal del comportamiento de las estaciones GPS permanentes UBGW (izquierdo) y UBHU (derecha).

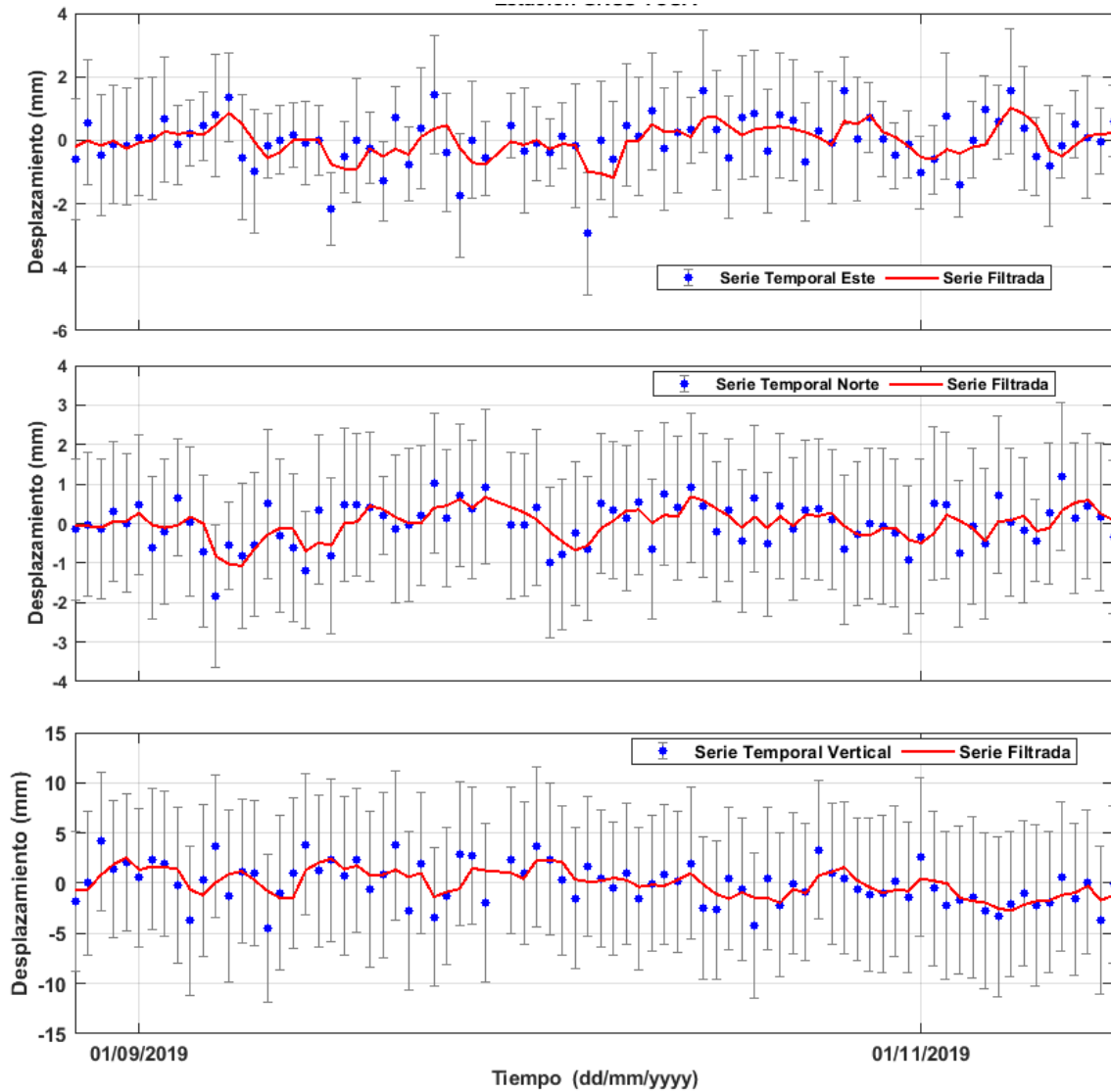


Figura 3.2. Serie temporal de componentes de la estación GPS permanente de referencia PCSA.

Antes y después del proceso eruptivo del 25 de junio del 2019, analizada desde las series temporales de las componentes VERTICALES y la línea base UBGW-UBHU de la red del Ubinas, los periodos de presurización y despresurización registrado en las series de la línea base (Figura 3.3 c), franjas color naranja) entre abril y junio, no guardan una correlación directa respecto a las series temporal de posición (VERTICAL), en la estación UBHU durante el periodo se presenta una serie ruidosa (Figura 3.3 b) debido al ajuste respecto a su estación de referencia, en la serie de la estación UBGW (Figura 3.3 a) no se define claramente ambos periodos. Por otra parte los análisis de vectores de desplazamiento evidencian periodos claramente definidos de presurización y despresurización, se asume que el ubinas se deformó como un sistema abierto. La línea verde en la figura 3.3 indica el inicio del proceso eruptivo, donde las tendencias en la serie no han mostrado cambios significativos.

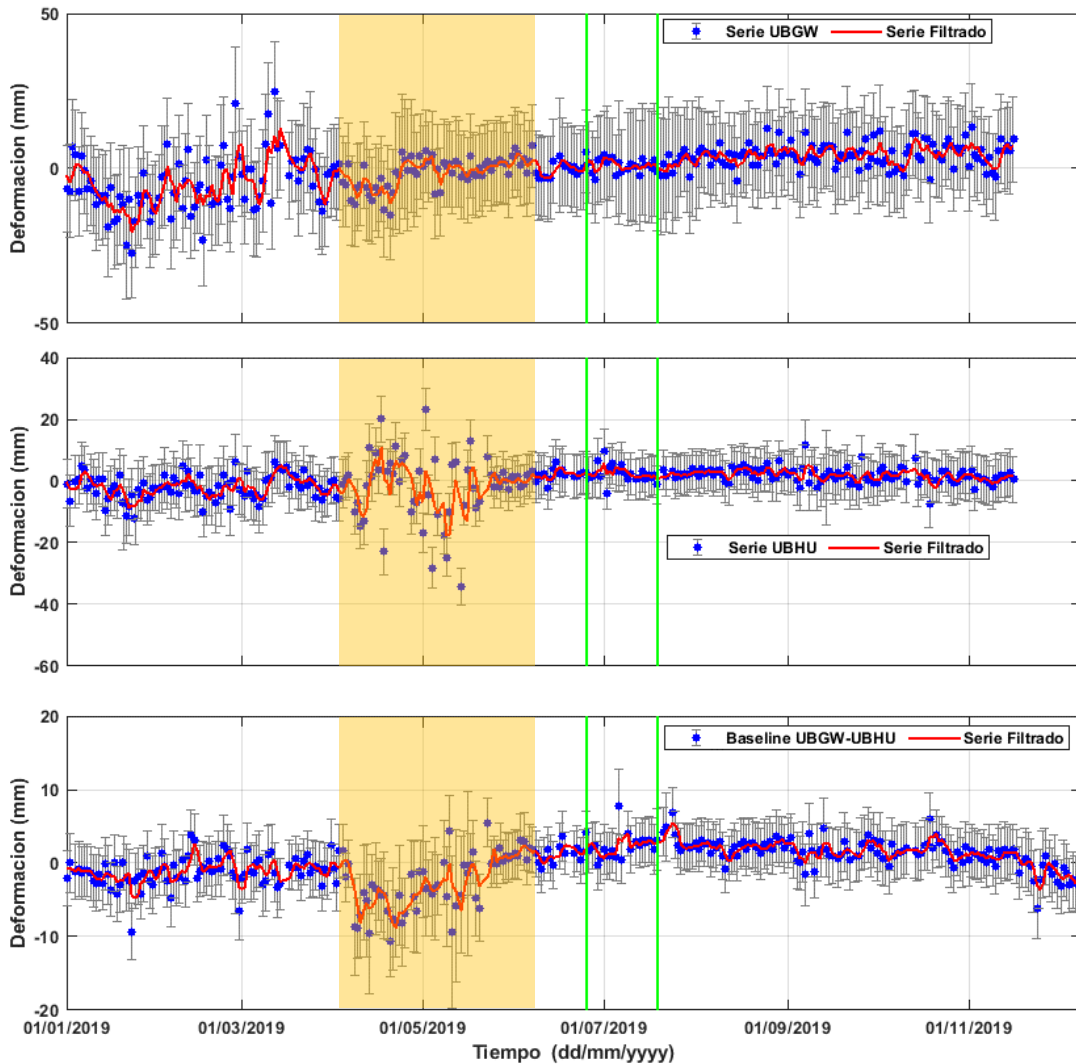


Figura 3.3. Serie temporal de componentes verticales de la red GNSS Ubinas.

3.1.5 Líneas base GNSS

Esta es una técnica la cual se basa en hacer la comparación de la diferencia entre un par de estaciones GPS permanentes, el análisis se realizó para el periodo del 2019, estas línea base en general atraviesan el cono volcánico del Ubinas. Para el cual se han establecido una línea base entre la estación UBGW y UBHU y dos líneas base entre las estación PCSA - UBHU y PCSA - UBGW, los resultados de esta técnica se muestran en la figura 3.4, la línea roja representa a datos ruidosos suavizados de las que calcula los promedios del conjunto de datos, y que evidencian periodos de presurización y despresurización:

A partir del 05 de abril la tendencia de la deformación en la serie UBGW-UBHU evidencia un periodo de despresurización hasta el 22 de abril, periodo en la que la deformación registra una presurización del sistema volcánico hasta el 04 de junio asociado a un intrusión súbita de un volumen de magma en profundidad, véase la figura 3.4, probablemente asociado a cambios en la sistema hidrotermal, sucesivamente se ha registrado un incremento en la ocurrencia de sismo tipo VT's muy energéticos días antes de la explosión del 25 de junio (Figura 3.4, línea color verde), después de la explosión la deformación mostraba un periodo de leve incremento en la presurización del sistema hasta el día 24 de julio, de esta fecha en adelante las curvas de deformación de las líneas base alcanzo un periodo de estabilidad asociado a una estabilidad interna del volcán.

Las series de la línea base desde mediados de octubre han registrado un periodo de despresurización continua en el volcán, observado en la series temporal UBGW-UBHU, mientras las series PCSA-UBGW y PCSA-UBHU no ha registrado mayores cambios significativos asociados al proceso de despresurización del sistema, Figura 3.4.

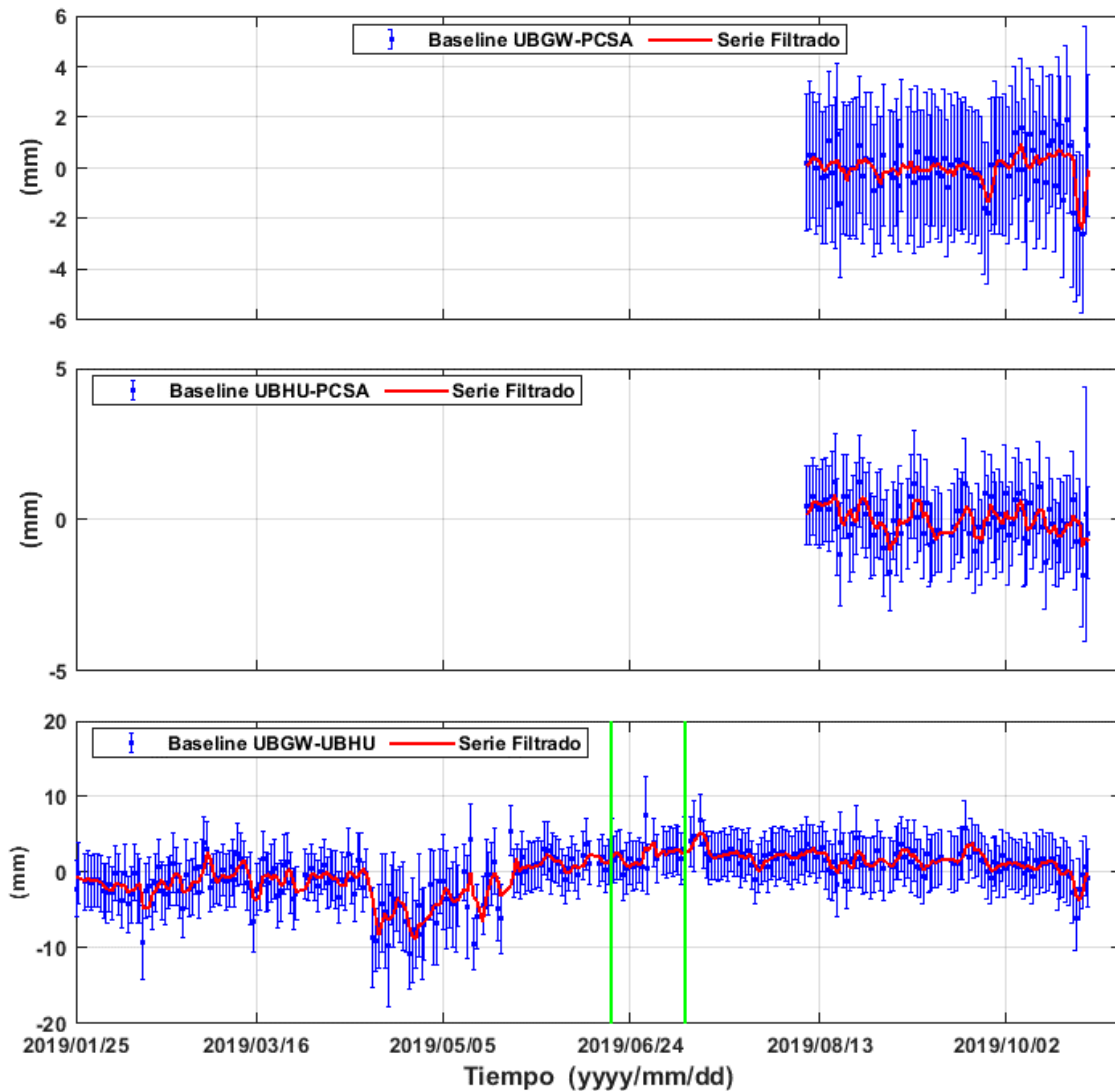


Figura 3.4. Serie temporal de las líneas base de las estaciones GPS para los segmentos PCSA-UBGW, PCSA-UBHU y UBGW-UBHU de la red GPS del Ubinas.

3.1.6 Mapa de vectores de desplazamiento

Las velocidades se determinaron a partir de las observaciones GPS basado a los cambios en las series de tiempo de las líneas base entre la estación UBGW-UBHU, a su vez en las series temporales de posición de la componente vertical (Figura 3.3c), no han mostrado una clara tendencia en la deformación en la serie anual. Antes de la erupción del 25 de junio del presente año se han determinado periodos de disminución y aumento en las tasas de deformación básicamente en las series de la línea base. Para ello se han determinado velocidades para tres periodos definidos (Tabla 3.1), el primer periodo corresponde a un proceso de despresurización que va desde el 5 al 22 de abril, los vectores de velocidad evidencian un patrón radial al cono volcánico, (Figura 3.5, línea color magenta), el segundo periodo corresponde a un proceso de presurización registrado desde el 22 de abril al 4 de junio (Figura 3.4), donde el patrón de los vectores (Figura 3.5, línea color azul) de desplazamiento corroboran claramente dicha fase evolutiva, el tercer corresponde desde el 21 de octubre a la fecha de la emisión del informe, en la que se observado que el patrón de los vectores (Figura 3.5, línea color rojo) de la estación UBHU es radial al volcán así como la estación UBGW. En la Figura 3.5 la estación GPS PCSA (estación de referencia), presenta una velocidad coherente con el proceso asociado al efecto del movimiento constante de la placa de nazca.

Tabla 3.1. Velocidades computadas por periodos, de las estaciones GPS permanentes del Ubinas.

ESTACION	ESTE (mm/año)	NORTE (mm/año)	ALTITUD (mm/año)	ESTE (mm/año)	NORTE (mm/año)	ALTITUD (mm/año)
	Periodo del 05 al 22 de Abril			Periodo 22 de abril al 4 de junio		
UBGW	5 ± 12	-8 ± 11	11 ± 10	-18 ± 2	4 ± 2	20 ± 9
UBHU	-72 ± 33	-6 ± 27	70 ± 80	27 ± 5	-8 ± 6	55 ± 30
	Periodo 21 de octubre a diciembre					
PCSA	1 ± 1	1 ± 1	14 ± 4			
UBGW	4 ± 5	7 ± 5	-18 ± 2			
UBHU	-11 ± 5	8 ± 4	-8 ± 14			

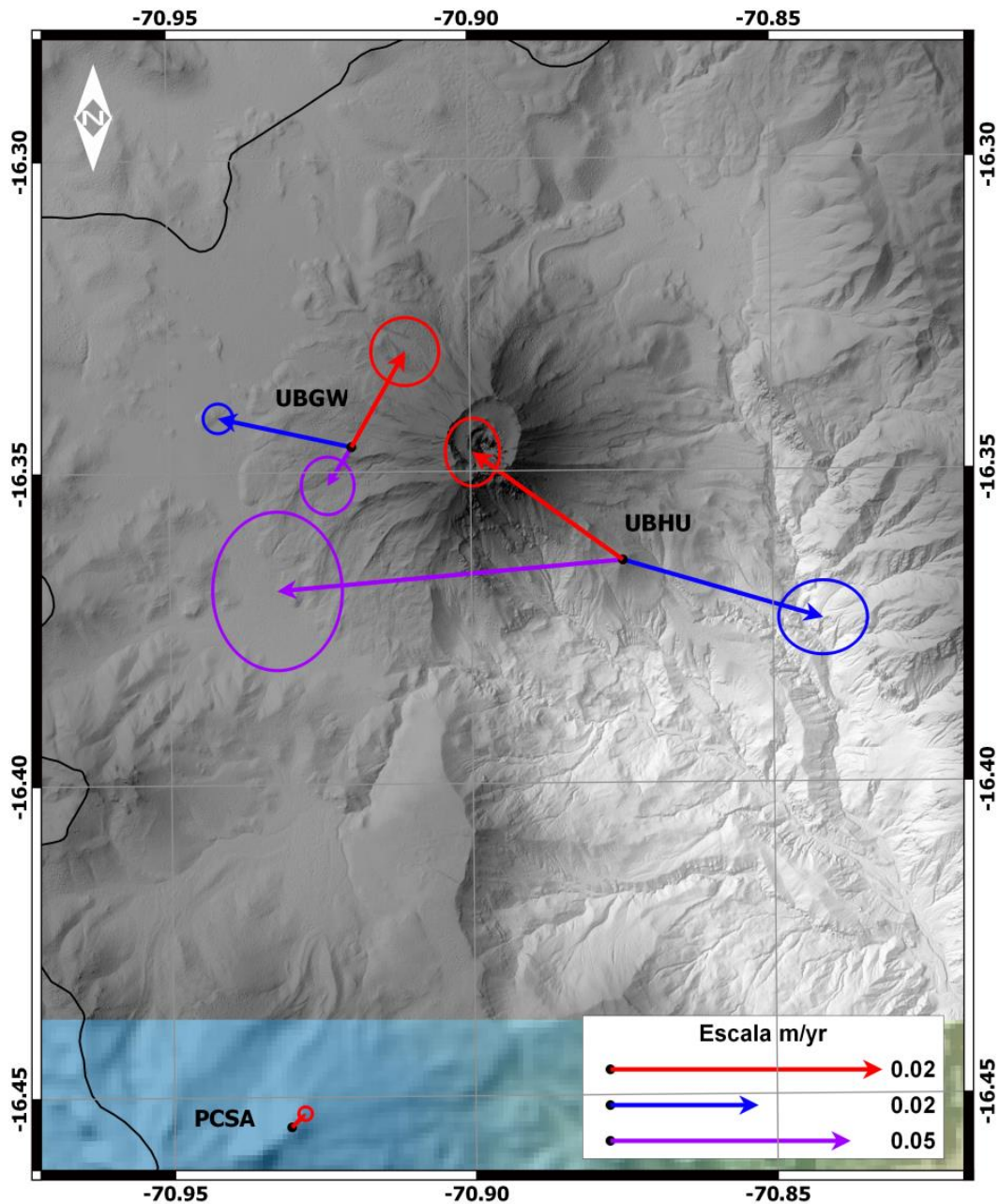


Figura 3.5. Mapa de velocidades de desplazamiento horizontal registrado por las estaciones GPS de la red geodésica, las tasas calculados están en metros (m/año), definido para cada periodo analizado.

3.2 Inclínometría Electrónica

Es otra técnica de monitoreo y vigilancia volcánica, que permiten determinar y medir la inclinación en un plano definido que es X e Y, respecto al plano horizontal, que determina los cambios respecto a dicho plano, que también permite complementarse con los resultados de las estaciones geodésicas. El orden de las magnitudes de las inclinaciones observadas por este tipo de equipos alcanza hasta una resolución de hasta ± 0.5 grados. Para el caso del Ubinas,

dicho instrumento tiene un periodo de registro de 4 meses, alcanzando cambios del orden de hasta 205 μ rad.

3.2.1 Instrumentación De Inclinómetros

En el Ubinas se ha implementado recientemente una nueva estación de inclinometría, que son básicamente equipos de alta sensibilidad que están compuestos por sensores electrónicos de inclinación, que permite hacer la conversión de una magnitud física en una señal eléctrica. Es un equipo de dos ejes (x, y) perpendiculares entre sí, que requiere de una plataforma nivelante para su instalación, y orientados de forma radial y tangencial al cono volcánico. Instalado en el flanco oeste del volcán cubierto con protección aislante que permita estabilizar la temperatura del medio para una adecuada corrección, así como por la deriva instrumental, que son los parámetros de mayor relevancia en el monitoreo con inclinómetro.

