



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEOFÍSICA SOBRE LA ACTUAL ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN UBINAS – PERIODO JULIO-OCTUBRE 2023

Informe Técnico N°025-2023/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Octubre, 2023

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

*Evaluación geofísica sobre la actual actividad eruptiva del volcán Ubinas, periodo julio
– octubre de 2023*

Autores

José Del Carpio Calienes

Katherine Vargas Alva

Jorge Mamani Sotomayor

Erick Soto Castellones

David Valdivia Humerez

Marco Rivera Porras

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo

Teléfono: 51-1-3172300

RESUMEN

Se presenta resultados del monitoreo volcánico del volcán Ubinas realizado por el IGP en el periodo julio a octubre de 2023. De acuerdo a los datos analizados de la Red Geofísica del volcán Ubinas y de la Red Geofísica Temporal, la fase magmática de la actual erupción del Ubinas inicio el 4 de julio de 2023, evidenciado por el registro de explosiones volcánicas que generaron columnas de gases y cenizas que alcanzaron alturas de hasta 5400 m por encima del cráter, así como la expulsión de bloques incandescentes (material volcánico juvenil) de color gris. En dicho periodo las cenizas se dispersaron con mayor recurrencia, hacia los sectores sureste, suroeste y noroeste del volcán, afectando con mayor incidencia los distritos ubicados en un radio de 15 km como Ubinas, Matalaque, Chojata y San Juan de Tarucani.

De acuerdo a la evaluación geofísica realizada, el actual periodo de análisis se ha dividido en 2 ciclos: el primero desarrollado entre el 4 de julio y 24 de agosto que corresponde a un comportamiento dinámico muy activo, debido a los registros geofísicos, geoquímicos y visuales que indicaban aportes continuos de magma y actividad explosiva intermitente con continuas explosiones y emisiones de ceniza. El segundo ciclo, desarrollado entre el 25 de agosto al 22 de octubre, se caracteriza por la tendencia a la baja de todos los parámetros de monitoreo y la ocurrencia esporádica de explosiones volcánicas. Aunque en las últimas semanas se detectan manifestaciones sísmicas leves relacionadas con movimiento de magma. Por tanto, el nivel de alerta volcánica disminuye a COLOR AMARILLO.

Con base al monitoreo de los parámetros geofísicos y características de la actividad reciente del Ubinas, se proponen dos escenarios con mayor probabilidad de ocurrencia para las siguientes semanas: (1) Que la actividad eruptiva continúe con un nivel leve y la consecuente generación de esporádicas explosiones y eventuales emisiones de ceniza, y (2) Que la actividad del Ubinas descienda, con la consecuente ausencia de explosiones volcánicas y emisiones de ceniza, por tanto, el actual proceso eruptivo estaría culminando en el corto plazo.

INDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- RED GEOFÍSICA DE MONITOREO

3.- DATOS Y RESULTADOS DE MONITOREO VOLCÁNICO

3.1.- Monitoreo Sísmico

3.2.- Monitoreo de la Deformación Superficial

3.2.1.- Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

3.2.2.- Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR)

3.3.- Monitoreo Visual

3.4.- Monitoreo Geoquímico

3.4.1.- Variación de del gas CO₂ (ppm)

3.4.2.- Variación del gas SO₂ (Ton/día)

3.4.3.- Monitoreo de fuentes termales

3.5.- Monitoreo de las cenizas volcánicas

4.- INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS Y ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS

4.1.- Escenarios eruptivos

4.1.1.- Primer escenario: continuación del mismo nivel de actividad explosiva leve

4.1.2.- Segundo escenario: descenso de la actividad y culminación de la erupción

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), según su Ley de Creación N° 31733, es la entidad responsable y oficial de las investigaciones, monitoreo y la emisión de alertas sobre el comportamiento dinámico de los volcanes activos y potencialmente activos en nuestro país. La información proporcionada por el IGP contribuye en la toma de decisiones por parte de los integrantes del SINAGERD.

El 22 de junio del presente año, el volcán Ubinas inicia un nuevo proceso eruptivo de tipo explosivo, caracterizado inicialmente por la emisión de gases y el registro de actividad sísmica. Posteriormente el 4 de julio a las 03:16 am, registra la expulsión de cenizas y gases que alcanzaron alturas de hasta 5000 m sobre el cráter y fueron dispersadas en dirección sur, sureste y este, marcando el inicio de la fase explosiva. Este cambio en el comportamiento eruptivo del volcán fue reportado oportunamente por el Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL) el 30 de junio, mediante el Boletín Vulcanológico CENVUL-UBI/2023-17.