3.2.2 Adquisición de Datos y Procesamiento

La estación de inclinometría integra la red de monitoreo, que permitirá determinar los cambios y el control de la deformación, permitiendo conocer así los cambios en la dinámica interna del volcán, con registro de forma continua y en tiempo real, el registro de datos se realiza a intervalos por minuto y horas, las cuales se almacenan y analizan a través de códigos generados en base a Matlab. A partir de estos resultados y las técnicas geodésicas, es posible detectar, cuantificar y determinar los cambios y la situación del estado actual del volcán Ubinas.

3.2.3 Análisis de Resultados

Por su alta sensibilidad a los cambios de temperatura, es determinante entender la relación entre la temperatura y sus componentes (X, Y), así como la deriva instrumental, por lo que es de importancia minimizarlas y hacer el seguimiento de como varían en el tiempo ambas componentes con respecto a la actividad del volcán. En la figura 3.6, son los resultados del comportamiento en el tiempo de las señales del inclinómetro UBIW, son las correcciones, las que se caracterizaron por presentar una tendencia estable, para la componente X (Este) no se ha registrado un cambio significativo, mientras la componente Y (Norte) registró un descenso constante gradual acumulado de $\pm 205 \mu$ radian (Figura 3.6) durante el periodo de monitoreo entre octubre y diciembre del 2019. Los registros de temperatura y presión no muestran mayores fluctuaciones asociados a los cambios de estacionalidad, donde la figura 3.7 es el registro de temporal de las componentes X, Y con los efectos de temperatura y deriva instrumental minimizada, los resultados evidencian que ambas componentes no presentan cambios importantes en la inclinación del plano horizontal. En la componente Y el cambio en los primeros días en la serie corresponde al periodo de estabilización del inclinómetro, a partir del 26 de noviembre la componente Y registra un cambio descendente en la serie de hasta ± 65

μradian, asociado probablemente al periodo de despresurización del Ubinas registrado en las series de las estaciones GPS(Figura 3.3c).

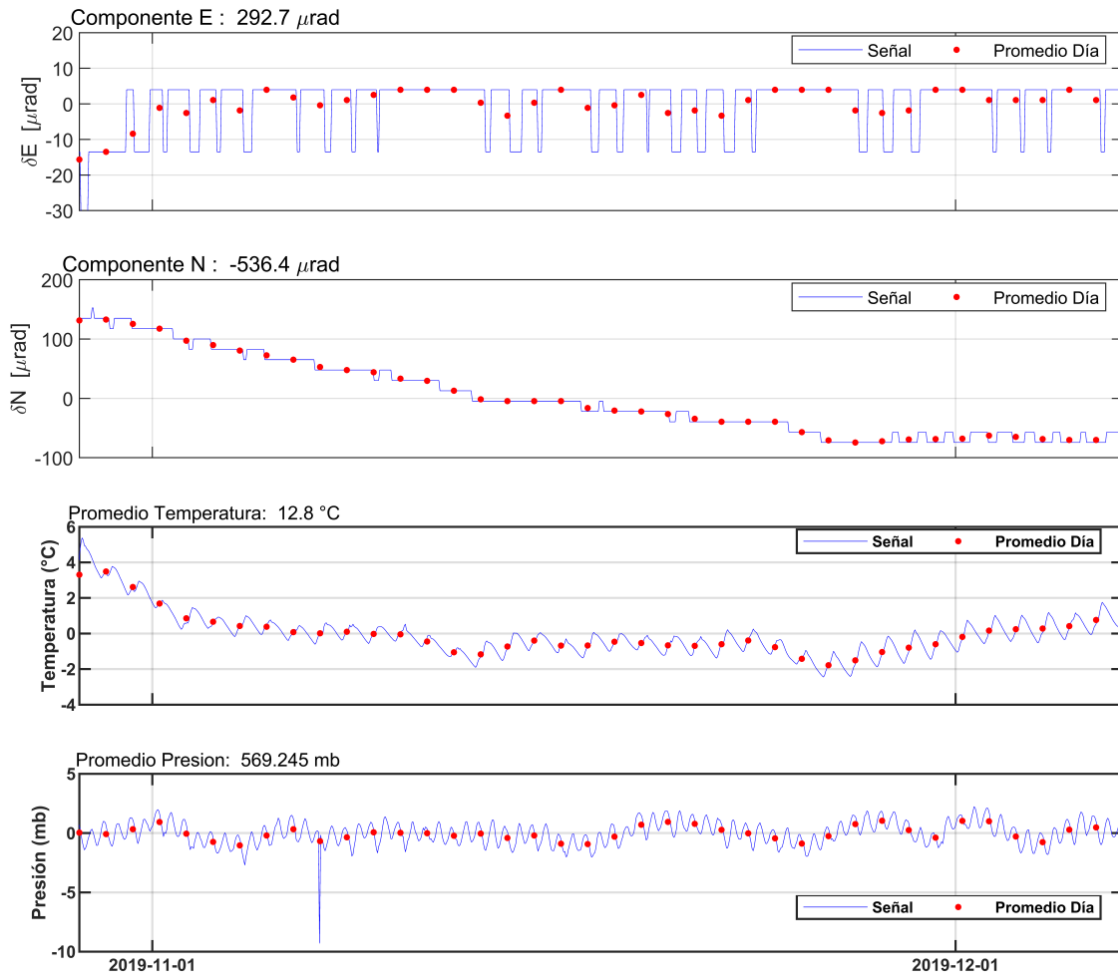


Figura 3.6. Resultados del comportamiento de las componentes X (Este), Y (Norte) del inclinómetro electrónico de la estación UBIW, de la red de m monitoreo del volcán Ubinas.

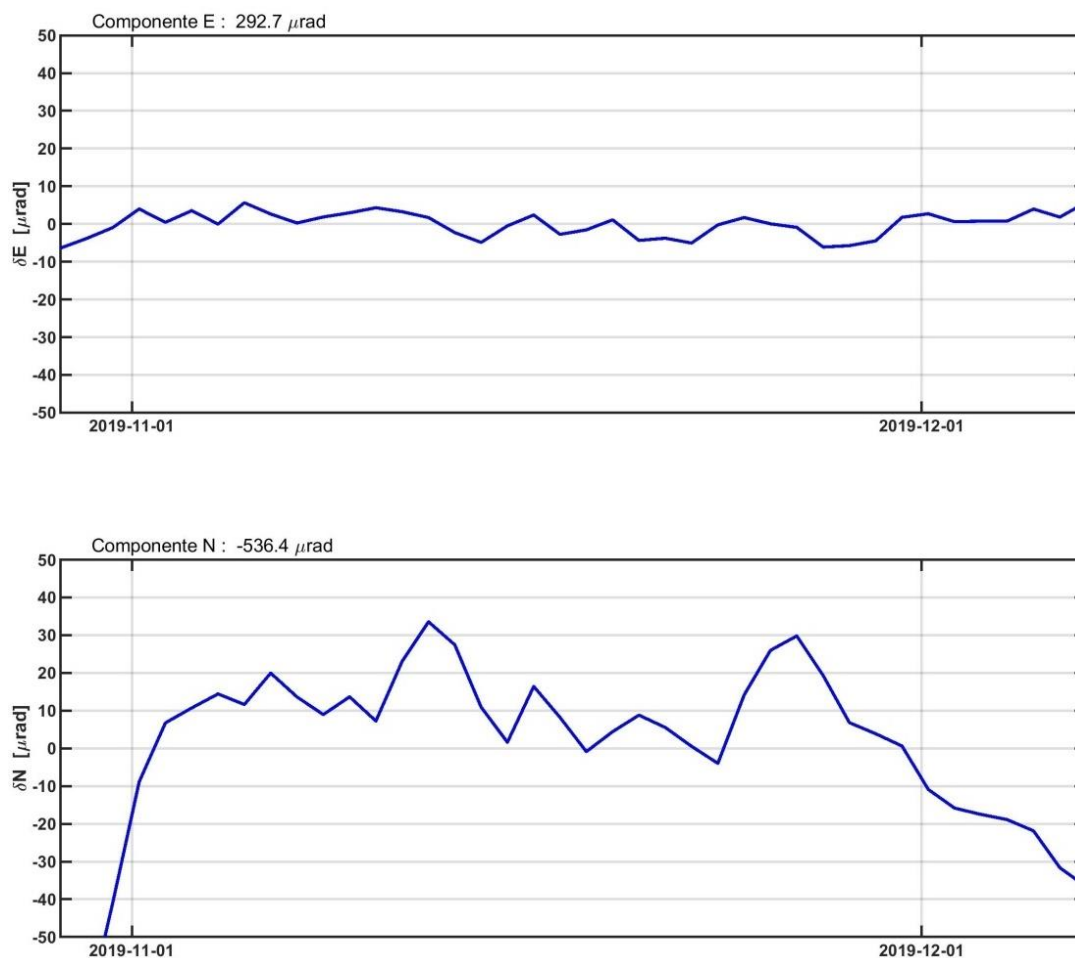


Figura 3.7. Comportamiento de la serie temporal con la temperatura y deriva instrumental minimizados de la estación UBIW.

3.3 InSAR

La técnica InSAR (Interferometría Radar de Apertura Sintética) utiliza imágenes de satélite de diferentes longitudes de onda, es una herramienta complementaria ampliamente empleada en el monitoreo de volcanes, que permiten detectar deformaciones de la superficie del volcán asociado a procesos de presurización y despresurización.

Los interferogramas post-evento obtenidos a partir de imágenes SENTINEI-1 por el laboratorio de teledetección, para un segundo proceso eruptivo del Ubinas (19 de julio), no han registrado cambios en la deformación asociado a un probable ascenso de magma o presurización del sistema, en las figuras 3.xa y b, se observan deformación muy locales centrados en al cono volcánico y el flanco oeste del volcán, la Figura 3.8 a, que corresponden a colapsos del flanco oeste después del proceso eruptivo (Interferograma 002/07/2019-14/07/2019). El interferograma 08/07/2019-20/07/2019 evidencia colapsos del conducto volcánico asociado a una emisión frecuente de cenizas. Así mismo el inteferograma (Figura 3.9) proporcionado por CVO (Cascades Volcano Observatory), no ha evidenciado deformación co-eruptiva.

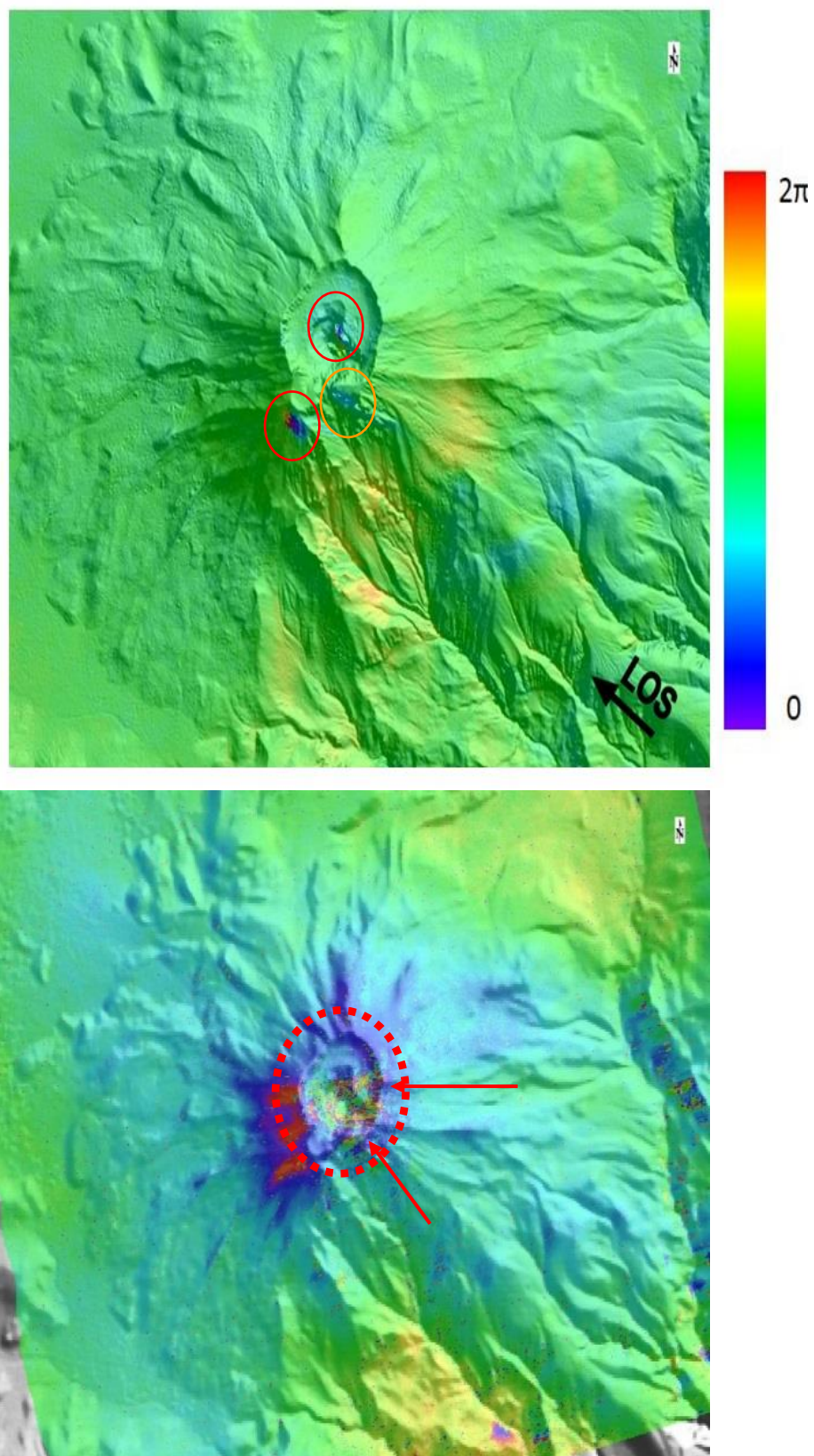


Figura 3.8. Interferogramas pre-evento y post-evento del proceso eruptivo, a). Interferograma pre-evento de 02/07/2019-14/07/2019 y b). Interferograma post-evento de periodo 08/07/2019-20/07/2019, obtenidos por el laboratorio de teledetección del INGEMMET.

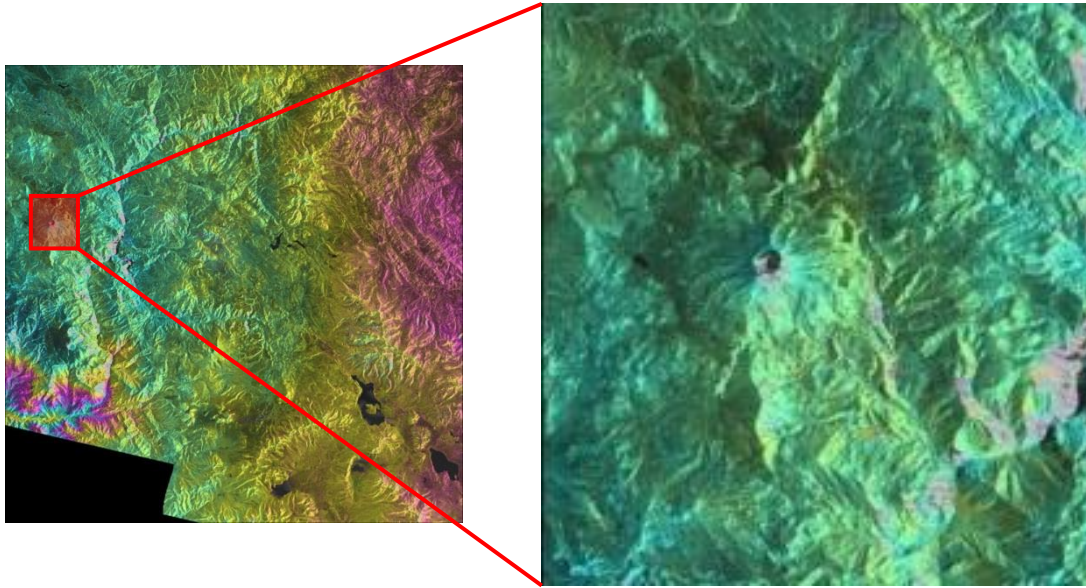


Figura 3.9. Interferogramas pre-evento del proceso eruptivo del Ubinas, con orbitas de periodo del 14/07/2019 y 16/07/2019, obtenidos por el CVO (Cascades Volcano Observatory).

4 VIGILANCIA SÍSMICA

4.1 Red sísmica

La red sísmica del volcán Ubinas que operó durante el año 2019, estuvo conformada por 06 estaciones sísmicas de banda ancha: 01 estación, con almacenamiento de data en su disco interno (UBN05) y 05 estaciones con transmisión de data vía telemetría (UBN02, UBN04, UBN08, UBN11 y LAH01) hacia la oficina de INGEMMET en Arequipa. La Tabla 4.1 muestra las principales características de las estaciones que conforman la red sísmica del volcán Ubinas durante el 2019.

Tabla 4.1. Estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas durante el 2019.

Estación	UTM-E	UMT-S	Elevación	Distancia desde el cráter (Km)	Dirección respecto al cráter
			(m.s.n.m)		
UBN02	299758	8189845	4432	3.3	Sureste
UBN04	294925	8191824	4865	2.4	Oeste
UBN05	296546	8194510	4783	2.6	Norte
UBN08	296305	8189234	4655	3	Suroeste
UBN11	299924	8194468	4509	3.7	Noreste
LAH01	300646	8187161	3502	5.8	Sureste

La figura 4.1, muestra el periodo de operatividad de las estaciones sísmicas que conformaron la red sísmica del volcán Ubinas en el periodo enero - diciembre del 2019. Las barras solidas horizontales representan los periodos de funcionamiento de las estaciones y las barras solidas verticales los periodos sin registro.

Las estaciones UBN04 y UBN05, presentaron una operatividad continua de la información sísmica. Por el contrario, en las estaciones UBN02, UBN08 y UBN11 se observan algunos periodos sin registro, la estación LAH01 se instaló el 16 de noviembre de 2019, para realizar el monitoreo de lahares por temporada de lluvias, la estación UBN02 por problemas se sensor sísmico, se reinstalo el 20 de mayo de 2019, la estación UBN08 se reinstalo el 02 de octubre de 2019, la estación UBN11 por problemas de GPS, se reinstalo el 30 de octubre de 2019. Las estaciones sísmicas antes mencionadas sirvieron para elaborar el presente informe Técnico.

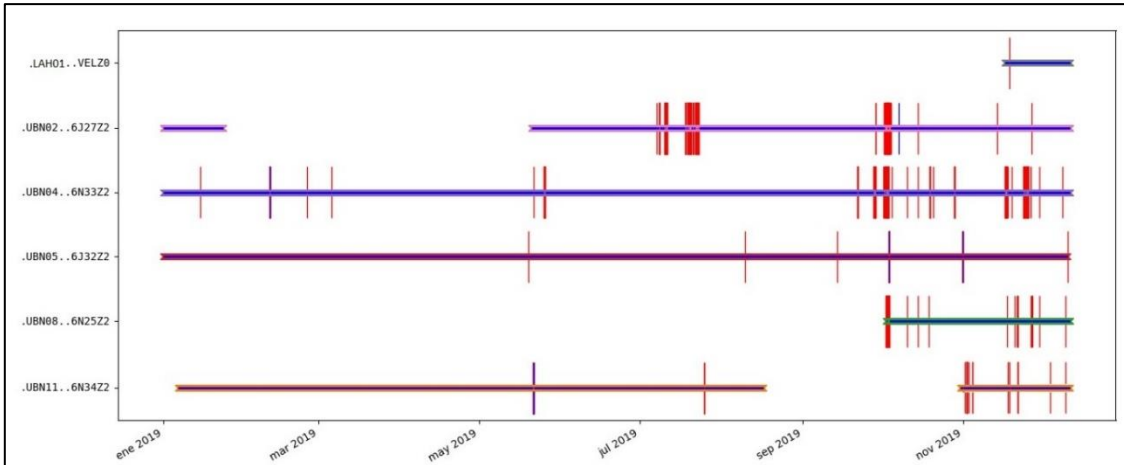


Figura 4.1. Operatividad de las estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas durante el 2019.

4.2 Procesamiento y análisis

Los datos sísmicos son registrados en modo continuo, y archivados en ventanas de 60 minutos de duración, en formato GURALP (.GCF). Esta data en gabinete es automáticamente convertida al formato .SAC, con el cual se realizan la clasificación a través del programa Classification_v03 (Modificado por personal del OVI del programa Classification de Lesage, 2009). El programa Classification_v03 (Figura 4.2), 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, la energía y el desplazamiento reducido. Esta información es catalogada y almacenada en archivos *.txt.

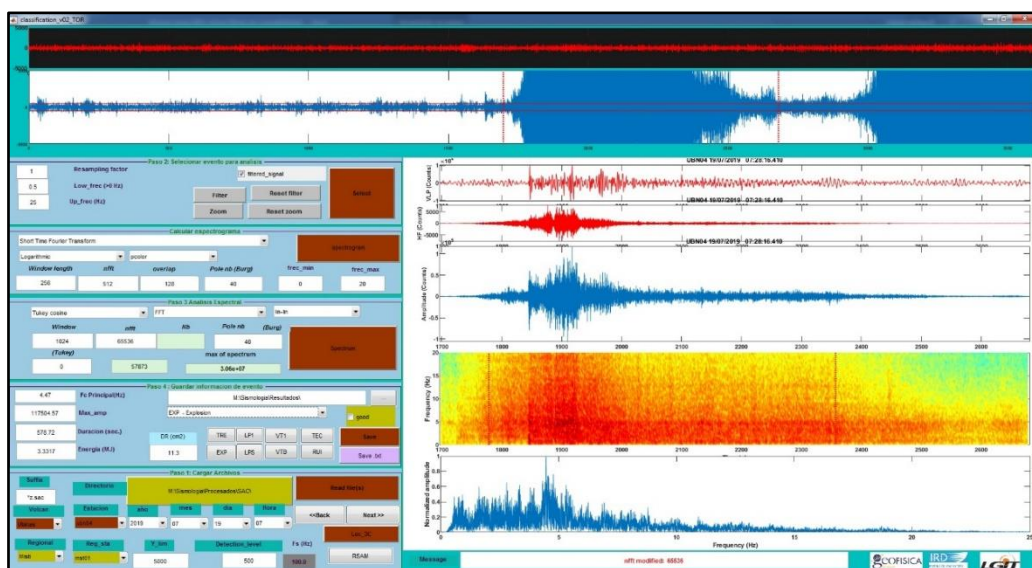


Figura 4.2. Ventana principal del Programa Classification_V03.

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)
- Desplazamiento reducido cuerpo (10)
- Desplazamiento reducido superficial (11)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
TEC	2019-07-01	00:34:27.35	0.42	2546	219	20190701_0000.ubn04.z.sac	0.0012	0	8.59	6.49
VT1	2019-07-01	01:14:02.58	6.86	5937	38	20190701_0100.ubn04.z.sac	0.0005	0	0.29	0.89
VTB	2019-07-01	03:19:57.36	0.47	4620	33	20190701_0300.ubn04.z.sac	0.0003	0	11.77	9.40

La data sísmica y los resultados, 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**
- El catálogo de los eventos sísmicos se guarda en la carpeta, **M:\Sismologia\Resultados**

4.3 Resultados

4.3.1 Señales sísmicas representativas

- **Sismo volcano-tectónico (VT).** Son eventos provocados por las fracturas de rocas, asociados al ascenso de magma desde el interior de la tierra hacia el volcán, posiblemente debido a la presión por introducción de magma, interacción de fluidos magmáticos con el medio encajante, desgasificación de gases y cambios bruscos de temperatura (contracción y/o dilatación). Los eventos VT (Figura 4.3), Se caracterizan por tener claras llegadas de las ondas P y S y por el contenido de altas frecuencias (> 5Hz).

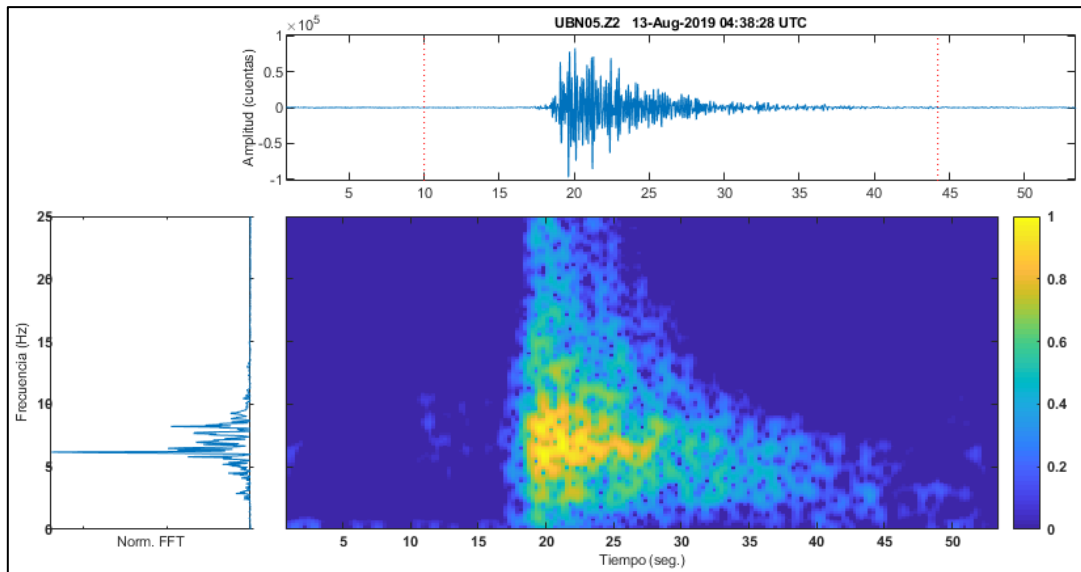


Figura 4.3. Evento Volcano-tectónico VT, registrado el 13 de agosto de 2019, componente Vertical.

- **Sismos de periodo largo (LP).** Son eventos asociados a procesos de la dinámica de fluidos en el sistema hidrotermal del volcán. Los eventos LP (Figura 4.4), se caracterizan por qué no presentan llegadas legibles de la fase S y el contenido espectral principal, es bajo (entre 1-4 Hz).

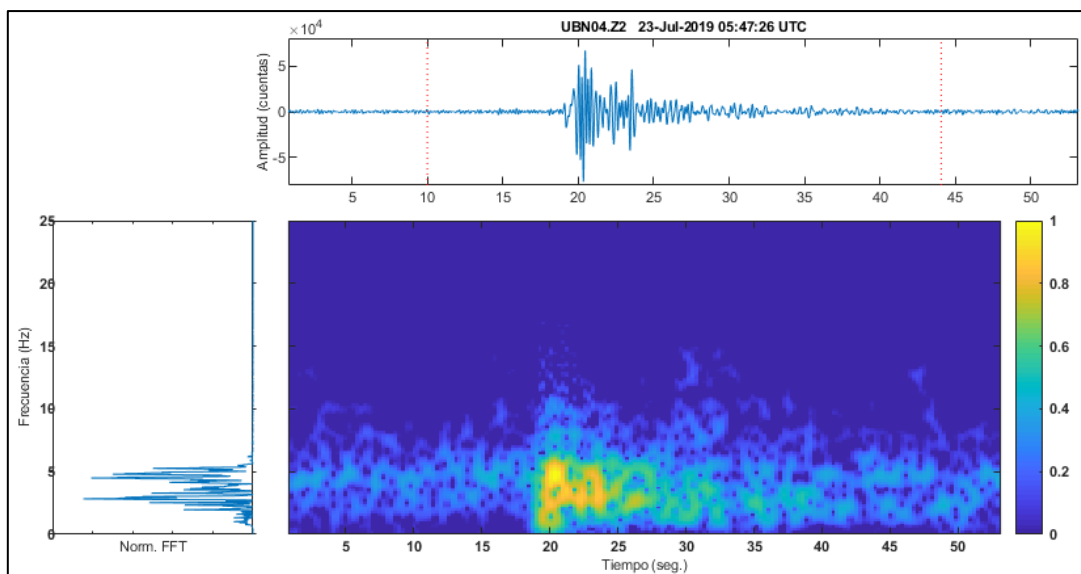


Figura 4.4. Evento Largo Periodo (LP), registrado el 23 de julio de 2019, componente Vertical.

- **Sismos tipo Híbrido (HYB).** Se caracterizan por su la combinación de procesos que involucran movimiento de fluidos y fracturamiento de material cortical, la cual ha sido interpretada como la combinación de eventos tipo VT con eventos LP. (Figura 4.5). Generalmente su arribo es impulsivo, dominado altas frecuencias y en muchas ocasiones es posible distinguir la fase P y S.

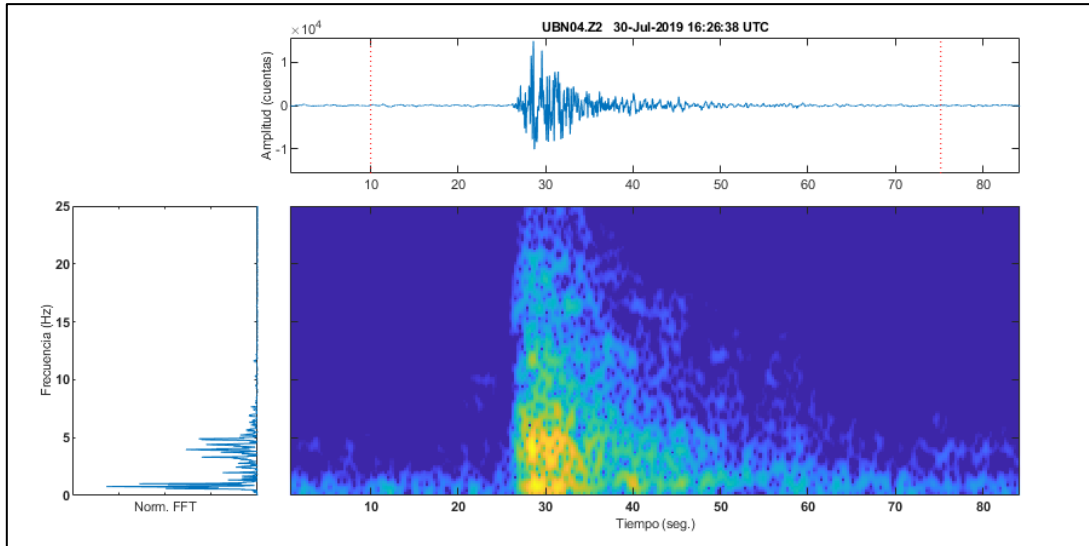


Figura 4.5. Evento Híbrido (HYB), registrado el 30 de julio de 2019, componente Vertical.

- **Sismos tipo tornillo (TOR).** Se caracterizan por su forma armónica, la cual ha sido interpretada como la oscilación de un resonador excitado por la interacción de mezclas de líquidos y gases en forma de burbujas a grandes presiones. La manera en que decae la amplitud del sismograma a lo largo del tiempo es lenta, lo que implica que la tasa de pérdida de energía en la cavidad resonante es lenta también. Su espectro muestra uno o pocos picos en las frecuencias de los armónicos que aportan la energía del sismo (Figura 4.6).

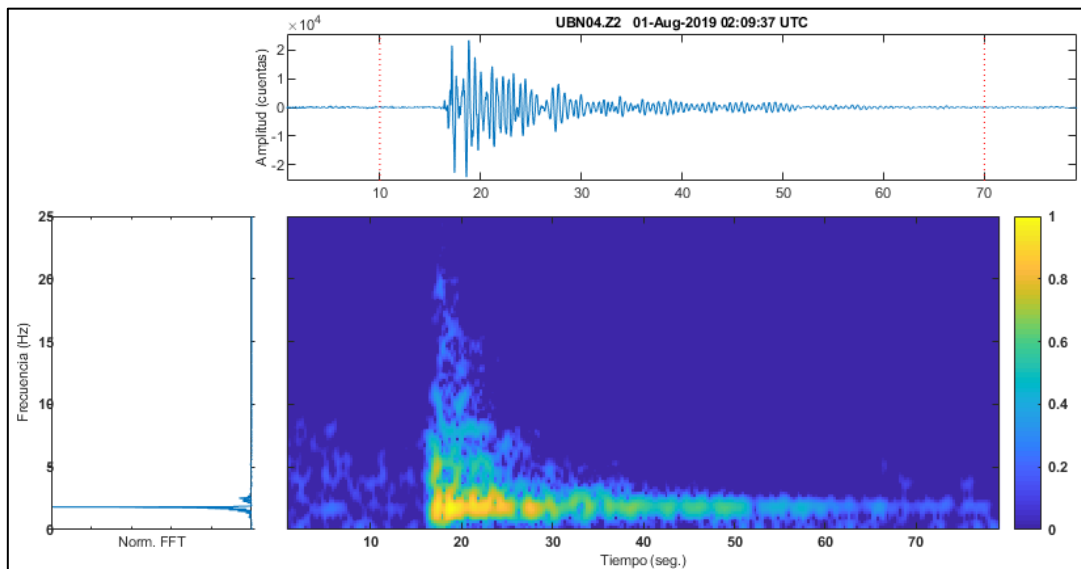


Figura 4.6. Evento Tornillo (TOR), registrado el 01 de agosto de 2019, componente Vertical.

- **Sismos tipo TREMOR (TRE).** Estos eventos se caracterizan por mantener una amplitud constante y un registro continuo de vibraciones monótonicas o no armónicas que pueden tener una duración de minutos hasta días o meses, las frecuencias

dominantes del tremor son similares a las de los eventos LP, de 1 a 5 Hz, siendo las más comunes entre 2 y 3 Hz. (Figura 4.7).

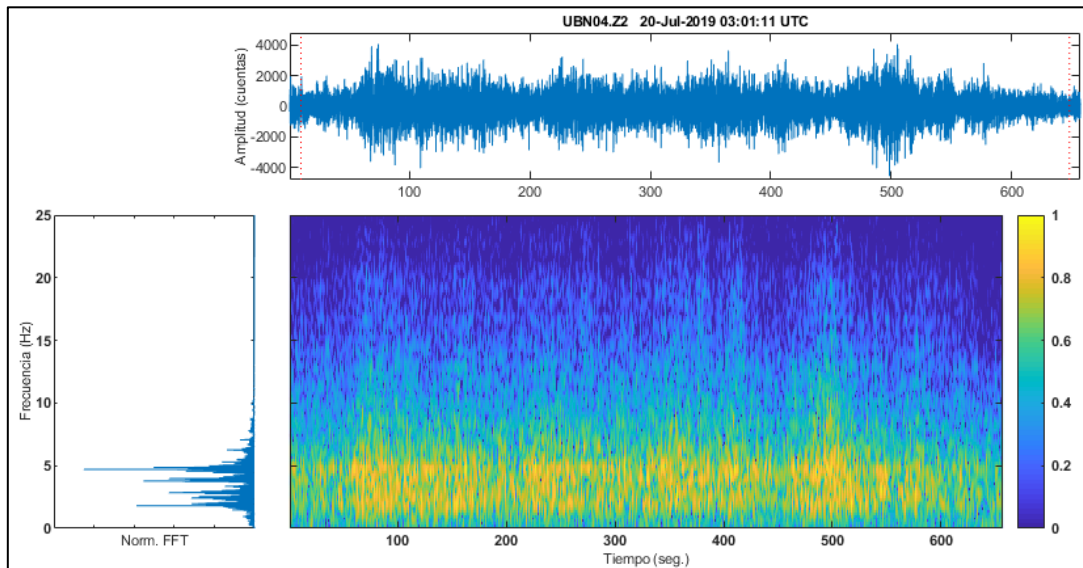


Figura 4.7. Evento Tremor (TRE), registrado el 20 de julio de 2019, componente Vertical.

- **Sismos tipo Explosión (EXP).** Generalmente, en el sismograma se destaca el arribo tardío de la onda sonora. La ocurrencia de la onda de aire es causada por el empuje sónico durante la explosión, cuando el gas en expansión se acelera en la abertura (Figura 4.8), que están acompañadas por eventos de muy baja frecuencia entre estos tenemos los VLPs que tienen frecuencias entre 0.01 a 0.1 Hz.

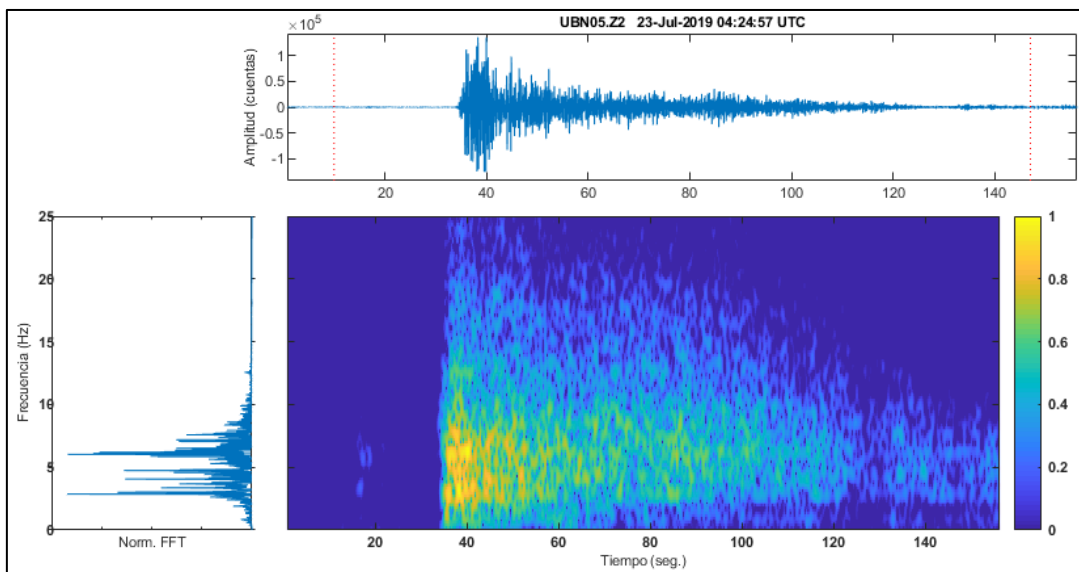


Figura 4.8. Explosión (EXP), registrado el 23 de julio de 2019, componente Vertical.

4.3.2 Sismicidad en el volcán Ubinas

La actividad sísmica registrada durante el año 2019, ante un nuevo proceso eruptivo del volcán Ubinas, ha estado caracterizada por una gran variedad de señales sísmicas que incluyen sismos de Largo Periodo (LP), volcano-tectónico (VT), Híbridos, Tremores, Explosiones, Enjambres, entre otros.

4.3.2.1 Estadística general

La estadística general de los eventos sismo – volcánicos identificados durante el año 2019, ha permitidos contabilizar un total de 13620 señales de origen netamente volcánico con un promedio de ocurrencia de 40 sismos por día.

La Tabla 4.2 y Figura 4.9, 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 (8752 eventos), seguidos por sismos Volcano – Tectónicos (3345 eventos), luego por los sismos de tipo Híbridos - HYB (1466 eventos), luego continúan los sismos tipo Tornillo – TOR (46 eventos), posteriormente, siguen Explosiones – EXP (11 eventos).

Tabla 4.2. Estaciones sísmicas desplegadas en el volcán Ubinas durante el 2019.

Tipo de evento		N° de Eventos	Porcentaje (%)	Sismos/día
Volcano - Tectónico (VT1 y VTB)	VT	3345	24.6	9.7
Largo Periodo (LP1, LPS y SWL)	LP	8752	64.3	25.5
Híbridos	HYB	1466	10.8	4.2
Tornillos	TOR	46	0.3	0.1
Explosiones	EXP	11	0.1	0.03
TOTAL		13620	100	39.5

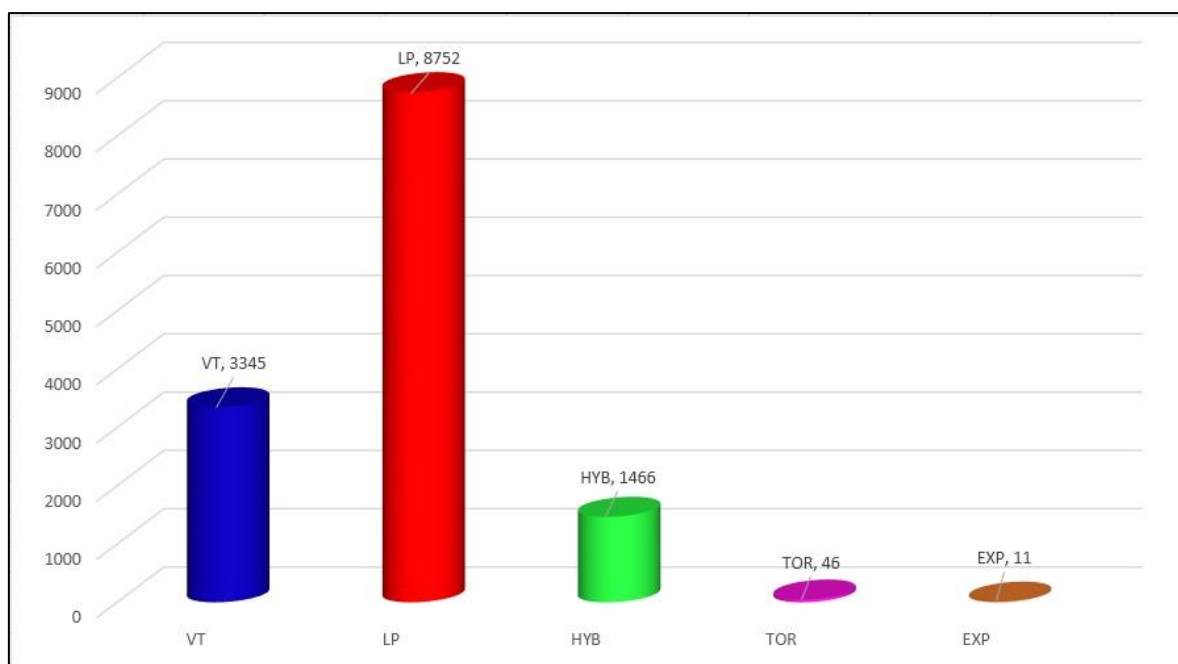


Figura 4.9. Histograma de la ocurrencia de los principales eventos sísmicos identificados en el volcán Ubinas durante el periodo enero – diciembre del 2019.