A partir de aquel entonces la actividad estuvo caracterizada por la emisión recurrente y continua de cenizas volcánicas que afectaron las poblaciones y medios de vida de los distritos de Ubinas, Lloque, Yunga, Chojata, Matalaque, Quinistaquillas y Puquina de la región Moquegua, así como, el distrito de San Juan de Tarucani de la región Arequipa (Figura 1), en donde habitan aproximadamente 8 609 personas. Además, ha registrado eventualmente la expulsión de proyectiles balísticos o bloques incandescentes de lava que han alcanzado distancias menores a 2 km del cráter. Actualmente la actividad está en nivel de alerta volcánica naranja.

El presente informe evalúa el comportamiento dinámico del volcán Ubinas desde el inicio de la fase explosiva de la actual erupción (4 de julio) a fin de determinar posibles escenarios futuros que pueda presentar el volcán en el

2. RED GEOFÍSICA DE MONITOREO

La Red Geofísica instalada sobre el volcán Ubinas está compuesta por 8 estaciones multiparamétricas que albergan: 7 sismómetros de banda ancha y de tres componentes, 1 sensor de infrasonido, 3 inclinómetros, 2 receptores GNSS, 3 videocámaras científicas, 1 estación multigas y 1 sensor de infrasonido (Figura 1). Estos equipos son empleados para realizar el seguimiento y análisis en tiempo real y de manera permanente sobre la dinámica interna y externa del Ubinas. Asimismo, se emplean sistemas satelitales que permiten obtener datos de las anomalías térmicas e información sobre la emisión de gases, como el SO₂.

Además, de manera temporal, especialistas del IGP realizan trabajos de campo in-situ para la adquisición de datos de tipo geoquímico, geotérmico, y de deformación superficial, para lo cual se ha desplegado instrumentación adicional, denominada como la Red Geofísica Temporal, detallada en la Figura 2. También, se realizan trabajos de recolección y análisis de productos emitidos y reconocimiento geológico del volcán.

Gracias a la red geofísica que opera de manera permanente y al trabajo de recolección de datos realizada de manera temporal es posible la emisión oportuna de boletines, reportes y avisos sobre la actividad explosiva del Ubinas, así como, el probable desarrollo de peligros asociados, información dirigida a las instituciones que conforman el SINAGERD.