4.3.2.2 Estadística por tipo de evento

En la Figura 4.10, se muestra la evolución sísmica por tipo de eventos registrado en el volcán Ubinas durante el año 2019. Donde claramente se aprecia que estuvo dominada por sismos Largo Periodo – LP, los cuales se asocian a la dinámica de fluidos; el día 11 de septiembre se registró un incremento en la tasa de ocurrencia de este tipo de sismicidad, contabilizándose hasta 589 LPs, por otro lado, durante meses de julio y agosto, se registró una mayor tasa en la ocurrencia de los sismos Volcano – Tectónicos – VT, los cuales se asocian a fracturamiento de material rocoso en el edificio volcánico; registrándose un pico máximo de 127 eventos el día 03 de agosto; posteriormente, durante el resto del año, este tipo de sismicidad se mantuvo en niveles bajos. Asimismo, se registraron sismos tipo Híbridos – HYB, asociados al ascenso de magma, el día 06 de agosto se registró un pico de 143 eventos de este tipo, en algunas ocasiones, es posible apreciar que, los incrementos en este tipo de sismicidad coinciden incrementos en la tasa de ocurrencia de sismos LPs; de igual manera, 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, llegándose a registrar un pico máximo de 14 eventos el 01 de agosto. Por otro lado, se registraron Explosiones durante el 2019, este tipo de señales generalmente se asoció a emisiones de gases y ceniza de energía relativamente alta, siendo la explosión del día 19 de julio la más importante, liberando 5.2 MJ aprox.

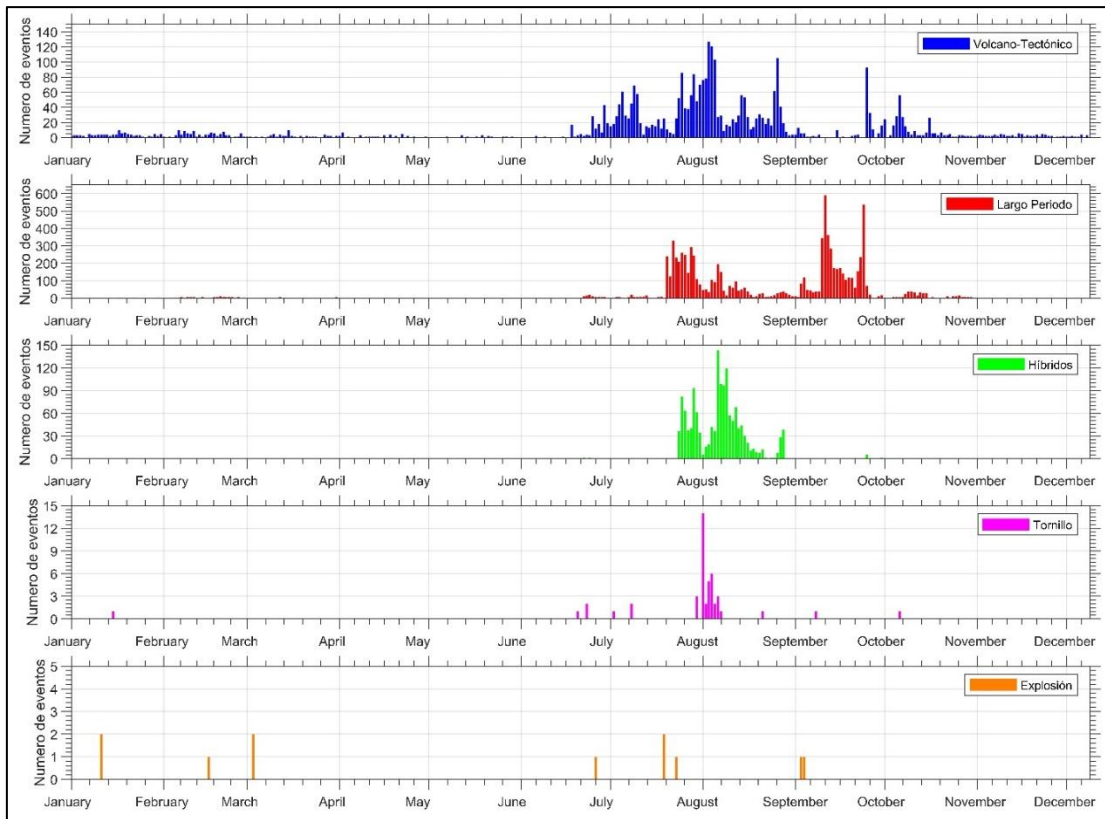


Figura. 4.10. Histograma de la actividad sísmica en el volcán Ubinas durante el año del 2019.

También se han identificado episodios de actividad Tremórica de tipo Espasmódica – TRE, los TRE mayormente se asociaron a emisiones de gases y ceniza y en cuanto a los TRA, este tipo de actividad alcanzó duraciones de hasta 15 horas los días 19 al 22 julio (de persistente actividad tremórica).

4.3.3 Energía sísmica diaria y acumulada

El análisis de la energía sísmica liberada en el volcán Ubinas durante el año 2019, se realizó principalmente mediante el registro de la estación de referencia UBN04 la cual cuenta con transmisión vía telemétrica. La Figura 4.11 muestra una relación del incremento considerable de la energía sísmica acumulada del 19 de julio, el cual estuvo asociada principalmente a la ocurrencia de eventos tipo Tremor por lapsos de hasta 17 horas de registro continuo, Largo Periodo, Híbridos y Explosiones. El valor final de la energía acumulada para el 2019 fue de 336.17 MJ considerablemente mayor al calculado para el año 2018 (3.79 MJ).

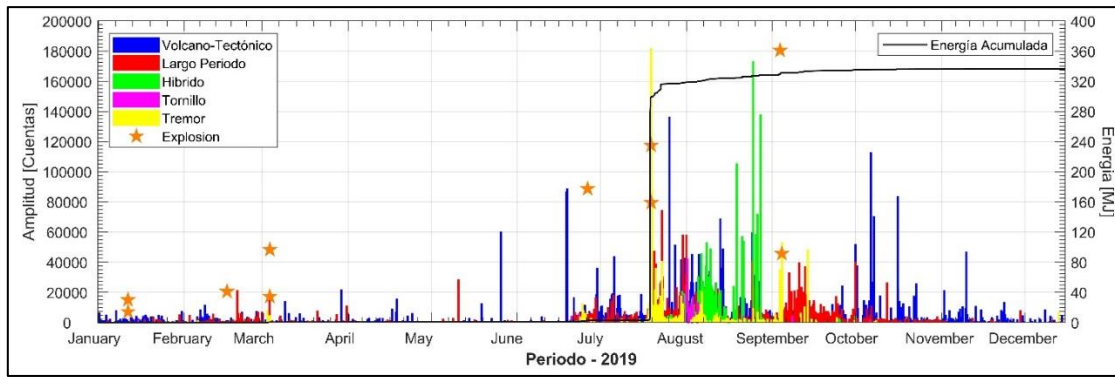


Figura. 4.11. Evolución de la actividad sísmica del volcán Ubinas, correspondiente al 2019.

4.3.4 Localización de las señales sísmicas volcano – tectónicas (VT)

Durante el año 2019, de las 3345 señales sísmicas de tipo VT, fue posible localizar 40 sismos, los cuales, presentaron claras llegadas de las fases P y S (Figura 4.12), además que se registraron entre 04 a más estaciones sísmicas.

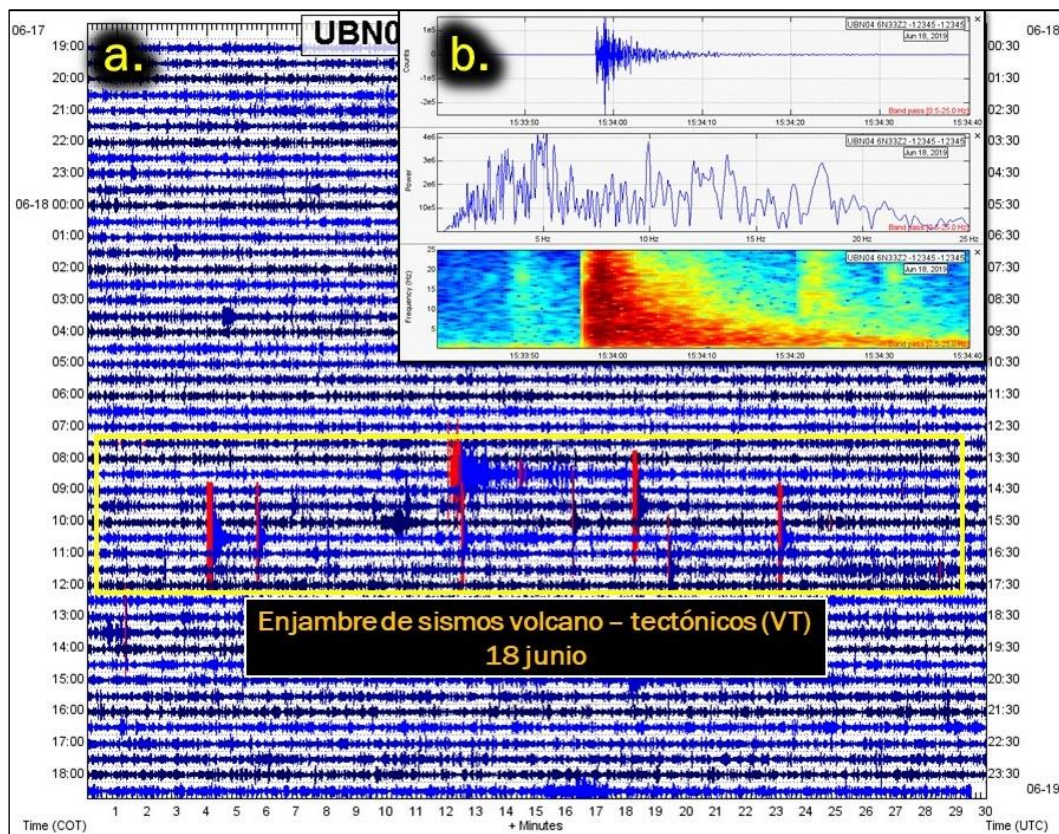


Figura 4.12 a) Sismograma de la estación UBN04 (componente vertical), correspondiente al día 18 de junio desde las 00:00 hasta las 23:00 horas UTC; en dicho registro se puede apreciar que entre las 08:00 y 12:00 horas UTC, se registró un enjambre de sismos VT (10 sismos); **b)** Registro sísmico, contenido espectral y espectrograma de un sismo VT de considerable energía (209 MJ) ocurrido el 18 de junio a las 15:33 horas UTC, dicho evento presentó una magnitud local de 2.1 ML y a una profundidad de 2.6 km.

El modelo de velocidades empleado fue desarrollado por personal del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET – OVI (Cuadro 4.3).

Tabla 4.3. Modelo de velocidades usado para la localización de los eventos sísmicos del volcán Ubinas periodo 2019.

Vp (km/s)	Prof (km)	Vp/Vs
2.5	0.0	1.7
3.2	4.0	1.7
4.5	9.0	1.7
5.0	16.0	1.7
5.8	21.0	1.7

En la Figura 4.13, se muestra la distribución espacial y en profundidad de los 40 sismos que se localizaron entre enero y diciembre respectivamente. Los errores de localización son: < 2.5 Km en latitud, longitud y en profundidad. En general, estas señales se localizaron, predominantemente, hacia el Norte y Noroeste del cráter del volcán Ubinas a profundidades que llegaron hasta los 9.0 km y magnitudes entre 0.1 y 2.1 ML. Dichas señales se asociaron a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico y/o posiblemente a causa de la actividad de fallas geológicas en la zona.

Cabe resaltar que durante el presente año, específicamente el 18 de junio se registró 01 enjambre de eventos sísmicos volcánico – tectónicos (VT), los cuales, se caracterizaron por registrarse en un tiempo y lugar determinado (Figura 4.13, círculos amarillos), dicho enjambre se localizó en el borde este del cráter del volcán Ubinas a profundidades entre 2 y 3 km y la magnitud máxima que alcanzó este enjambre fue de 2.1 ML, este tipo de sismicidad observada indicó claramente una pequeña intrusión magmática.

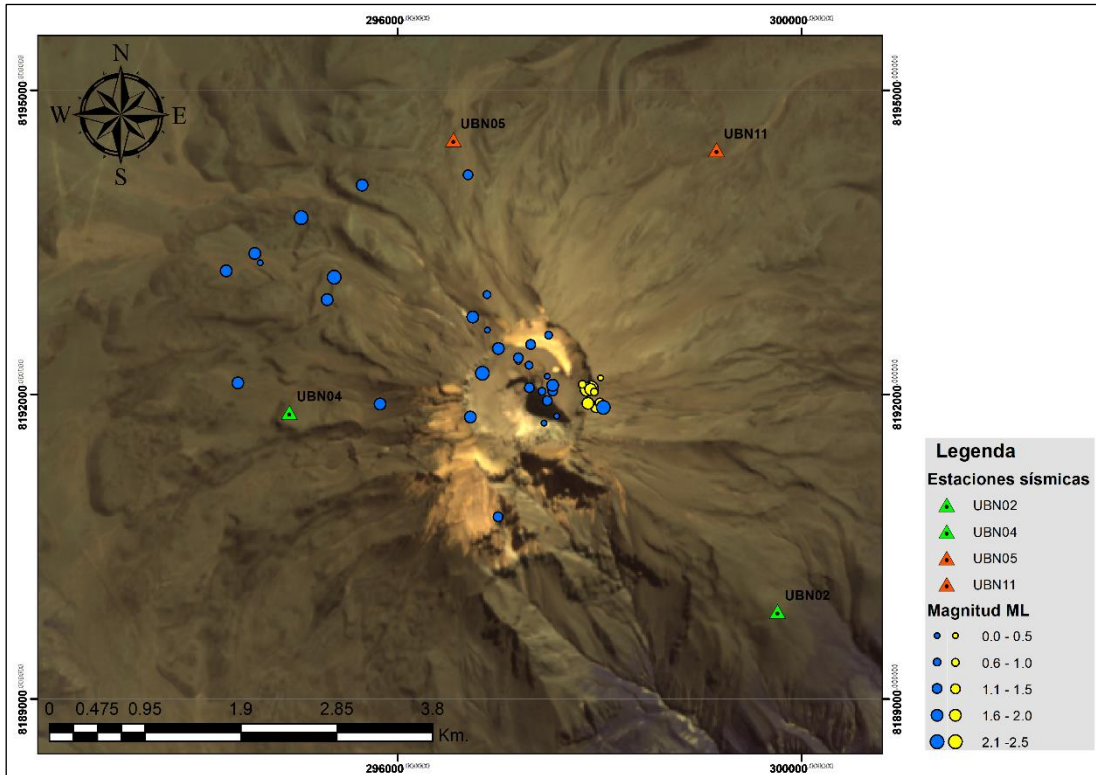


Figura 4.13 Distribución espacial de los 40 sismos volcano – tectónicos localizados en los alrededores del volcán Ubina.

5 SENSORES REMOTOS

5.1 Red de Cámaras

El volcán Ubinas presenta una red de monitoreo visual constituido por tres (3) cámaras ópticas (Figura 5.1) que monitorean al volcán en tiempo real las 24 horas del día, registrándose información de la altura, color, forma y dirección de las emisiones fumarólicas.

Además de la visualización de las emisiones del volcán, desde el 17 de noviembre del 2019 el INGEMMET a través de su observatorio vulcanológico estará monitoreando la ocurrencia de los lahares producto de las lluvias y de la acumulación de las cenizas entorno al volcán, para dicho objetivo se ha instalado una cámara en la quebrada de Vulcanmayo (Figura 5.1), la cual ha sido elegida debido a que esta desemboca en el valle de Ubinas y la ocurrencia de un lahar en esta área podría afectar los cultivos y centros poblados del valle.

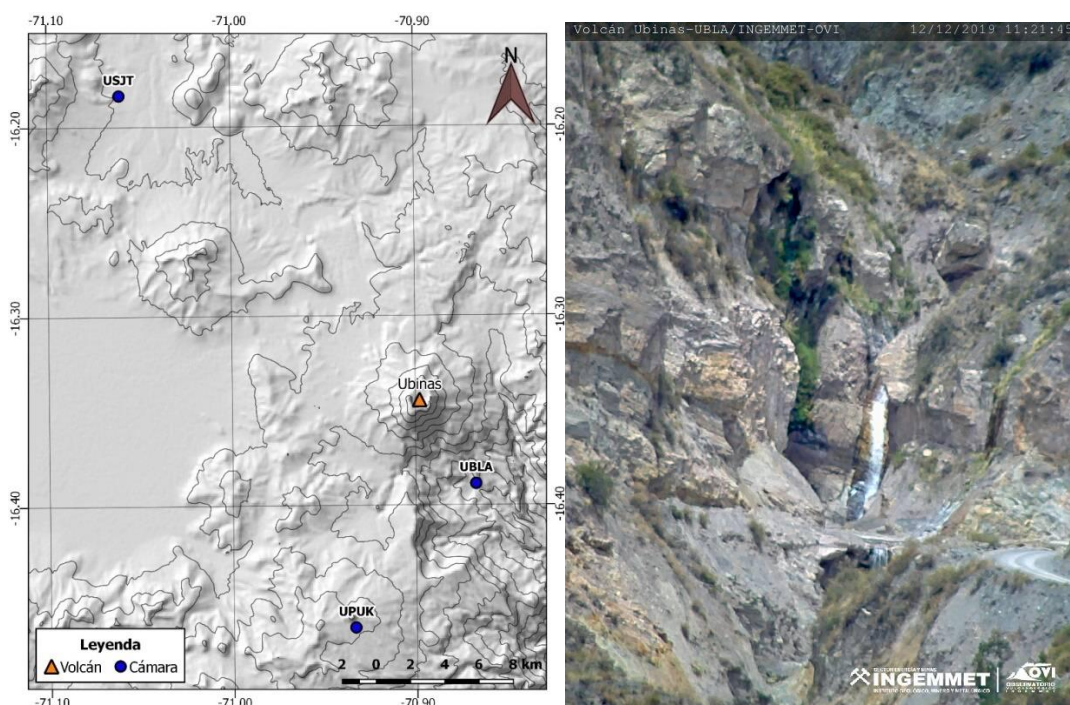


Figura 5.1. Localización de cámaras ópticas de monitoreo y vigilancia de lahares en el volcán Ubinas.

5.2 Características de las Emisiones

5.2.1 Forma y ocurrencia

El Volcán Ubinas se caracteriza por tener periodos eruptivos de corta duración seguida de periodos de calma de algunos meses del año.

En el presente año el periodo eruptivo se enmarcó principalmente en el mes de julio y setiembre como se muestra en la Figura 5.2, donde la altura máxima alcanzada fue en el mes de julio, donde la fumarola alcanzó los 6500 m.s.c. (metros sobre el cráter). Durante el primer

trimestre del año las emisiones alcanzaron la altura máxima de 100 msc, donde la nubosidad ha impedido el registro completo de las emisiones de durante todo el día.

Al inicio del segundo trimestre no se registró actividad fumarólica, incrementándose para mediados del mes de abril con emisiones con alturas de 500 m.s.c. con dirección preferencial oeste, posteriormente la actividad se mostró leve incrementándose para la última semana de junio observándose emisiones de ceniza que alcanzaron los 1400 m.s.c. con dirección preferencial al Noreste y Este, la dispersión se extendió en un radio aproximado de 10 Km, reportándose caída de ceniza en poblado de Santa Rosa de Phara.

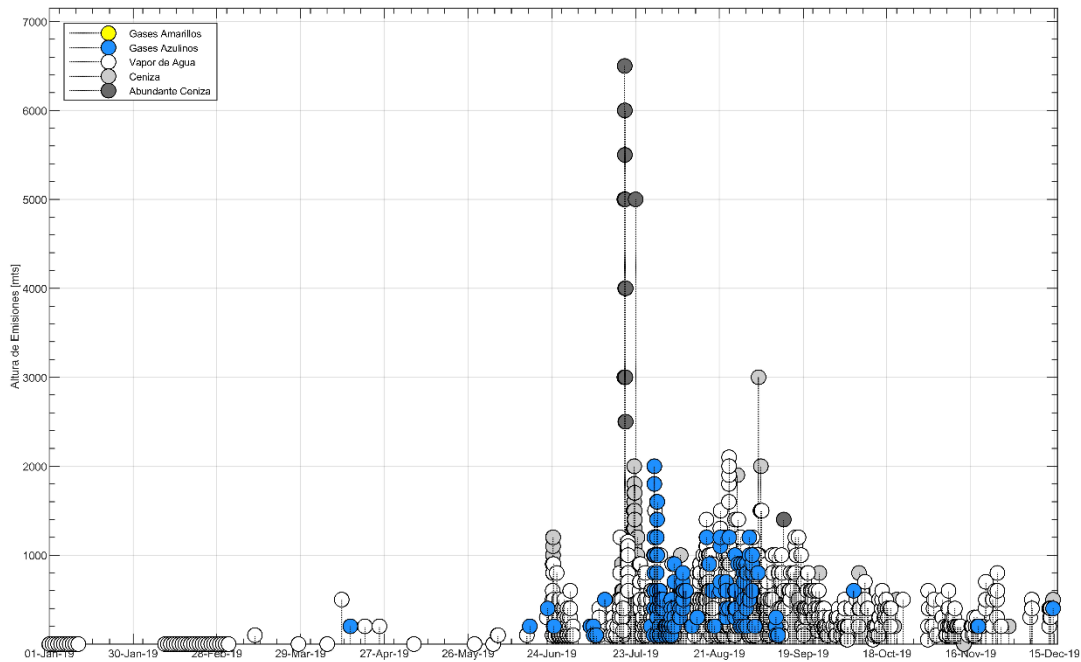


Figura 5.2. Altura de las emisiones del volcán Ubinas periodo 2019.