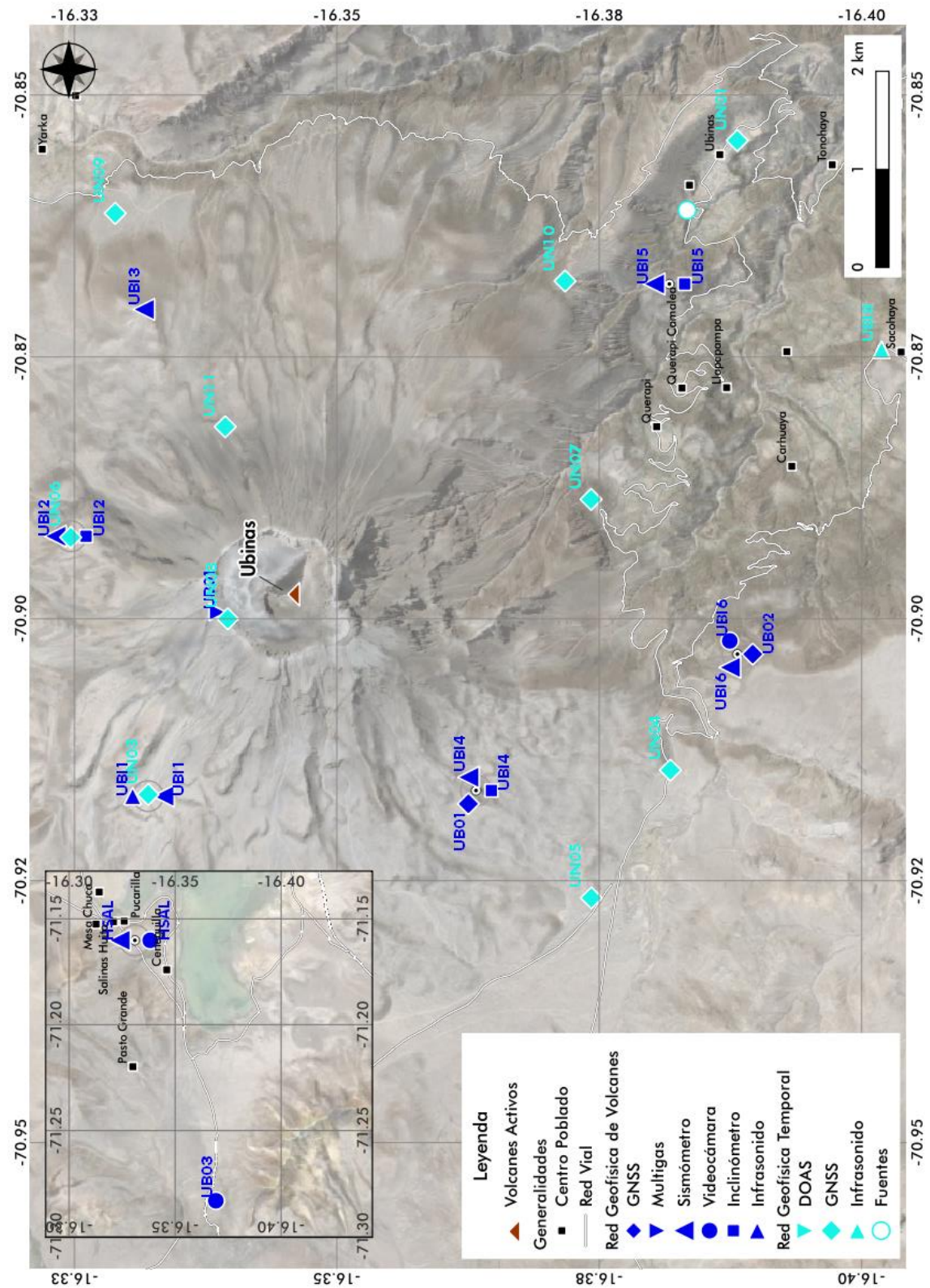


Figura 2.- Red Geofísica del volcán Ubinas y Red Geofísica Temporal desplegada para fortalecer los trabajos de monitoreo de la actual erupción.

3. DATOS Y RESULTADOS DE MONITOREO VOLCÁNICO

El 4 de julio de 2023 se inicia la fase magmática de la actual erupción del volcán Ubinas con el registro de explosiones y señales sísmicas asociadas con emisiones de ceniza y gases que, también, fueron observadas a través de las videocámaras de monitoreo instaladas alrededor de volcán y a través de imágenes satelitales. A continuación, se detalla la información comprendida entre el 4 de julio al 22 de octubre de 2023.

3.1. Monitoreo Sísmico

Previo al 4 de julio, se observó un incremento importante en el número y la energía (1.9 MJ) de las señales sísmicas de tipo Largo Periodo (LP), que estuvieron asociadas con el movimiento y los primeros ascensos de magma hacia la superficie. Así como, un incremento sostenido por varios días de la ocurrencia de sismos de tipo volcano-tectónico (VT), relacionadas con el fracturamiento de rocas que ocurrió al interior del volcán. Con el inicio de la fase magmática (4 de julio) y hasta el 24 de agosto, las señales LP, asociadas con el ascenso de magma, presentaron valores de energía importantes de hasta 5.2 MJ, que evidenciaron un proceso explosivo de gran relevancia. Dichas señales (LP) disminuyeron a partir del 25 de agosto hasta el 22 de octubre (Figura 4, barras rojas). En las últimas semanas, el registro de estas señales se mantiene presente (ver Figura 3), aunque en menor número y energía.

Los sismos VT detectados entre el 4 de julio y 22 de octubre, presentan un promedio de ocurrencia de 131 eventos por día, con máximos de 209 y 335 señales sísmicas, respectivamente (Figura 4, barras azules). Durante el mismo periodo se registraron picos de energía sísmica acumulada los días 14 y 23 de agosto, relacionados a 2 sismos importantes de magnitudes M2.3 y M3.3, los cuales fueron localizados a 9 km y 6 km de profundidad bajo el volcán, respectivamente (Figura 5, círculos verdes).

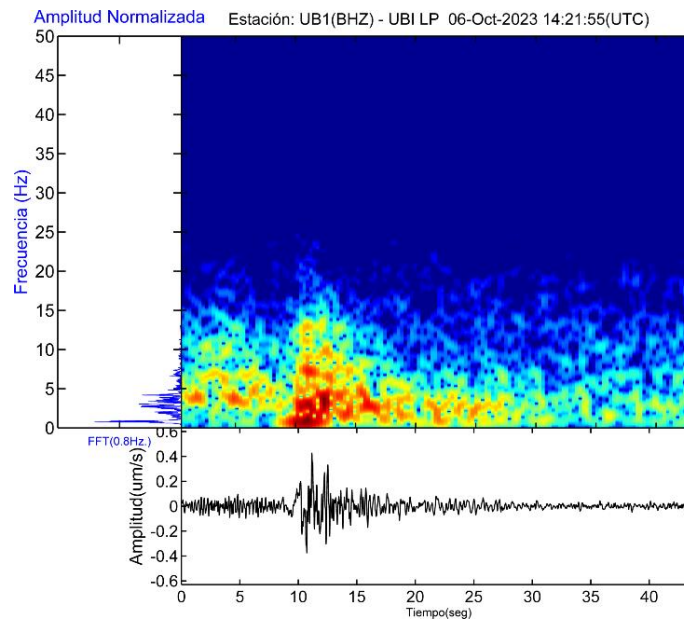


Figura 3.- Señal sísmica de tipo Largo Periodo registrada el 6 de octubre, asociada al movimiento de magma. Se observa frecuencias menores a 5 Hz con un pico dominante de 2.6 Hz.

En el periodo de análisis, entre el 4 de julio y 2 de agosto, se registró actividad explosiva intermitente, evidenciando un decaimiento lineal de la energía sísmica de las señales de tipo Largo Periodo. Es decir, conforme avanzaba el proceso eruptivo la energía de las explosiones disminuía (Figura 4, triángulos y línea roja). Asimismo, entre el 3 de agosto y 14 de septiembre (ultima explosión registrada en el Ubinas), dichos eventos explosivos (<0.9 MJ) se observaron de forma eventual, manifestando prolongados periodos en aparente “calma”. Asimismo, las constantes emisiones de ceniza y gases, observados entre julio y agosto, estaban representados por el registro de señales sísmicas tipo tremor, ello debido a la vibración que generan estas partículas en el conducto volcánico antes de ser expulsadas a la atmósfera. De acuerdo a este tipo de sismicidad se ha determinado que los días 17, 22 y 27 de julio y 13, 14, 15, 17 y 22 de agosto se registró más de 5 horas acumuladas de emisiones de ceniza (Figura 4, barras amarillas).

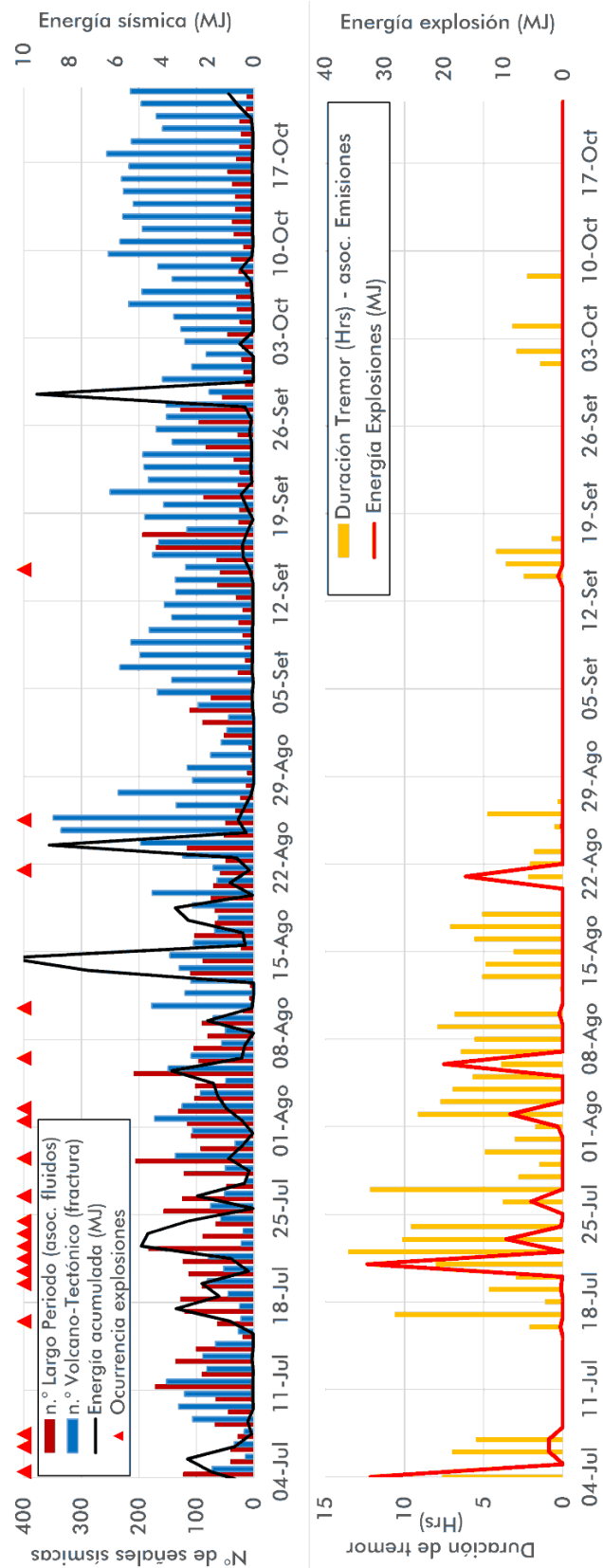


Figura 4.- Estadística de las señales sísmicas de tipo Largo Periodo (barras rojas), Volcano-Tectónicas (barras azules), tremor asociado a emisiones de ceniza (barras amarillas) y energía sísmica acumulada (línea negra) y energía de explosiones por día (línea roja).