En el tercer trimestre en la primera semana del mes de julio se registraron emisiones de gases de color azulino que alcanzaron los 1000 m.s.c. con dirección preferencial Suroeste. El 19 de julio el volcán registró la mayor explosión registrada durante el presente año la cual estuvo acompañada de expulsión de gran cantidad de ceniza y gases las que se prolongaron por más de 24 horas, alcanzando una altura máxima de 6500 msc, teniendo una dirección preferencial al Sureste (SE) cubriendo de ceniza todos pueblos del valle de Ubinas con depósitos de hasta 7 mm de espesor. Posteriormente en el mes de agosto se tuvieron emisiones de color blanco y azulino de alturas moderadas alcanzado los 1900 msc (26, 27 de agosto) con direcciones Este y suroeste. Para el 3 de setiembre el volcán Ubinas registró una explosión que estuvo acompañada de la expulsión de gran cantidad de ceniza que alcanzó los 3000 m.s.c. dirigiéndose hacia el Sureste afectando a los pueblos del valle de Ubinas en los cuales se registró leve caída de cenizas. Para finales de setiembre las emisiones se presentaron de color blanco, alcanzando alturas inferiores a los 800 m.s.c. con direcciones Noreste y Suroeste.

Durante el cuarto trimestre (octubre - noviembre) el volcán Ubinas presentó un descenso considerable en su actividad, las columnas de las fumarolas alcanzaron alturas máximas de 800

m.s.c., de color blanquecina con direcciones Sureste y Noroeste, hasta la edición del presente informe no se tuvo cambios en ello y no espera todavía cambios significativos en la actividad.

5.2.2 Dirección predominante

Las direcciones de dispersión de las diferentes emisiones se ven influenciadas por la dirección de los vientos, los cuales son monitoreados por el SENAMHI. Basados en esta información y los datos de registro de las imágenes de las cámaras, se ha podido determinar la dirección preferencial de las emisiones (Figura 5.3), siendo esta NE – SO preferentemente para los meses de abril, mayo, junio y julio, agosto y NO - SE en los meses de julio, setiembre, octubre y noviembre.

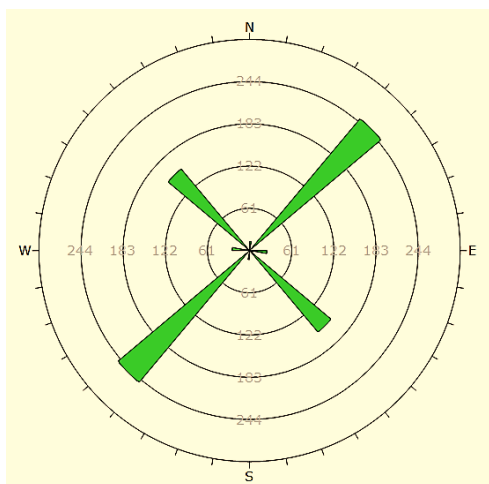


Figura 5.3. Diagrama de rosetas que muestra la dirección de las emisiones preferencialmente NE – SO.

5.2.3 Imágenes representativas de emisiones fumarólica

De las figura a la figura 5.4 a y b, se muestran vistas de las explosiones más representativas del volcán Ubinas para el año 2019.

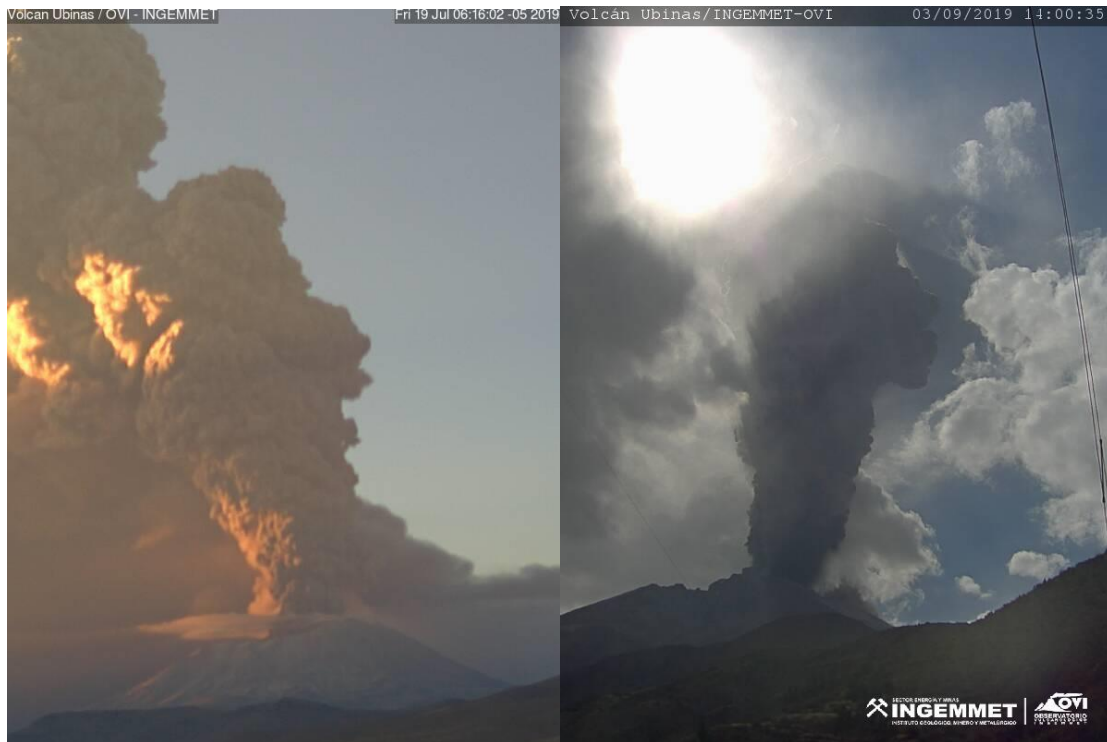


Figura 5.4. Vista de las explosiones más representativas del proceso eruptivo del volcán Ubina, a) explosión del 19 de julio que superó los 6500 m.s.c y b) Explosión del 3 de setiembre, con altura que superó los 3000 msc.



Figura 5.5. Vista del volcán Ubina del 24 de junio donde se observaron emisiones constantes con alturas de 1400 msc, fue premonitorio para la explosión ocurrida un mes después.

5.3 Vigilancia satelital

Durante el periodo del 2019 el uso de las imágenes satelitales ha permitido observar de forma global las diferentes emisiones producto del proceso eruptivo ocurrido en el volcán Ubinas.

Desde el 18 de junio el Ubinas presentó señales de actividad registrada a través de las señales sísmicas, no es hasta el 24 de junio donde se observaron emisiones constantes que se lograron visualizar por medio de las imágenes satelitales.

Siendo así, imágenes Sentinel 2 obtenidas del 24 de junio del 2019 permiten observar la dirección de la dispersión de la pluma de gases y cenizas producto de las emisiones constantes con dirección N y NNE, esta pluma tuvo un alcance de aproximadamente 40 Km como se aprecia en la Figura 5.6.

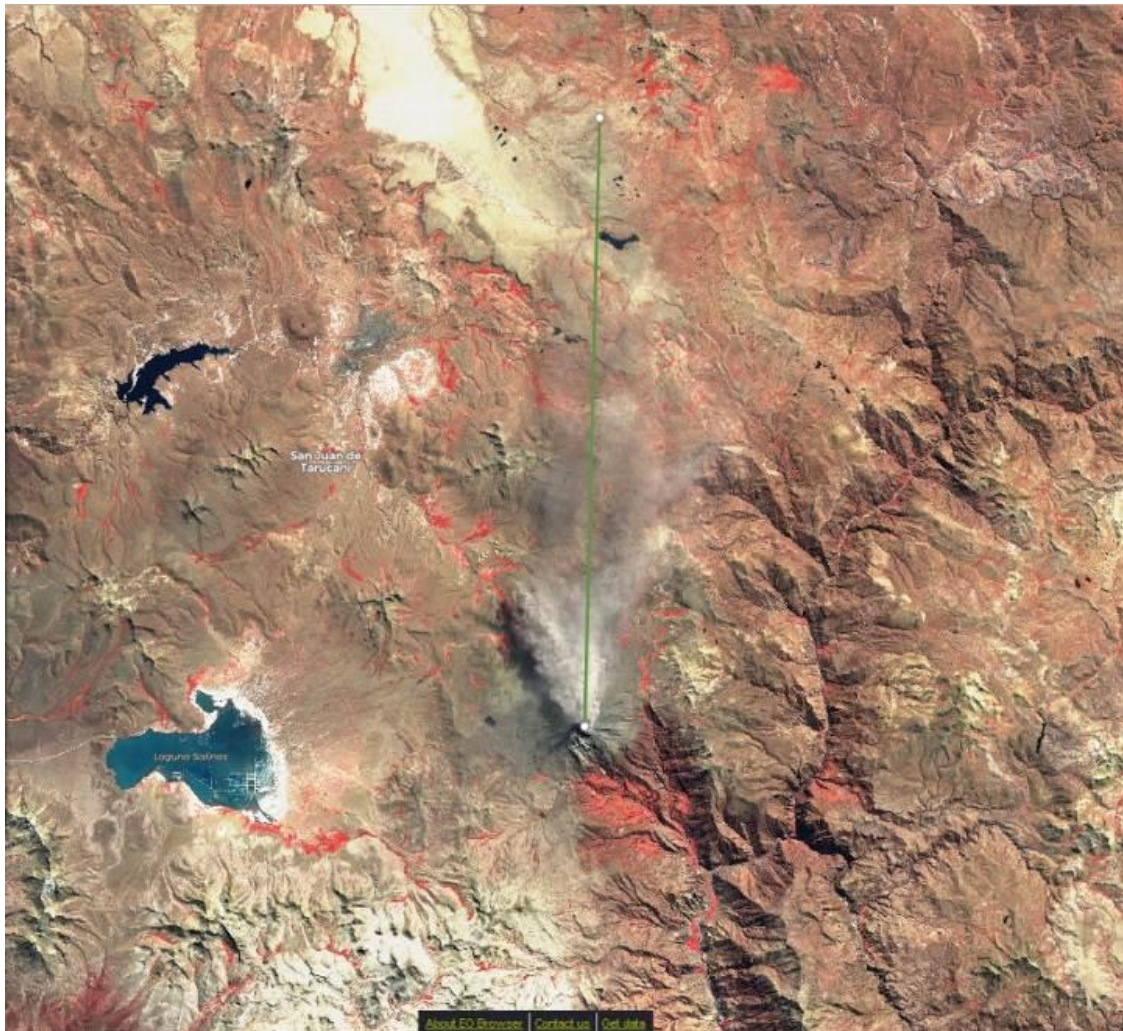


Figura 5.6. Imagen Satelital Sentinel 2 en falso color fecha de captura correspondiente al 24/06/2019. En esta se observa la dirección de la pluma alcanzó más de 40 km de distancia y se dirige al N -NNE.

En la explosión ocurrida el 19 de julio, donde las alturas de las columnas fumarolicas de cenizas alcanzaron los 6,500 m.s.c., las imágenes satelitales del volcán Ubinas de las diferentes agencias de administración de satélites (NOAA, CIRA y SENTINEL) permitieron observar que la pluma de ceniza dispersándose hasta la frontera de Bolivia, con una dirección predominantemente ESTE.

La Figura 5.7 de la agencia NOAA, muestra que la pluma alcanzó alturas máximas de dispersión de la ceniza de hasta 16 km en las partes más distales y concentraciones de polvo de ceniza de hasta 10 g/m³ en la parte media y más próxima al volcán y en los puntos más distales de hasta 1 g/m³.

La Figura 5.8 y Figura 5.9 son imágenes CIRA y SENTINEL en falso color respectivamente, muestran la pluma de las cenizas y su dispersión predominante al Este, además se observa una bifurcación de la pluma más pequeña con dirección de dispersión SE.

En la Figura 5.9 a, se una vista del cráter del volcán Ubinas mostrando la presencia de un cuerpo caliente cercano a la superficie que sería rezagos de la explosión del 19 de julio, en la Figura 5.11 se muestran imágenes planet Scope donde no se observan cambios visibles en la morfología del cráter antes y después del proceso eruptivo.

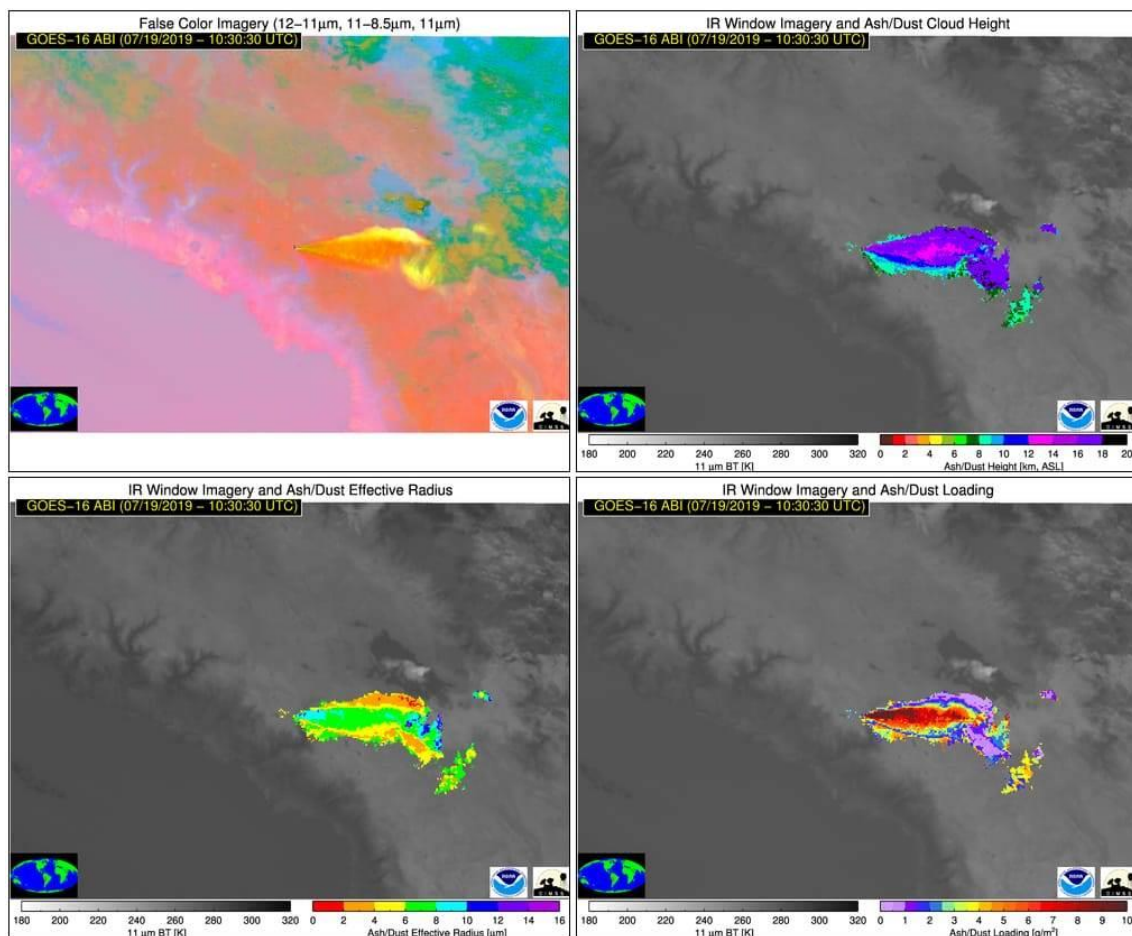


Figura 5.7. Imágenes satelitales de la agencia NOAA, del desplazamiento de la pluma de ceniza volcánica, a horas 05:10 a.m. (hora local).

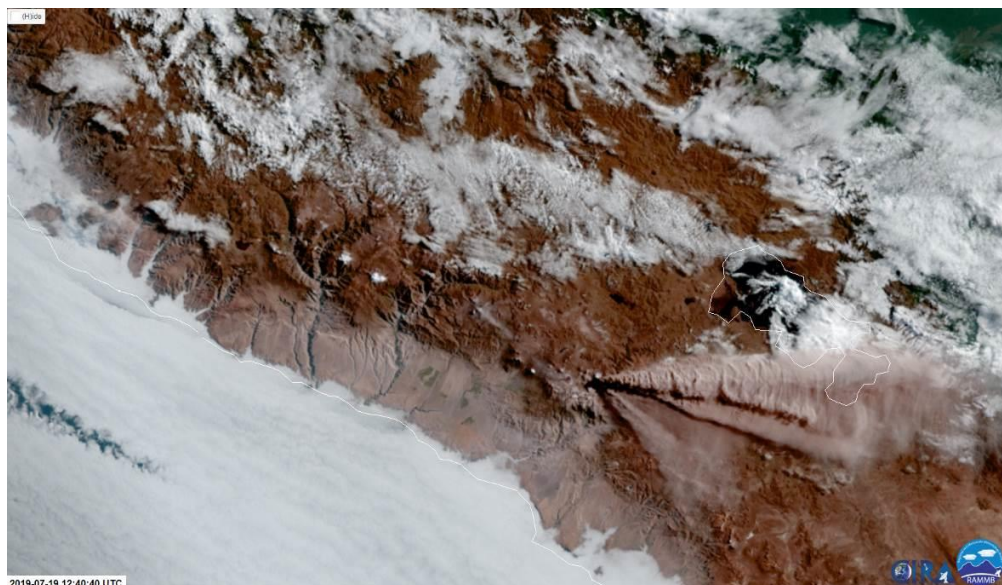


Figura 5.8. Imagen satelital CIRA, del 19 de julio del 2019. Se muestra la pluma volcánica siendo dispersada por el viento en dirección E - SE.

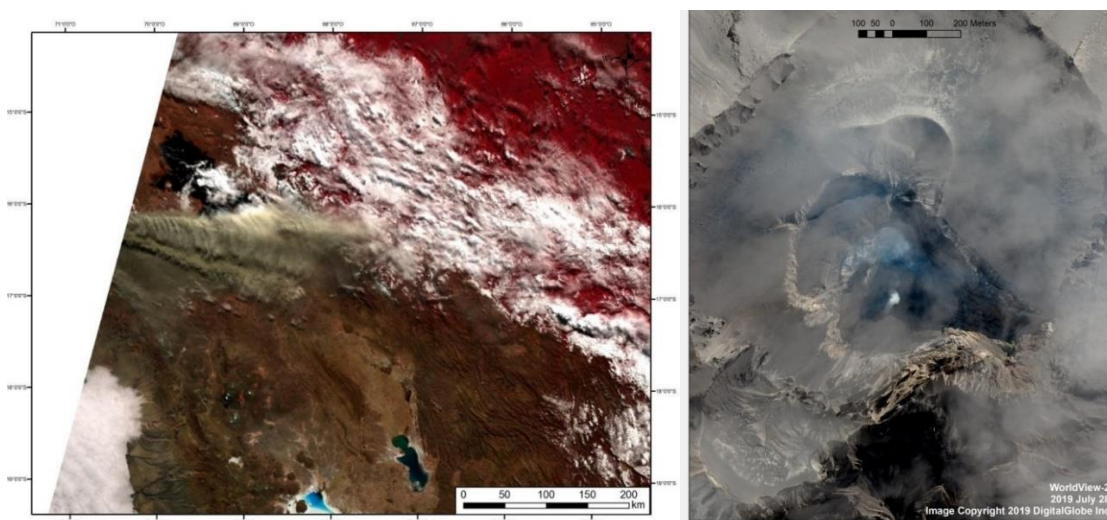


Figura 5.9. Imágenes satelitales del Ubinas, a). Imagen Sentinel del 19 de julio, b). Vista del cráter del Ubinas, Fuente USGS.

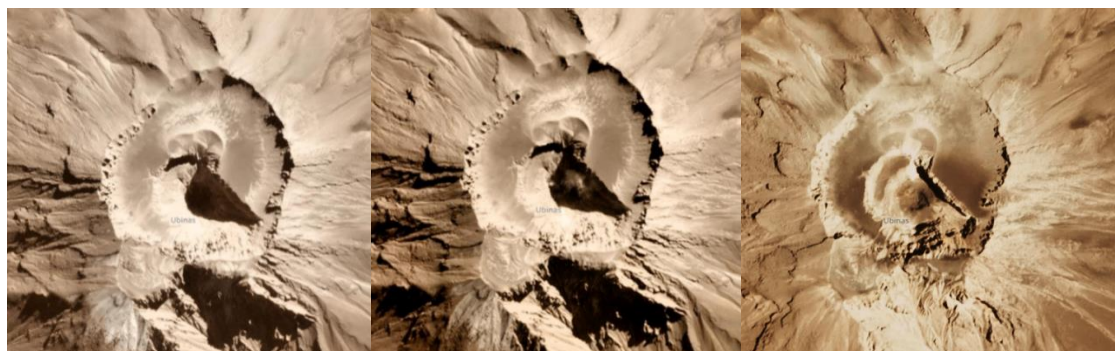


Figura 5.12. Imágenes Planet Scope del volcán Ubinas muestran un cráter despejado y sin actividad considerable no se observan cambios en el interior del cráter durante todo el año incluso después de las explosiones ocurridas, Cortesía Sociedad Geológica de Colombia.

5.3.1 Anomalías Térmicas

Anomalías termales detectadas por la plataforma MIROVA durante el 2019 muestra dos periodos de presencias de anomalías superficiales (Figura 5.12), el primero inicia el 22 de julio donde se registraron valores de potencia de radiación volcánica (VRP) de 11 MWatt, la cual fue decreciendo paulatinamente hasta finales de agosto, estas anomalías estarían vinculadas a la explosión del 19 de julio y se correlaciona con la presencia de un cuerpo caliente superficial como se muestra en la Figura 5.10, el segundo periodo se inicia mediados del mes de setiembre con un pico para el 22 de setiembre registrando una VRP de 7 MWatt mostrando un decaimiento progresivo hasta el 5 de noviembre que se podría correlacionar con la explosión del 3 de setiembre que alcanzó los 3000 m.s.c. desde esta fecha hasta la realización de este informe no se ha registrado anomalías térmicas en este volcán.

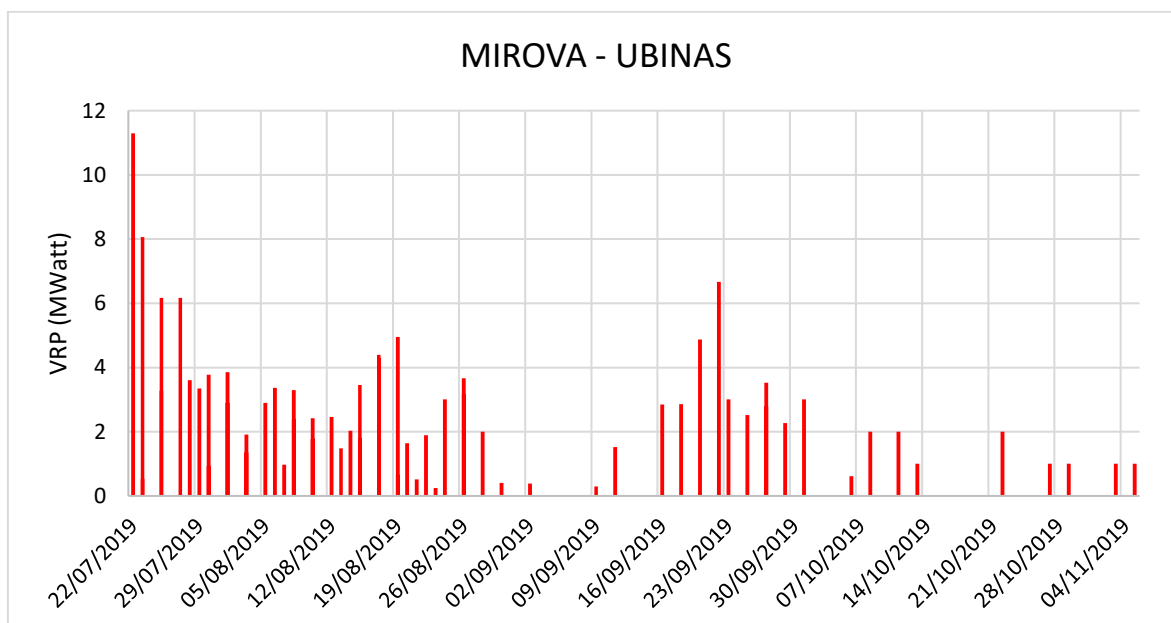


Figura 5.12. Anomalías térmicas detectadas por la plataforma MIROVA para el periodo 2019.

6 PRODUCTOS EMITIDOS

6.1 Red de cenizómetros

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) implemento una red de monitoreo y muestreo de ceniza con cenizómetros distribuidos en los alrededores del volcán Ubinas (Observe la red de cenizómetros en la Figura 6.1). Se instaló 24 cenizómetros entre julio y agosto del 2019, los cuales brindan información acerca de los espesores de ceniza acumulada emitida por el volcán Ubinas.

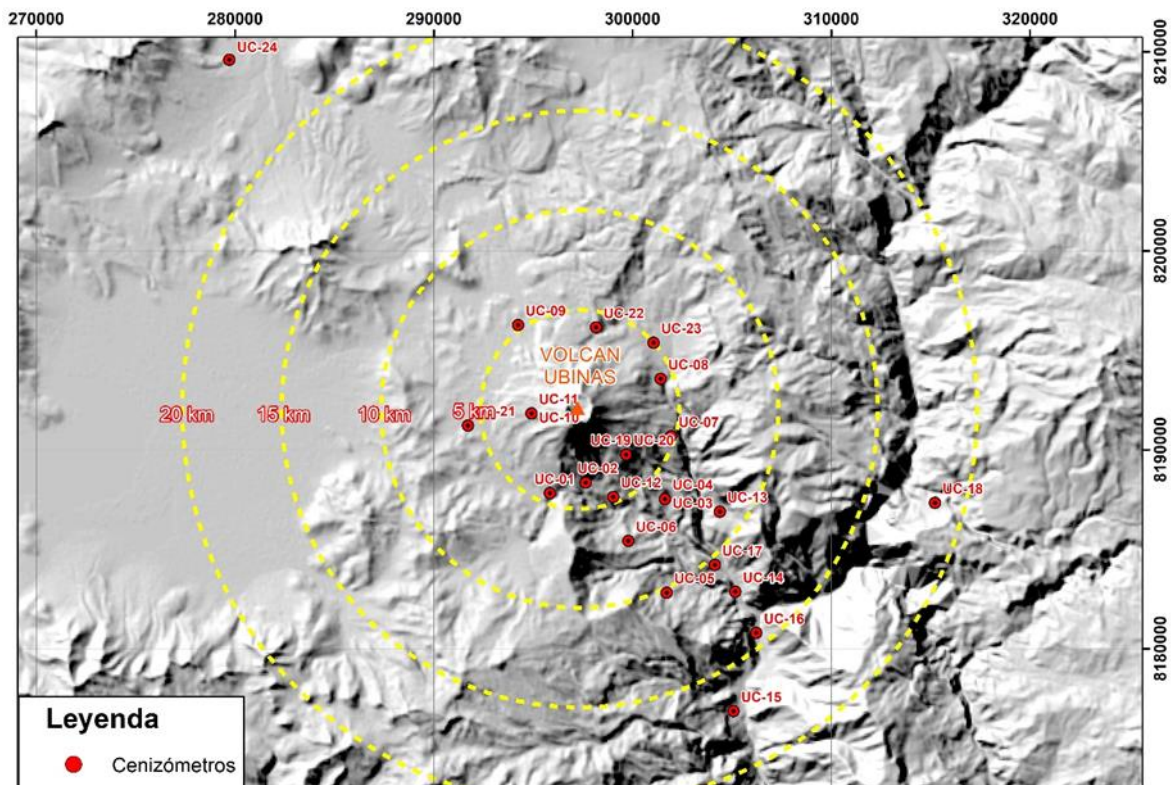


Figura 6.1. Mapa de ubicación de cenizómetros instalados alrededor del volcán Ubinas

6.2 Muestreo de Cenizas

Con el objetivo de obtener un muestreo sistemático, se instaló la red de cenizómetros en los alrededores del volcán. Los cenizómetros son dispositivos utilizados precisamente para medir espesores, densidad de área y densidad total de pequeños depósitos de cenizas (< 20 mm) como es el caso del volcán Ubinas. El objetivo de dichos cenizómetros es medir la acumulación de caída de ceniza que cae en un determinado lugar (Tabla 6.1 y Figura 6.2), para poder realizar un estudio posterior de dispersión de cenizas.

Tabla 6.1. Distribución y nomenclatura de los cenizómetros ubicados en el volcán Ubinas.

CODIGO	REFERENCIA	CODIGO	REFERENCIA
UC-01	QUEBRADA HACIA QUERAPI	UC-13	COLEGIO ESCACHA
UC-02	CARRETERA HACIA QUERAPI	UC-14	P.S. HUATAGUA
UC-03	UBINAS	UC-15	P.S.MATALAQUE
UC-04	UBINAS	UC-16	HUARINA
UC-05	PLAZA ANASCAPA	UC-17	SAN MGUEL
UC-06	SACOHAYA COLEGIO JOSE ENCINAS	UC-18	CHOJATA
UC-07	CARRETERA UBINAS ESTE	UC-19	UBN2
UC-08	CARRETERA UBINAS ESTE	UC-20	UBN2
UC-09	CARRETERA UBINAS OESTE	UC-21	LAGUNA PISCOCOCHA
UC-10	UBN4	UC-22	CHIMIN
UC-11	UBN4	UC-23	NE UBINAS
UC-12	QUERAPI	UC-24	SAN JUAN DE TARUCANI



Figura 6.2. Tipo y característica del cenizómetro, ubicado en la azotea de una vivienda en el pueblo de Ubinas.

6.3 Análisis por Lixiviación

Las cenizas en las columnas eruptivas pueden emitir y depositar compuestos volátiles como azufre, halógeno y especies metálicas. Posteriormente, estos compuestos al ser lixiviados liberan cargas pesadas en los suelos y fuentes de agua, dañando así la vegetación, el ganado y personas (Witham et al., 2005).

6.3.1 Metodología

El método actual para cuantificar volátiles adsorbidos en cenizas y en plumas volcánicas es lixiviar las muestras de cenizas depositadas con soluciones conocidas y analizar el lixiviado en busca de iones y elementos. Según Withman (2005) los estudios de lixiviación se realizan por cuatro razones principales:

- (1) Para ser utilizado como un proxy para las concentraciones de gases de la pluma volcánica.
- (2) Investigación de los impactos ambientales (incluidos los efectos en el suelo, los cultivos, las algas, el agua de los océanos, la nieve y la salud humana).
- (3) Investigación de la química y procesos de adsorción.
- (4) Determinar los orígenes del material adsorbido.

Técnica: Para realizar el muestreo de la ceniza para los análisis de lixiviación es necesario seguir los siguientes pasos, los cuales, fueron establecidos según el protocolo elaborado en dos días de taller en el Instituto de peligros, riesgo y resiliencia, Universidad de Durham, UK, junio del 2011:

- Recoger las cenizas en bandejas de plástico limpias cuando sea posible. Cuando no haya bandejas disponibles, intente recolectar desde una superficie relativamente plana, limpia, seca y dura, como peldaños descubiertos o un techo plano. Evite los lugares donde es probable que se hayan acumulado otras sales o polvo en la superficie. Tenga en cuenta la posibilidad de contaminación de las superficies de las que se tomaron muestras.
- Si puede recoger una muestra del área medida, registre el grosor de la caída de ceniza, las dimensiones del área de la muestra y el peso de la muestra.
- Si el depósito de ceniza parece heterogéneo (con respecto a características tales como el tamaño del grano, color, etc.), y si es logísticamente posible, le recomendamos que recopile varias muestras de un solo sitio, luego mezcle y homogenice las submuestras para reducir la variabilidad. La colección de submuestras comparables se puede realizar utilizando un recipiente de plástico de dimensiones conocidas.
- Trate de recolectar ceniza seca que no haya estado en contacto con el agua, si es posible. Siempre registre el estado de la muestra, particularmente si se ha mojado o no antes de la recolección.

Siguiendo con los parámetros antes mencionados se procedió a tomar muestras de ceniza en los alrededores en el pueblo de Ubinas de las explosiones de los días 19 y 22 de julio emitidas por el volcán Ubinas. Se pudo recolectar 2 muestras (Tabla 6.2 y Figura 6.2), cuya descripción se observa en el siguiente cuadro:

6.3.2 Datos

Los datos que se muestran en la Tabla 6.2 Son aquellas recolectado después del proceso eruptivo del 19 al 22 de julio.

Tabla 6.2. Resultados de la ceniza lixiviada, periodo de muestreo entre el 19 al 22 de julio.

Muestra	HCO3	F-	Cl-	SO4	Na	Mg	K
UBI-19-10	233.33	266.67	156.67	6543.33	433.33	46.67	563.33
UBI-19-11	190	594.01	345	814.01	148.5	73	88.5

Ca	Sr	Li	SiO ₂	Al	Ba	Cd
1893.33	33.25	0.17	110	179.23	10.77	0.03
535.5	6.21	0.1	62	144.36	0.98	0.05

6.3.3 Interpretación

Las concentraciones de metales, fluoruros, sulfuros, nitratos, etc., son suficientemente altas para otorgar al agua un sabor metálico muy notorio para la gente y los animales de los alrededores del volcán, si estas cenizas entrarían en contacto con las principales fuentes de agua de la zona.

La mayoría de los elementos no representan un peligro a la salud; sin embargo se observa que la concentración del fluoruro encontrada en la ceniza emitida el 20 de julio posee un alto contenido de este halógeno y la emitida el 19 de julio se encuentra en los valores máximos permitidos por la Organización Mundial de la Salud, es por lo cual, que en lugares donde hay mucha caída de ceniza, acumulación por erupción o continuas emisiones de las mismas, que tengan la característica de la ceniza emitida el 20 de julio quizás puede ocasionar graves problemas a la salud (Fluorosis dental); por otro lado la concentración de SO₄, fue es alta el 19 de julio (Figura 6.9) por lo cual esta es liberada en forma de gas al momento de la caída de la ceniza afectando a las vías respiratorias por lo cual es recomendable el uso de mascarillas.

6.4 Componentes y Granulometría

Las cenizas emitidas desde julio del 2019 contienen principalmente líticos juveniles, cristales de plagioclasa y una pequeña cantidad de partículas oxidadas e hidrotermalizadas (Figura 6.3 y 6.4).

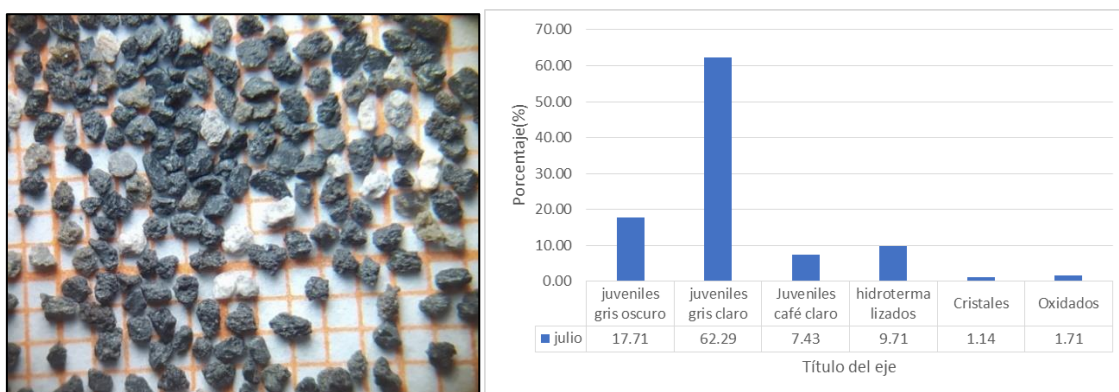


Figura 6.3. a). Muestra de ceniza del 19 de julio, quebrada Vulcanmayo b). Grafica de porcentajes de partículas de muestras de ceniza vs componente.

Se observa un gran porcentaje de líticos no juveniles hidrotermalizados, esto debido a la energía de las explosiones, estas han extraído material del conducto en su ascenso e incorporándolo a la caída piroclástica.



Figura 6.4: a) Lítico juvenil gris oscuro; b) Lítico juvenil gris Claro escoria; c) Lítico no juvenil Hidrotermalizado

6.4.1 Distribución Granulométrica y Análisis de Parámetros Estadísticos.

El objetivo del análisis granulométrica es conocer sus condiciones de sedimentación mediante la cuantificación de los parámetros granulométricos, que nos permiten establecer su grado de selección, distancia recorrida, niveles de energía, etc. (Spalletti, 1980).

6.4.1.1 Metodología

El método utilizado para el análisis granulométrico, consiste en hacer pasar una muestra de 2 kg a través de una serie de mallas (tamices) con diferentes diámetros de apertura, que van desde - 31.5 mm hasta 0.032 mm. El tamizado se realizado de forma manual. Las proporciones retenidas en cada malla (“refus”), son pesadas en una balanza de precisión 0.01 g y los resultados son anotados en una libreta (Tablas 6.3). Luego los tamices son limpiados cuidadosamente para evitar contaminaciones entre muestras.

PRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Para llevar a cabo el análisis estadístico, previamente se convierte los diámetros de las partículas expresadas en milímetros (mm) a unidades Phi (Φ). La escala phi, fue definida por Krumbein en 1934 como el Logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano en milímetros:

Φ (Φ). = $-\log_2 N$, donde: N = tamaño de grano en mm ó la apertura de cada malla en mm.

Los datos obtenidos son representados gráficamente en histogramas, donde el eje Y van los diámetros de las partículas que están expresadas en unidades (Φ), mientras en que el eje X van los pesos en cada fracción retenida expresadas en porcentaje (%). Para graficar los histogramas

se utilizó el software SFT Kware de acuerdo con el método de fragmentación y transporte secuencial (Sequential Fragmentation SFT por su sigla en inglés).

Tabla 6.3. Ensayos granulométricos del depósito.

Tamiz (um)		Sab-19-36			Sab-19-36			Sab-19-36		
		Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.	Peso	Peso	Peso Acum.
(mm)	Phi	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)	(gr)	(%)	(%)
500	1	138.34	80.97	80.97	21.30	16.40	16.40	51.29	38.10	38.10
250	2	26.97	15.79	96.76	87.75	67.56	83.96	61.80	45.91	84.01
180	2.5	2.04	1.19	97.95	4.14	3.19	87.15	1.07	0.79	84.81
125	3	0.71	0.42	98.37	4.11	3.16	90.31	4.45	3.31	88.11
90	3.5	0.35	0.20	98.57	1.51	1.16	91.48	4.97	3.69	91.81
63	4	0.36	0.21	98.78	1.86	1.43	92.91	3.90	2.90	94.70
32	4.5	0.39	0.23	99.01	3.28	2.53	95.43	2.85	2.12	96.82
<32	5	1.69	0.99	100.00	5.93	4.57	100.00	4.28	3.18	100.00
Total		170.85			129.88			134.61		

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Los parámetros estadísticos según Folk (1965) e Imman (1952), incluyen la mediana (Md), media (Mz), desviación estándar ($\sigma\emptyset$), asimetría (SkG) y curtosis (KG).

Tabla 6.4. Cuadro resumen de los parámetros granulométricos de las muestras analizadas.

Código	Mediana (Md) Inman	Media (Mz) Folk	Desviación Estándar (σ) folk	Asimetría (SkI) Flok	Kurtosis (KG) Flok
Ubi-19-05	0.55	0.58	0.53	0.17	1.17
Ubi-19-07	1.45	1.47	0.90	0.25	1.97
Ubi-19-25	1.15	1.22	1.04	0.27	1.44

Mediana (Md). Según Folk (1965), Es el punto medio de la distribución o el tamaño de grano para el que el 50% de la muestra es más fina y el 50 % más gruesa.

$$Md \emptyset = \emptyset 50.$$

Media (Mz). Según Folk (1965), es el tamaño promedio-aritmético, de la distribución de granos. Para el cálculo de la media (de manera gráfica) se utiliza la siguiente fórmula:

$$Mz = (\emptyset 16 + \emptyset 50 + \emptyset 84) / 3$$

Desviación estándar gráfica ($\sigma\emptyset$). Según Folk (1965) Corresponde al coeficiente de la dispersión o sorteo, refleja la variación del tamaño de grano adentro de la población. El índice de sorteo se define mediante la siguiente escala:

Clasificación ($\sigma\phi$)	Depósito piroclástico
< 0,35	Muy bien sorteado
0,35 - 0,50	Bien sorteado
0,50 - 0,71	Moderadamente bien sorteado
0,71 - 1	Moderadamente sorteado
1,0 - 2,0	Mal sorteada
2,0 - 4,0	Muy mal sorteado
> 4	Extremadamente mal sorteado

Asimetría (SkI). Según Folk (1965) Un valor positivo indica el desvanecimiento de la curva a la derecha de la media, con un exceso de partículas finas. Un valor negativo indica un desvanecimiento de la curva a la izquierda de la media, con un exceso de gruesos. Los resultados se interpretan en base a los siguientes intervalos.

Kurtosis (KG). Las curvas se denominan Leptocurticas o puntiaguda si la porción central de la curva es mejor seleccionada. Si ocurre lo contrario la curva es platicurtica o achatada. Una kurtosis con valor de 1 indica que la curva tiene distribución log normal; una aproximación a esta distribución da como resultado una curva mesocurtica.

Clasificación	Kurtosis
< 0.67	Muy platicúrtica
0.67 - 0.90	Platicúrtica
0.90 - 1.11	Mesocúrtica
1.11 - 1.50	Leptocúrtica
1.50 - 3.00	Muy leptocúrtica
>3.00	Extremadamente leptocúrtica

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Mediante los resultados de los parámetros estadísticos obtenidos, se puede evaluar las características de generación y emplazamientos de 3 muestras dentro del área de estudio.

- La muestra Ubi-19-05 tiene una distribución unimodal (Figura 6.5 y tabla 6.3). La mediana (Md) presentan un valor de 0.55 ϕ , mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 0.58 ϕ . El depósito es moderadamente sorteado (σ), con asimetría positiva (SkI) y curva Leptocúrtica.

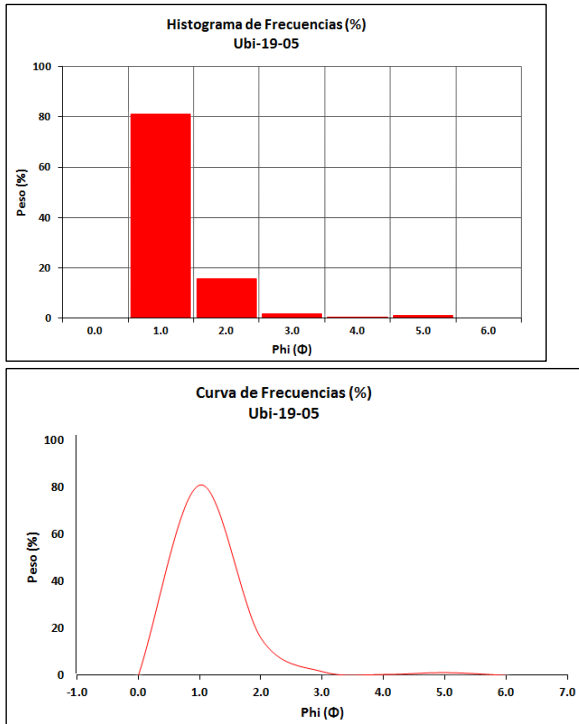


Figura 6.5. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-05.