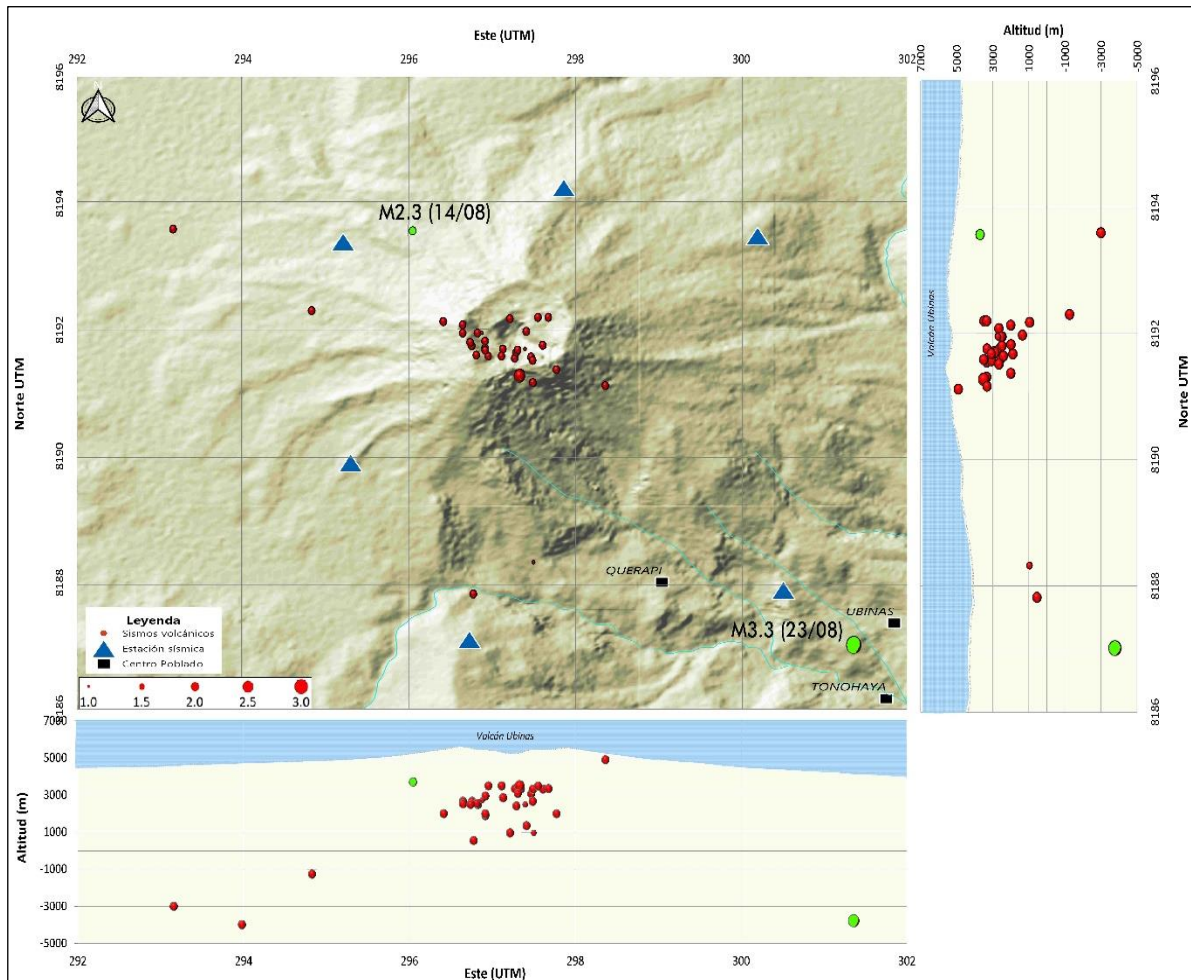


Figura 5.- Distribución hipocentral de la actividad sísmica de tipo Volcano Tectónico (VT) ubicada en la zona del volcán Ubinas, para el periodo julio-septiembre de 2023.

Por otro lado, la localización sísmica efectuada, muestra la distribución espacial de 37 señales sísmicas de tipo VT, agrupadas bajo el cráter del volcán Ubinas a una profundidad de entre 1.5 km y 3.5 km (Figura 5, círculos rojos), cuyos parámetros hipocentrales corresponden al periodo julio – septiembre de 2023, que evidencian procesos de ruptura de roca debido al paso de fluidos, como magma y gases en ascenso a la superficie. Sin embargo, los sismos de mayor relevancia por el nivel de energía liberada, ocurrieron los días 14 y 23 de agosto, a 4.5 km y 6.4 km de distancia del cráter y a 1.5 km y 6 km de profundidad, respectivamente (Figura 5, círculos verdes).

3.2. Monitoreo de la Deformación Superficial

Este trabajo se realiza mediante el empleo de sistema global de navegación por satélite (GNSS) y la interferometría diferencial de radar de apertura sintética (DInSAR) descritos a continuación.