- La muestra Ubi-19-07 tiene una distribución bimodal (Figura 6.6 y tabla 6.3). La mediana (Md) presentan un valor de 1.45 \emptyset , mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 1.47 \emptyset . El depósito es moderadamente sorteado (σ), con asimetría positiva (Skl) y curva muy Leptocúrtica.

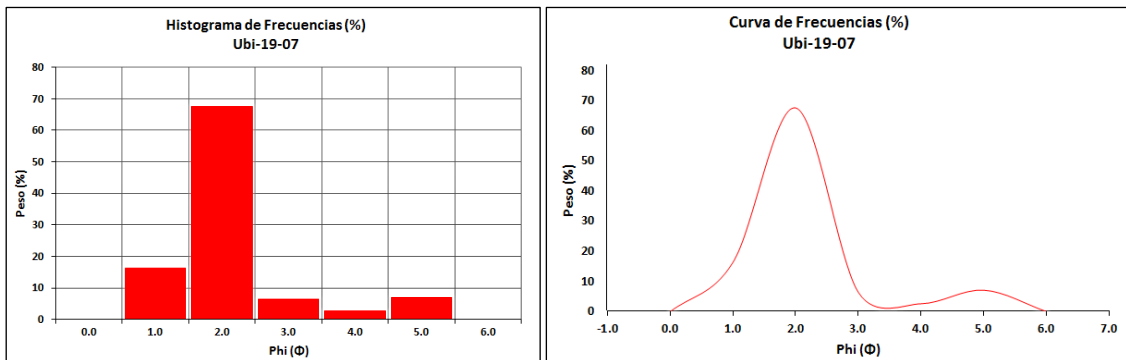


Figura 6.6. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-07.

- La muestra Ubi-19-25 tiene una distribución bimodal (Figura 6.7 y tabla 6.3). La mediana (Md) presentan un valor de 1.15 \emptyset , mientras que el tamaño de promedio de grano (Mz) es de 1.22 \emptyset . El depósito presenta un mal sorteo (σ), con asimetría positiva (Skl) y curva Leptocúrtica.

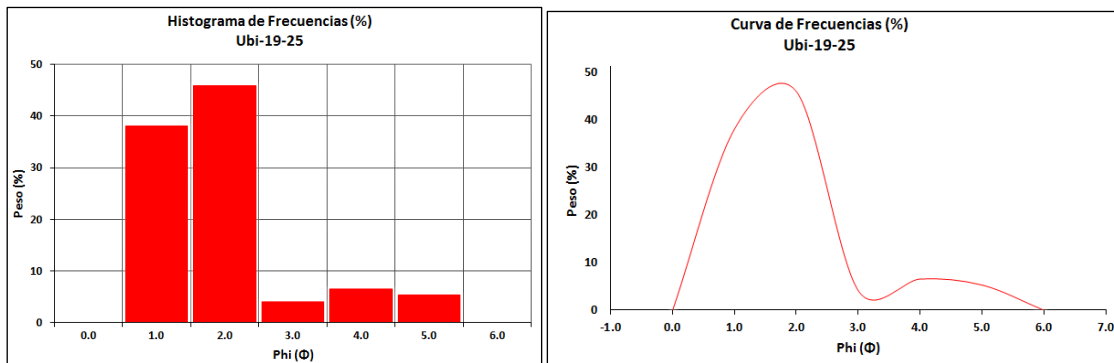


Figura 6.7. Histograma y curvas de frecuencia de la muestra UBI-19-25.

6.4.1.2 Interpretación de los Parámetros Estadísticos

Los depósitos presentan curvas con tendencia unimodal y bimodal, Esto indica que la sedimentación del tamaño de partículas es variable según la distancia al cráter, influenciada por la dirección del viento (sotavento). La agregación de partículas en el momento de la sedimentación da origen a distribuciones bimodales (Biass and Bonadonna, 2011).

La mediana (Md) presenta valores entre en 0.55 a 1.45 ϕ y la media 0.58 a 1.47 ϕ . Esto indica que mientras más alejado del cráter la mediana y media se acerca a los valores positivos (partículas finas), esto se debe a la dispersión de las partículas a causa de la dirección de viento (sotavento).

El depósito está moderadamente sorteado a mal sorteado, lo que indica un mejor ordenamiento de las partículas por acción del viento (sotavento) generando una sedimentación de partículas de forma homogénea, así también influenciada por el cambio de dirección del viento ocurrida en zona distal.

La asimetría (SkI) en el depósito presentan tendencia hacia los finos, estos debido a la densidad de las partículas, fuerza e influencia seleccionadora del viento paralela al eje de dispersión.

Las curvas presentan una variación entre Leptocúrtica a muy Leptocúrtica, que indica una buena selección del depósito.

6.5 Petrografía de Balísticos

Los proyectiles balísticos fueron eyectados durante las explosiones del 19 al 22 de julio, estas ocurren debido a la súbita descompresión de los gases atrapados debajo del <<tapon de lava>> del conducto. Los balísticos emitidos corresponden a bloques juveniles de lava (vítreas y escoriaáceas) de composición andesítica que miden entre 80 y 60 cm de diámetro formando cráteres de impacto de diámetro entre 4 y 1.8 m; estos balísticos fueron recolectados entre 50 y 20 m del cráter del volcán Ubinas.

El estudio petrográfico se realizó sobre un fragmento de lava emitido entre el 19 y 22 de julio 2019. Macroscópicamente es un bloque de lava escoriaea de composición andesítica, con cristales de plagioclasa de hasta 2 mm, 5 % de vesículas (Figura 6.8 a).

Estas rocas contienen fenocristales (15%), microfenocristales y matriz (60%), y vesículas (5%). Se distinguen fenocristales de plagioclasas de forma alargada con hábitos subhedrales, de textura tamiz y bordes de crecimiento lo cual indica una composición diferente en el sistema, teniendo un tamaño máximo de 1400 μm . Los fenocristales de anfíboles presentan bordes gruesos de oxidación (Ti-Fe), que representa una inestabilidad en la cámara magmática, teniendo un tamaño máximo de 300 μm . Además, presentan ortopiroxenos (900 μm) y clinopiroxenos (250 μm), (Figura 6.8 b, c, d y e).

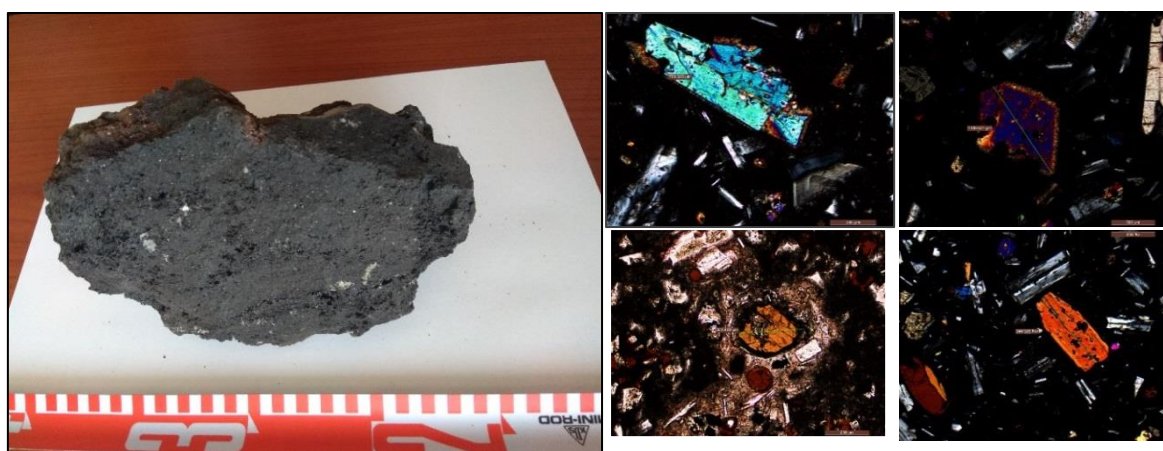


Figura 6.8. a) Muestra de Proyecto Balístico Sección delgada Balístico b) Fenocristal de clinopiroxeno; c) Fenocristal de Ortopiroxeno; d) Fenocristal de Olivino característico de otras erupciones en el volcán Ubinas; e) Fenocristal de anfíbol con borde oxidado.

Geoquímica

Se ha realizado el análisis geoquímico de elementos mayores y trazas de los depósitos de caída piroclástica y fragmentos balísticos recolectados de las explosiones entre el 19 y 22 de julio; y 03 de setiembre del 2019. Los métodos empleados para el análisis de elementos mayores y trazas fueron: ICP-OES, ICP-OES/AAS e ICP-MS.

La composición química de los productos emitidos (Ceniza, Lapilli y balísticos) por el volcán Ubinas, de acuerdo a la clasificación internacional, el diagrama de Total de alcalinos vs Sílice, de Le Bas et al., 1986 (TAS), se observa La composición de lapilli de escoria es andesítica (56-58 wt. % SiO_2 ; 6-8 wt. % K_2O) (Figura 6.9), mientras que los balísticos tienen una composición andesítica (55-57 wt. % SiO_2 ; 2-3 wt. % K_2O), este resultado ha sido comparado con la composición del periodo eruptivo 1667, 2006, 2014 del volcán Ubinas (Rivera, 2010), indica que los actuales productos presentan una similitud con los productos emitidos en anteriores erupciones (Figura 6.10). Esto sugiere que los magmas actuales del Ubinas provienen de una misma fuente y son probablemente gobernados por los mismos procesos magmáticos que los productos emitidos en anteriores erupciones (Mariño et. al., 2011).

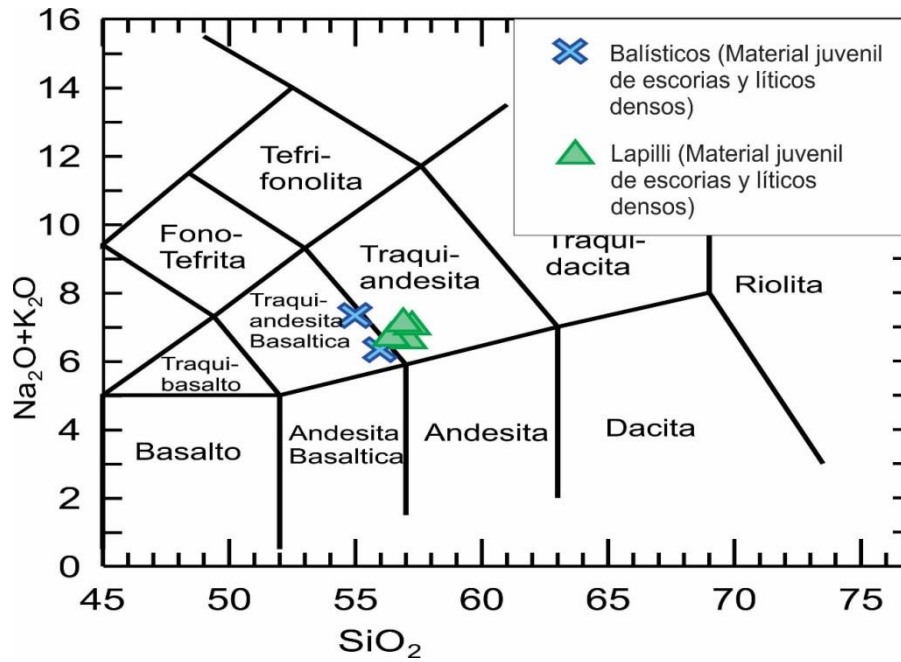


Figura 6.9: Diagrama de clasificación de los productos emitidos (material juvenil de escorias y líticos densos) en 2019 por el volcán Ubinas. Le Bas et. al., (1986).

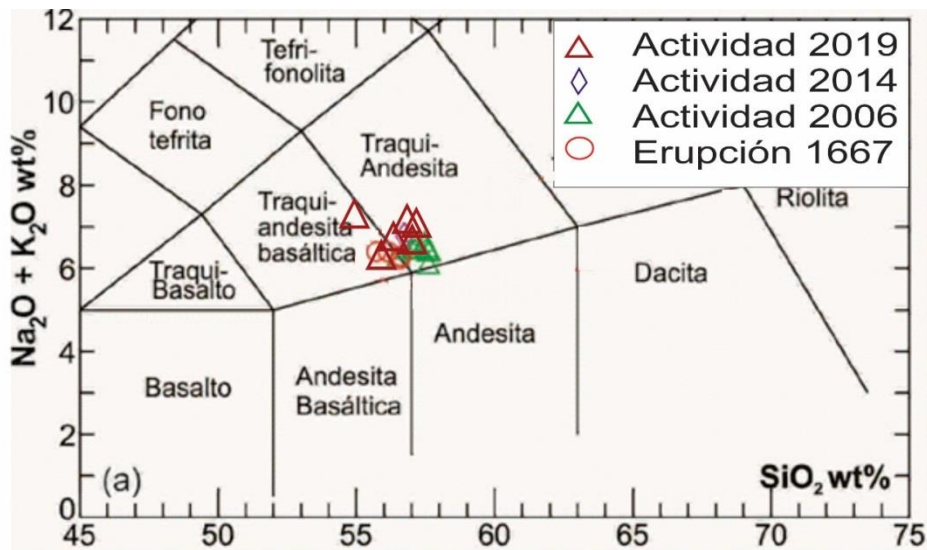


Figura 6.10. Diagrama de TAS; comparación de los productos emitidos en 1667, 2006 y 2014 con el actual proceso (2019).

Por otro lado, en el diagrama K_2O en función de SiO_2 de Pecерillo y Taylor (1976), se observa que los productos emitidos pertenecen a la serie Calcoalcalina rica en potasio (Figura 6.12).

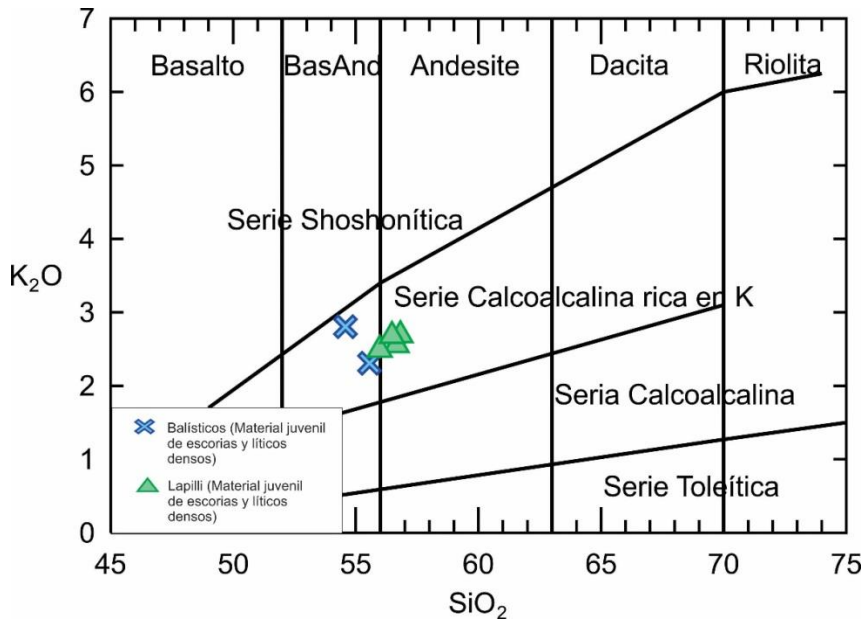


Figura 6.11. Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976), de los productos emitidos en 2019 por el volcán Ubinas que muestran contenido de potasio es alto.

6.6 Medida de espesores IN SITU

Según los datos de campo, los productos emitidos por el Ubinas corresponden a fragmentos de material volcánico de ceniza (tamaño menor de 2 mm) y lapilli (tamaño de hasta 2.5 cm) de diámetro que corresponden a material juvenil (fragmentos densos grises) y en menor proporción material hidrotermalizado (coloración blanquecina). Desde luego los fragmentos grandes cayeron en el valle de Ubinas, afectando a los poblados de Querapi, Tonohaya, Sacuhaya, San Miguel, Escacha; y el material más fino fue dispersado a zonas más alejadas de Ubinas: Anascapa, Huatagua, Huarina, Matalaque, Candagua, Chojata, Lloque y Yalagua. Estos tres últimos están ubicados a más de 30 km de distancia del volcán. Según las imágenes satelitales las cenizas suspendidas en el aire viajaron a más de 180 km del volcán atravesando las regiones de Moquegua y Puno, en dirección a Bolivia.

En inmediaciones del volcán se tomaron espesores del depósito de caídas de ceniza y lapilli (Figura 6.12). En Querapi se reportó 1 mm de espesor, en la quebrada Vulcanmayo 8 mm (Figura 6.13 a), en Ubinas 7 mm, Escacha 3 mm (Figura 6.13 b), San Miguel 4 mm, Huatagua 3 mm, Huarina 2 mm y Matalaque 1 mm. Cabe resaltar que, los fragmentos de mayor tamaño se registraron en el pueblo de Ubinas; también se midieron espesores a 30, 40 y 50 km (Figura 6.14) de distancia del volcán Ubinas teniendo medidas de hasta 1 a 0.5 mm.

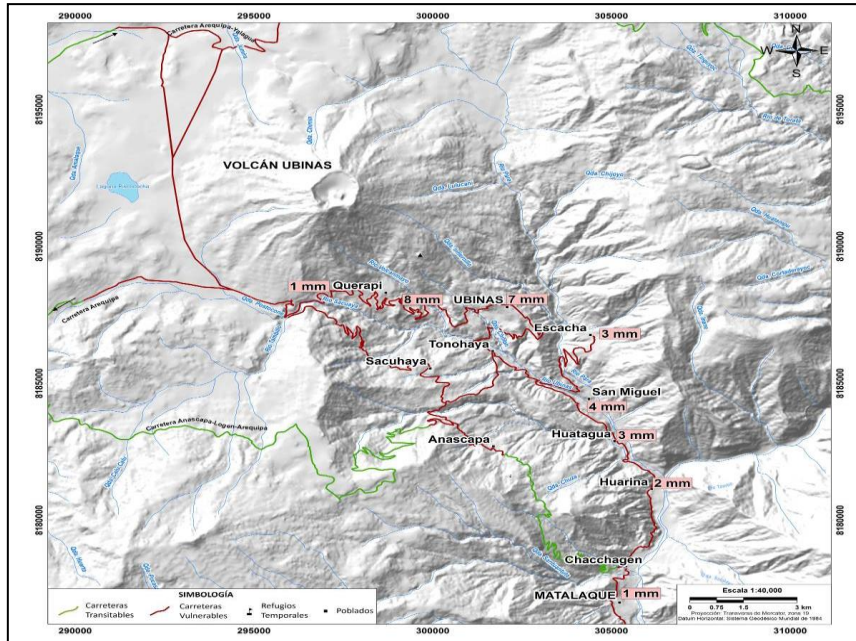


Figura 6.12. Mapa de espesores medidos in situ al sur-este del volcán Ubinas.



Figura 6.13. Registro de mediciones de espesores de caída de ceniza a) Sector Escacha, b) Sector Vulcanmayo

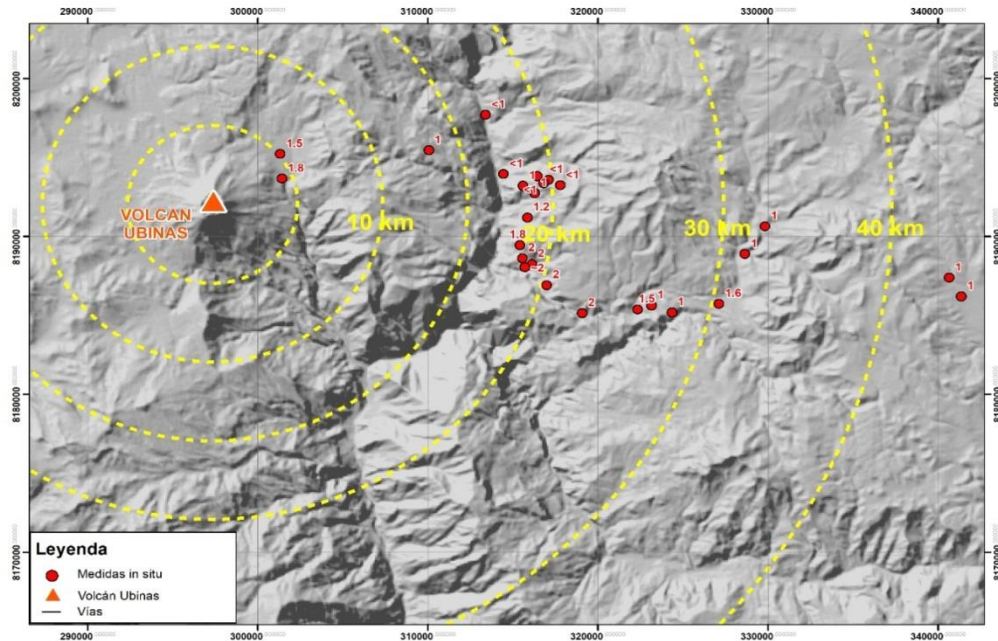


Figura 6.14. Mapa de registro de espesores medidos al Este del volcán Ubinas.

El día 22 de julio se instaló el cenizómetro UC-03 en el poblado de Ubinas (Figura 6.15), posterior a esto se dio la explosión a las 11:25 pm, se pudo recolectar la caída de ceniza en el cenizómetro por un periodo aproximado de 35 minutos, tiempo que duro la explosión y emisión de ceniza, recolectando 0.2 mm, teniendo un peso de 14.70 gr, una densidad de afectación por área de 268 gr/m^2 (Tabla 6.6).



Tabla 6.6. Datos de caída de ceniza en el pueblo de Ubinas

UBINAS	22/07/2019
Espesor	0.2 mm
Área del Cenizómetro	0.05474 m^2
Peso de la muestra	14.70 gr
Densidad por área	268.5 gr/m^2
Densidad del depósito	1342 kg/m^3

Figura 6.15. Cenizómetro UC-03, recolectado 0.2 mm de caídas de cenizas

6.7 Mapa de Isópacas

Entre el 19 y 22 de julio del presente año se han realizado medidas de espesores de caída de cenizas en el sector sur-este del volcán Ubinas determinando que entre 5 a 15 km (Figura 6.5), hay espesores de 8 a 1 mm en la quebrada vulcanmayo y en el poblado de Matalaque respectivamente; también se han realizado medidas de espesores de ceniza en el sector Este, pluma volcánica se desplazó hasta la frontera con Bolivia teniendo medidas entre 2 a 0.5 mm (Figura 6.8).

Estos resultados han permitido elaborar un Mapa de Isópacas (un mapa de isópacas consiste en líneas que une puntos de igual espesor de un depósito) de la ceniza acumulada desde enero hasta el mes de agosto, donde se indica que la dirección predominante de la dispersión y caída de ceniza es hacia el sureste (Figura 6.16)

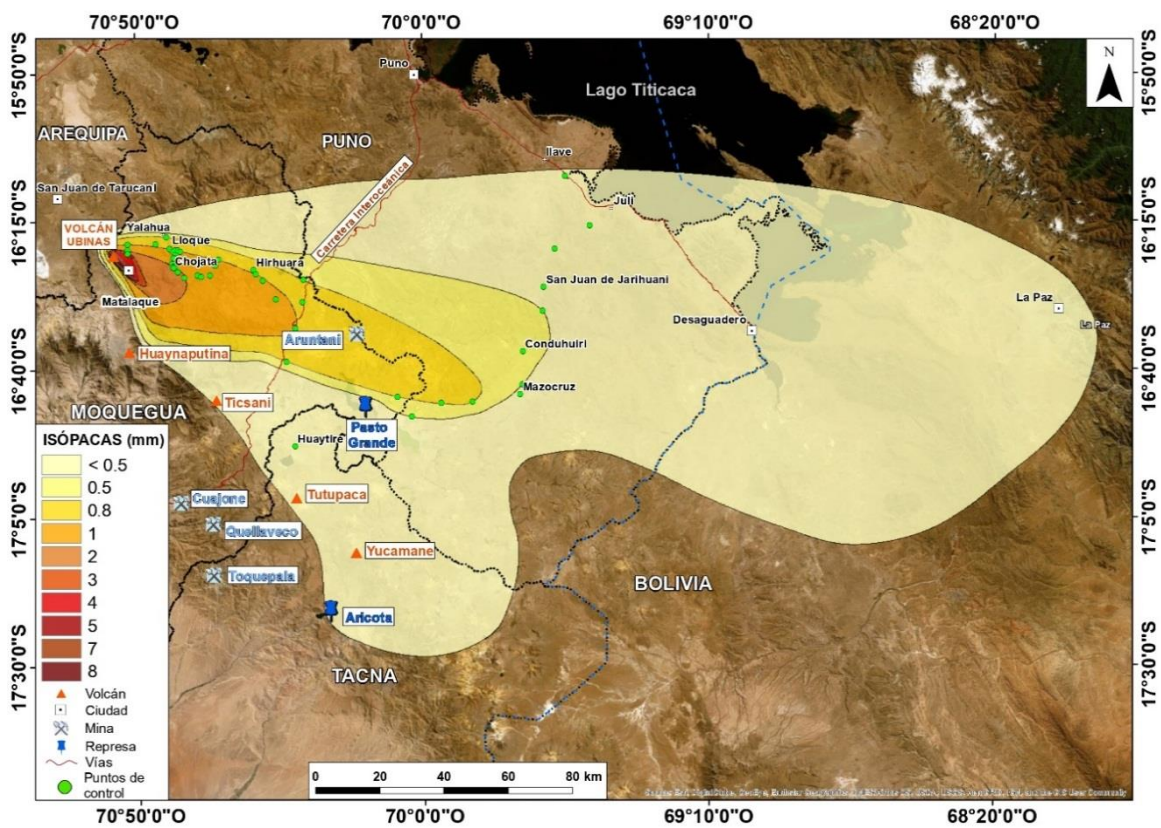


Figura 6.16. Mapa de isópacas de caída de cenizas de la erupción del Ubinas, iniciado en junio del 2019, las elipses representan los espesores de isópacas medidos en campo.

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo trata de análisis la actividad del volcán Ubinas durante el periodo 2019, con resultados mostrados en la Figura 7.1, que describe desde una perspectiva multidisciplinaria referido a cada técnica, geodésico (Figura 7.1 b), química (Figura 7.1 c), sísmico (Figura 7.1 d), visual (Figura 7.1 e), basado al modelo conceptual geológico del Ubinas (Figura 7.1 a), para el que se ha definido cuatro etapas:

Febrero a Marzo -Etapas Erupción Freática: Caracterizado por mantener niveles de actividad baja, para principios de enero se registran eventos sísmico LP en número hasta de 7 eventos por día durante un mes, así como eventos sísmico Volcano-Tectonicos (VT) de hasta 5 eventos por día (2 de febrero, Figura 7.1 d), decreciendo gradualmente, probablemente relacionado con periodos de perturbaciones de presión transitorios de los flujos del fluido magmático con interacción con un descenso del sistema hidrotermal en profundidad, en cuanto a las series de tiempo de la línea base UBGW-UBHU evidencian un periodo de estabilidad en la deformación, Así mismo las emisiones de SO₂ medidos por el scanner DOAS (UBD1 y UBD2) mostraron valores de pequeños a moderados, con un máximo de 1342 TN/día (13 de febrero), a su vez las cámaras ópticas (USJT, UPUB y UPUK) no registraron emisiones de gases volcánicos (Figura 7.1 e), esta aparente calma en las observaciones de monitoreo en superficie registraron 02 explosiones freáticas (Figura 7.1, líneas verticales color verde) el 16 de febrero y el 3 de marzo, estos eventos explosivos no mostraron cambios en ningún parámetro de monitoreo (Figura 7.1), las explosión registrados fueron muy profundos que mostraron cambios en la superficie.

Marzo a Junio -Etapas Accenso de Magma: Caracterizado por un incremento gradual en las emisiones de gases SO₂, alcanzando un máximo de 1776 TN/día, seguida por una despresurización (05 – 22 de abril) registrado en las series de tiempo de la línea base UBGW-UBHU (Figura 7.1 b), en esta etapa las emisiones de vapor registrados por las cámaras ópticas muestran un incrementaron en la tasa de emisiones, que se corrobora con el periodo de despresurización, a partir del 22 de abril, las series de tiempo de deformación (Línea Base UBGW-UBHU) registran un periodo de presurización hasta el 4 de junio (Figura 7.1. b), sin emisiones de gases y/o cenizas, la tasa de eventos sísmicos decayó significativamente (Figura 7.1 d) con eventuales sismos tipo LP y VT. Periodo asociado a un acenso de magma.

20 Junio a 10 setiembre - Etapas de Mayor Actividad: caracterizado por la ocurrencia de enjambres sísmicos de tipo volcano-tectonicos (VT) de hasta 61 eventos por día (18 de junio, 04 y 05 de julio), la tasa de sismos LP mostro un cambio significativo desde el 22 de julio de hasta 330 eventos por día y un segundo periodo de enjambre se registró entre el 11 y 24 de setiembre (Figura 7.1 b), los registros de la tasa de deformación evidencian una deformación de hasta 10 mm (4 de junio) progresivamente alcanzando su periodo de estabilidad, se caracterizó por presentar una importante actividad tremorica de hasta 6 horas continuas (24 de junio), las que se asociaron a una continua y persistente emisión de ceniza volcánica que alcanzo hasta los 1440 msc (Figura 7.1 e), con dirección predominante Norte y NorEste (N, NE) cubriendo un radio de 22 km. Las emisiones de gases SO₂ antes del 24 de junio mostraron valores por debajo de los 2,000 TN/día, posteriormente estos valores de SO₂ fueron incrementando hasta 4,000 TN/día (17 de julio). Los cambios registrados en los parámetros de monitoreo se asocian al accenso de magma en un periodo de tiempo literalmente corto, la

presión ejercida por el flujo de fluidos en ascenso y eventos tremoricos culminó en una emisión continua de gases y cenizas registrado desde el día 25 de junio, para el 18 de julio eventos sísmicos tipo tremor se registran seguida de emisión de gases y cenizas alcanzando alturas de 1440 msc, que serían los precursores del evento del 19 de julio en la que se registra una de las mayores explosiones del Ubinas que desde el periodo 2006-2009, 2013-2017 no se registraban, alcanzando una altura de 6,500 msc, la energía acumulado liberado por el volcán fue de hasta 287 MJ, liberando un volumen aproximado total calculado de 4.5×10^6 m³, clasificado en la escala de explosividad de índice VEI 2, la columna de dispersión de la ceniza presento una dirección predominante hacia el SurEste (SE), alcanzado hasta la ciudad de la Paz, Oruro(Bolivia) e incluso se registraron reporte de caída de ceniza en Salta Argentina, después de este proceso principal se registraron hasta 03 explosiones asociado a flujos de magma remanente en la fuente superficial durante los días 23 de julio, 03 y 04 de setiembre la energía de ambos eventos no superó los 1 MJ de energía, las columnas eruptivas no superaron los 3,000 msc.

15 Setiembre a Diciembre - Etapa de Decaimiento: Caracterizado por presentar un nivel actividad muy baja, los eventos sísmicos alcanzaron el nivel más bajo de actividad registrado, los gases SO₂ fueron disminución progresivamente hasta el 17 de noviembre, en adelante los flujos de SO₂ viene incrementando de forma gradual, la tasa de deformación volcánica desde el mes de octubre viene registrando un periodo de despresurización, lo cual es coherente con los cambios en la emisiones de gases SO₂, probablemente asociado un volumen de magma remanente que aun continua desgasificando.

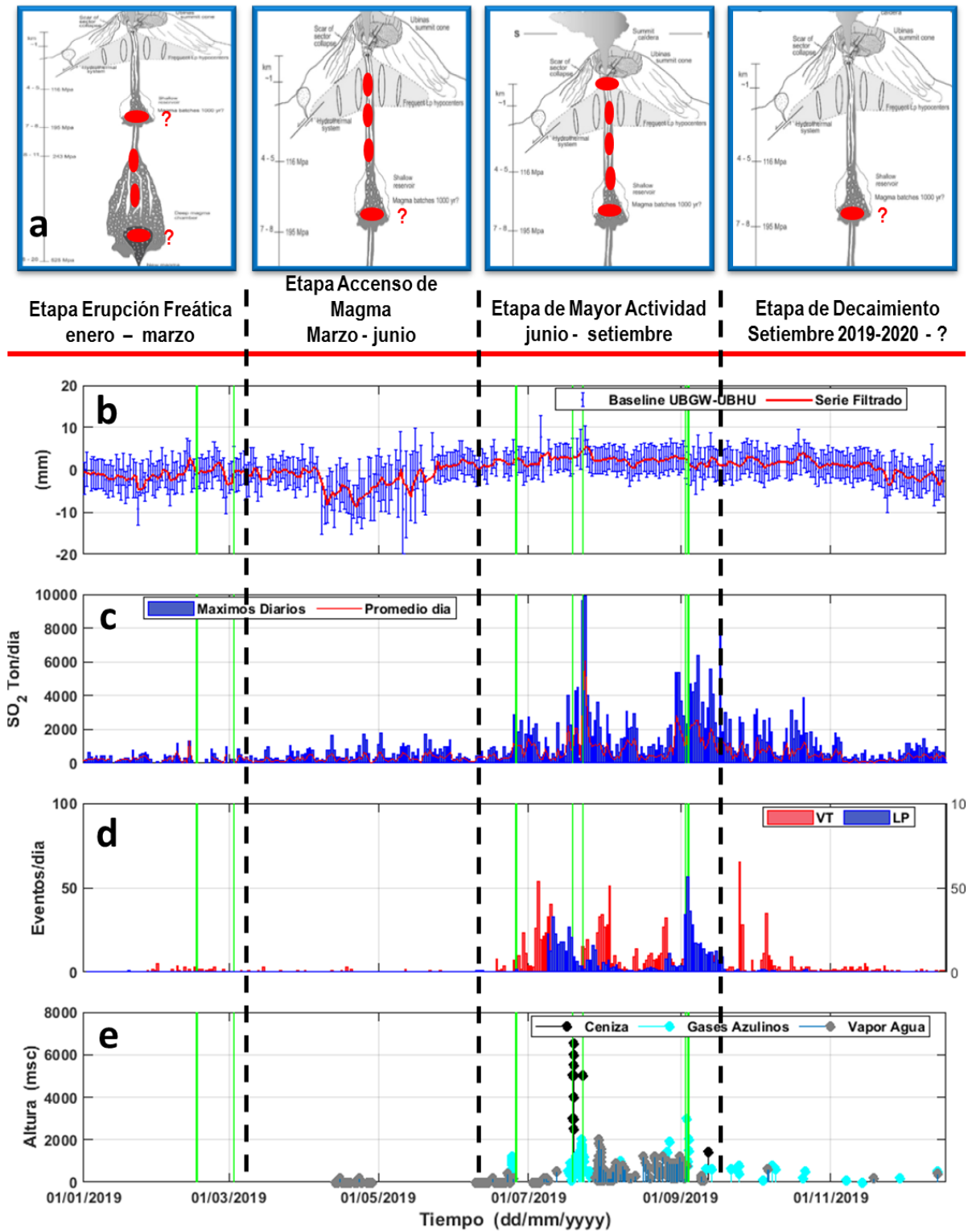


Figura 7.1. Correlación de parámetros de monitoreo volcánico, periodo 2019, volcán Ubinas.

8 CONCLUSIONES

- El proceso eruptivo del Ubinas se ha caracterizado por presentar 4 etapas de actividad durante el 2019, a través del modelo geológico conceptual del proceso eruptivo, que muestran una coherencia con los parámetros de monitoreo. La etapa 1 estuvo presidida por erupciones freáticas del 16 de febrero y 3 marzo, mientras la etapa 2 estuvo determinado por un periodo transitorio de ascenso de magma probablemente desde una fuente profunda, a su vez la etapa 3 se caracterizó por presentar hasta 5 explosiones registrados entre el 25 de junio, 19 de julio y del 3 de setiembre, la etapa de decaimiento de la actividad corresponde al periodo entre setiembre a diciembre del 2019.
- Los flujos de SO₂ medidos para el volcán Ubinas durante el periodo 2019 se mantuvieron por debajo de los 7,000 TN/día hasta fines de mayo, un incremento gradual es medido en los valores diarios de SO₂ registrándose hasta de 12,900 TN/día entre mayo a setiembre, para la etapa de decaimiento los valores fluctúan por debajo de los 5,000 TN/día, valores equivalente para un volcán con actividad, de sistema de conducto abierto.
- Los valores de gases volcánicos medidos con el equipo multigas después de octubre de 2019, evidencian que no existe un cuerpo o volumen de magma cercano a la superficie, los niveles de concentración de gases magmáticos es muy bajo con una relación mayor a 20 entre los gases CO₂-SO₂.
- La deformación volcánica monitoreado a través de 03 estaciones GNSS, evidenciaron periodos de cambios en el comportamiento de la dinámica del Ubinas, observados mediante las series temporales de las línea base entre la estación GPS UBGW-UBHU, registrando periodos de despresurización (durante el mes de abril) y un periodo de presurización entre abril a junio, claramente correlacionados con la actividad química, que corresponderían con los periodos de intrusión magmática profunda, ambos periodos también se evidencian en la mapa de vectores de desplazamiento.
- Se cuenta con 24 cenizómetros ubicados en los sectores proximales, mediales y distales del volcán Ubinas, los cuales, nos permiten cuantificar la caída de ceniza en el lugar.
- – Según el mapa de isópacas se demuestra que la dirección predominante de la dispersión de cenizas fue hacia el este - sureste del volcán Ubinas. La medida de espesor máximo se estimó en la quebrada Vulcanmayo con 8 mm y en el poblado de Ubinas 7 mm.
- – En general, los componentes de las cenizas no representan un peligro a la salud de la gente y los animales. Sin embargo, la concentración del fluoruro y sulfatos pueden ser perjudicial en ciertas circunstancias, especialmente en lugares donde hay mucha ceniza acumulada, quizá puede ocasionar graves problemas a la salud.
- – La composición de la ceniza muestreada durante el periodo 2019, es de composición basalto andesítica -andesita (56-58% wt. % SiO₂; 2-3 wt % K₂O), mientras que en el diagrama de Pecerrillo y Taylor (1976), se observa que la ceniza emitida por el volcán Ubinas pertenecen a la serie Calcoalcalina rica en potasio

- Las emisiones de cenizas y gases fueron más intensas desde mediados del año (18 de junio) registrándose alturas máximas de hasta 6,500 metros sobre el cráter, siendo la dirección de dispersión predominante NE – SO.
- Durante los periodos más críticos de las explosiones las imágenes satelitales dieron resultados satisfactorios en el análisis de la dispersión y alcance de las emisiones. A través de su visualización se pudo observar que no hay cambios visibles en la morfología del cráter y también no se observa ningún cuerpo caliente próximo a la superficie debido a la ausencia de anomalías térmicas esto informado por MIROVA, ello también implica que el siguiente proceso eruptivo no se encuentre muy cercano.

9 RECOMENDACIONES

- ✓ Continuar y culminar con la rutas de escape y evacuación de los pueblo de Ubinas, Tonohuaya, Socohaya, etc, aquellas que se encuentren dentro del radio de influencia de afectación por caída de cenizas, establecidos en un radio de 15 km, basados en el mapa de peligros del volcán Ubinas.
- ✓ Establecer una red de video vigilancia adecuada, óptima y con una mejor ubicación y sistema de trasmisión en tiempo real, que permitirá obtener información oportuna y veraz de forma continua, mediante una red de telecomunicación con mayor ancho de banda.
- ✓ La tasa de ocurrencia de la actividad volcánica del Ubinas, es un fenómeno que tiene una ocurrencia en una escala temporal de mucho mayor tiempo, por lo que un monitoreo integrado por diferentes técnicas probablemente determine conocer si la actividad volcánica pertenece al mismo ciclo eruptivo, por lo tanto un diagnóstico a corto plazo aún están muy lejos, debido a la información limitada, por las complejidades e incertidumbres del comportamiento del volcán.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Alayza, F. (1953) - Notas sobre el departamento de Moquegua. Boletín Sociedad Geográfica de Lima, 70(1-2): 24-56.
2. BENJAMIN B. (2013). Homemade ashmeter: a low-cost, high-efficiency solution to improve tephra field-data collection for contemporary explosive eruptions. Journal of Applied Volcanology 2:1
3. Biass S, Bonadonna C, Connor L, Connor C (2016) - TephraProb: a Matlab package for probabilistic hazard assessments of tephra fallout. Journal of Applied Volcanology, 5(1). doi:10.1186/s13617-016-0050-5.
4. Bromley, G. R., Thouret, J. C., Schimmelpfennig, I., Mariño, J., Valdivia, D., Rademaker, K., ... & ASTER Team. (2019). In situ cosmogenic ³He and ³⁶Cl and radiocarbon dating of volcanic deposits refine the Pleistocene and Holocene eruption chronology of SW Peru. Bulletin of Volcanology, 81(11), 64.
5. Folk, R. L. (1966) - A review of grain size parameters. sedimentology 6, 73 - 93 p.
6. Folk, R. L. (1966) - A review of grain size parameters. sedimentology 6, 73 – 93 p.
7. Hantke, G., Parodi, I., 1966. The active volcanoes of Peru. Catalogue of the active volcanoes of the World. Part XIX, Colombia, Ecuador and Peru. Internat Assoc, Volcanol, pp. 65–73.
8. HERRING, T.; FLOYD, M.; KING, R. & MCCLUSKY, S. (2010). Introduction to GAMIT/GLOBK. Massachusetts Institute of Technology.
9. INGEMMET (2014). Evaluación de peligros geológicos en el valle de Ubinas-Moquegua. Informe Técnico A6641
10. Inman, D. L. (1952) - Measures of describing the size distribution of sediments. Jour. Sed. Petrol, 22, 125 – 145 p.
11. Krumbein W. C. (1934) - Size frequency distribution of sediments. Jour Sedim. Petrol. Vol-1, 65 - 77p.
12. Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram: Journal of Petrology 27, p. 745–750.
13. Mariño J., Rivera M., Macedo O., Masías P., Antayhua Y., Thouret J-C. (2011). Gestión de la crisis eruptiva del volcán Ubinas 2006-2008. Boletín N°45 Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, INGEMMET
14. Peccerillo, P., Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area. Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, 63–81.
15. Rivera M., Thouret J.C., Gourgaud A. (1998) - Ubinas, el volcán más activo del sur del Perú desde 1550: Geología y evaluación de las amenazas volcánicas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v.88, 53-71.
16. Rivera, M., Mariño J., Thouret., (2011). Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas, Boletín INGEMMET, N°46, Serie C, Lima.
17. Rivera, M.; Thouret, J.C.; Mariño, J.; Berolatti, R. & Fuentes, J. (2010) - Characteristics and management of the 2006-2008 volcanic crisis at the Ubinas volcano (Peru). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 198(1-2): 19-34.
18. Spalletti, L.A., 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. Serie B Didáctica y Complementaris Nro. 8. Asoc.Geol.Arg. 175 pags.
19. 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. Bull Volcanol; 67: 557 – 589.

20. Witham, C.S., Oppenheimer, C. & Horwell, C.J. (2005) Volcanic ash-leachates: A review and recommendations for sampling methods. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 141, 299-326.