3.2.1. Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

En el volcán Ubinas se cuenta con dos estaciones GNSS permanentes que envían datos vía telemetría hasta las oficinas del IGP. A continuación, se presentan los desplazamientos obtenidos entre el 4 de julio al 22 de octubre de 2023. Los datos muestran mayor dispersión, desde la segunda quincena de septiembre, debido a condiciones climáticas (nubosidad, lluvia, etc.):

- **GNSS UB01** (Figura 6a). Esta estación se ubica a 2.8 km del cráter, en el flanco suroeste del volcán Ubinas. Los resultados del análisis muestran un desplazamiento positivo de hasta 0.6 ± 0.18 cm en la componente Vertical, lo que sugiere una inflación o levantamiento de la superficie del volcán. Asimismo, se registró un desplazamiento negativo de -0.2 ± 0.1 cm en la dirección Norte (hundimiento de la superficie del volcán). En cuanto a la dirección Este se observa un desplazamiento negativo de -0.5 ± 0.1 cm.
- **GNSS UB02** (Figura 6b). Esta estación se localiza a 4.7 km del cráter, en el sector sur del volcán Ubinas. En promedio, se ha cuantificado un desplazamiento negativo de -0.3 ± 0.2 cm en la componente Vertical (hundimiento de la superficie del volcán). En la dirección Norte se ha registrado un desplazamiento negativo de -0.5 ± 0.1 cm el día 13 de julio de 2023 (dirección hacia el Sur). En la dirección Este se muestra un desplazamiento negativo de -0.2 ± 0.1 cm (dirección Oeste).

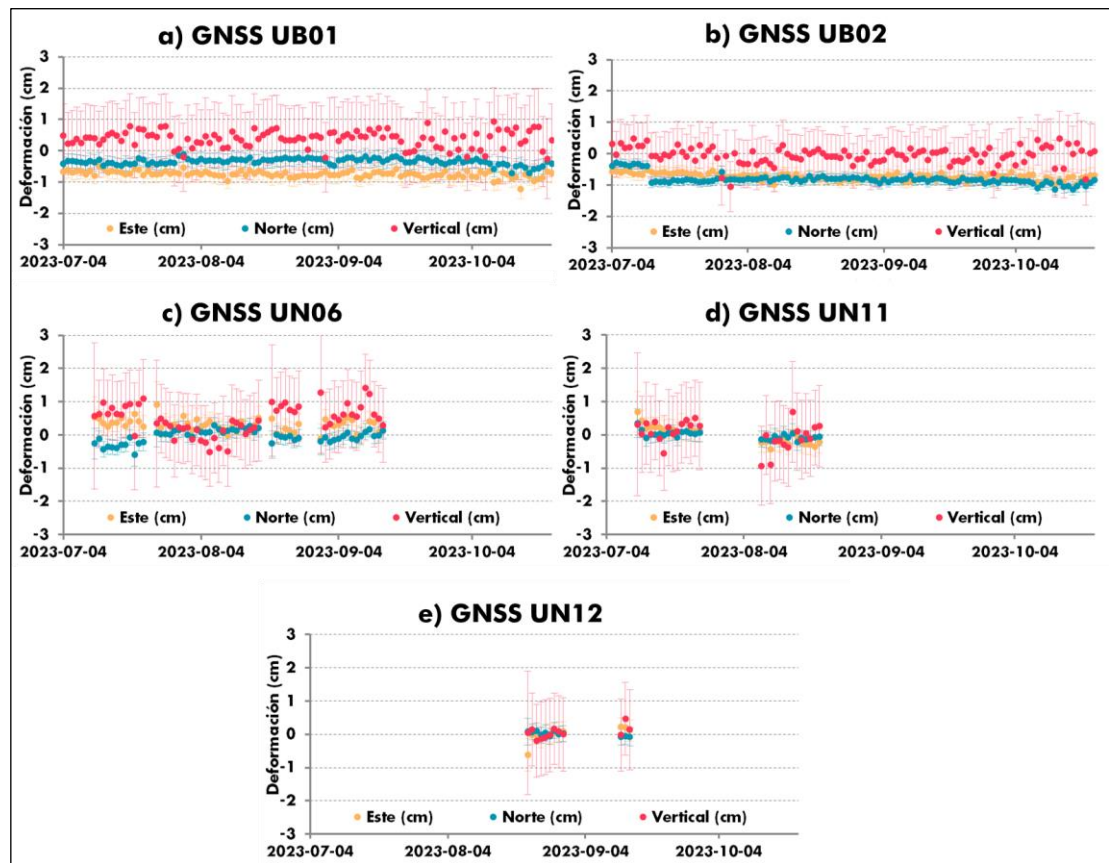


Figura 6.- Serie de tiempo de las estaciones GNSS: a) UB01, b) UB02, c) UN06 y d) UN11, para las componentes este (puntos amarillos), norte (puntos azules) y vertical (puntos magentas) registradas entre el 04 de julio y el 22 de octubre de 2023.

Debido a la emergencia por la crisis eruptiva del volcán Ubinas, se fortaleció el monitoreo de deformación, con la instalación temporal de tres estaciones GNSS adicionales desde el día 11 de julio de 2023, cuyos resultados son mostrados a continuación:

- **GNSS UN06** (Figura 6c). Esta estación fue ubicada a 2.4 km del cráter del volcán Ubinas en el flanco nor-noreste. Los resultados muestran un mayor desplazamiento los días 31 de agosto, 10 y 11 de septiembre en la componente vertical (levantamiento de la superficie del volcán), alcanzando hasta 1.4 ± 0.6 cm. El desplazamiento en la dirección Este es mínima, mientras que en la dirección Norte se registró un desplazamiento positivo de 0.4 ± 0.05 durante el 4 y 26 de julio, a partir del 27 de julio no se registra desplazamiento en dirección Norte.

- **GNSS UN11** (Figura 6d). Estación localizada a 1.8 km del cráter en el flanco este-noreste del Ubinas. Se registraron datos entre el 11 y 25 de julio y, posteriormente entre el 8 y 21 de agosto de 2023, en los cuales se observa deformación mínima en las componentes horizontal y vertical que están dentro del margen de error del equipo.
- **GNSS UN11** (Figura 6e). Estación ubicada a 2.3 km del cráter en el flanco noroeste del Ubinas. Se registraron datos entre el 22 y 30 de agosto y, posteriormente entre el 11 y 14 de septiembre de 2023, en los cuales, tampoco se observa deformación significativa en las componentes horizontal ni vertical.

3.2.2. Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR)

Para el análisis de la deformación del volcán Ubinas, también se ha empleado dos tipos de imágenes de radar:

- **Sentinel-1.-** Las imágenes Sentinel-1 se encuentran en banda C, por lo que permite observar deformaciones menores a los 2.8 cm, su periodicidad de adquisición es cada 12 días. En la Figura 7, se muestra dos mapas de deformación en línea de vista del satélite (LOS) para la zona del volcán Ubinas: la primera, obtenida a partir de 17 imágenes adquiridas entre los días 12 de abril y 21 de octubre de 2023 en órbita ascendente y, la segunda, mediante el procesamiento de 16 imágenes obtenidas entre el 6 de abril y 15 de octubre de 2023 en órbita descendente.

En general, en ambos mapas se observa deformaciones en LOS por debajo de 1 cm (Figura 7, tonos rosados). En las series de tiempo obtenidas en la ubicación de los puntos GNSS, se observa un ligero acercamiento al satélite (deformación positiva o levantamiento) que es más evidente en órbita ascendente (Figura 7a, tonos rosados).

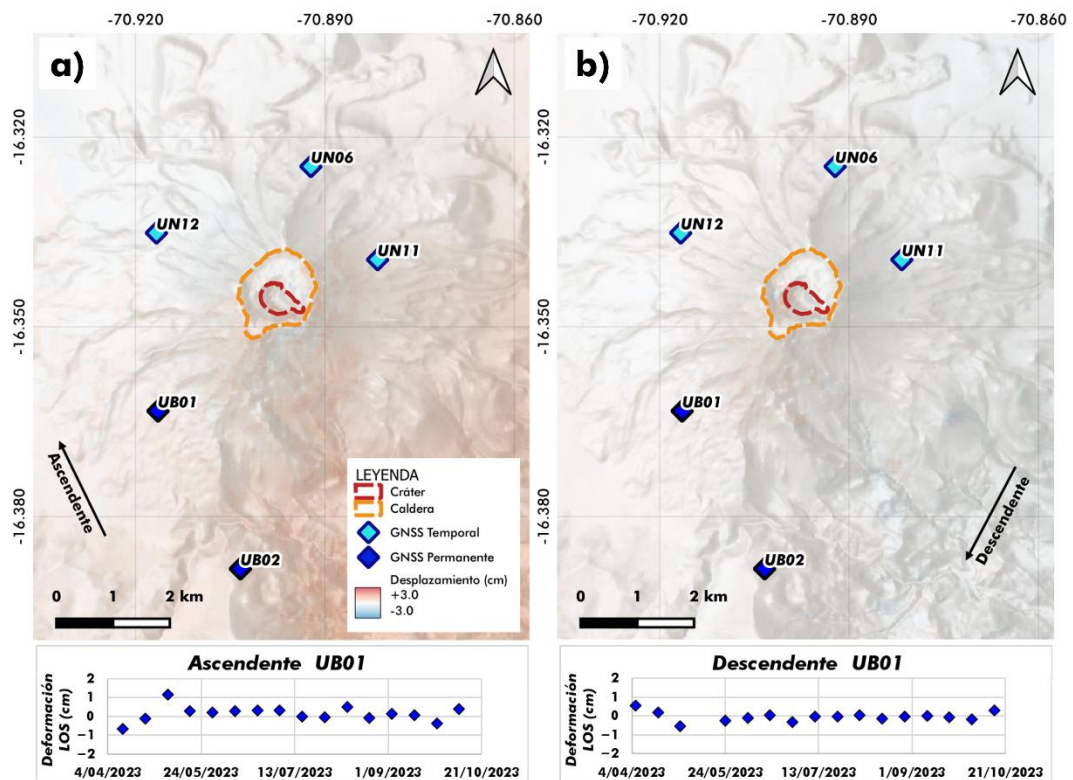


Figura 7.- Mapa de la deformación del volcán Ubinas a partir de imágenes de radar Sentinel-1: a) en órbita ascendente y desplazamiento en LOS en la ubicación del punto GNSS UB01 (esquina inferior izquierda), b) en órbita descendente y desplazamiento en LOS en la ubicación del punto GNSS UB01 (esquina inferior derecha).

- **TerraSAR-X.-** Debido a que la deformación detectada en el volcán Ubinas es del orden del centímetro, se empleó imágenes TerraSAR-X que se encuentran en banda X y tienen mayor resolución que las imágenes Sentinel-1, por lo cual permiten detectar deformaciones menores a 1.6 cm. Al respecto, se realizaron dos interferogramas: el primero, comparando imágenes del 12 de julio y 27 de septiembre de 2023 en órbita ascendente (Figura 8a) y, la segunda a partir de imágenes del 10 de julio y 25 de septiembre de 2023 en órbita descendente (Figura 8b). En ambas imágenes se observa que la deformación se centra en el cono del volcán con desplazamientos en LOS menores a 2 cm (Figura 8, tonos rosados), coincidente con la información de datos GNSS en este último proceso eruptivo.

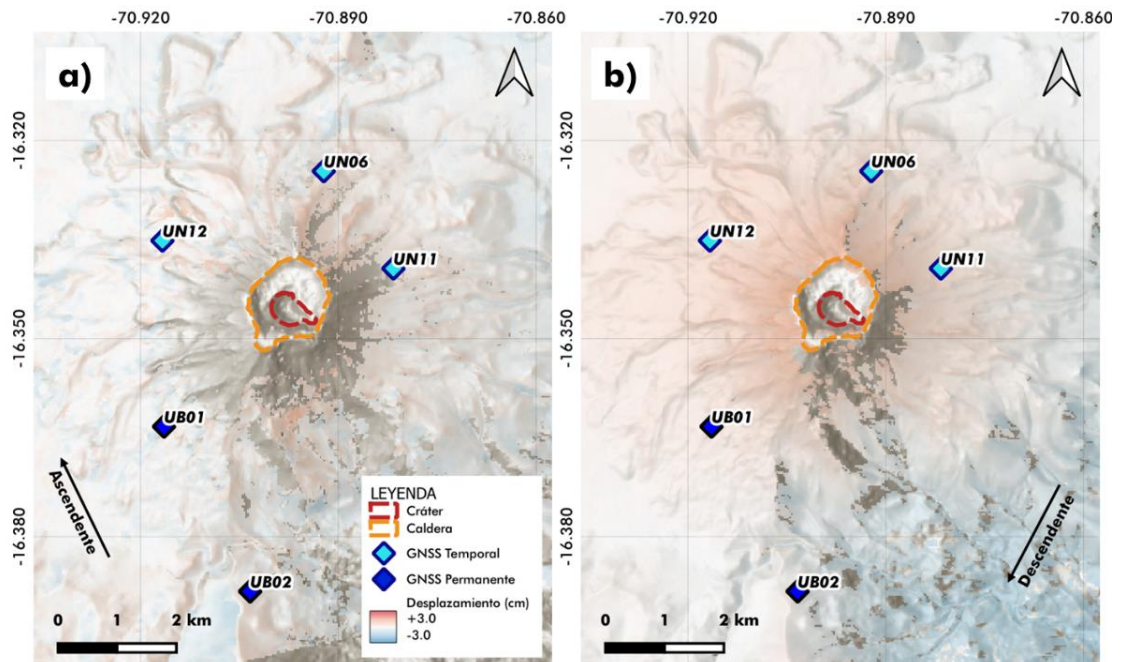


Figura 8.- Interferogramas obtenidos de la zona del volcán Ubinas: a) en órbita ascendente con imágenes del 12 de julio y 27 de septiembre de 2023 y, b) en órbita descendente con imágenes del 10 de julio y 25 de septiembre de 2023.

3.3. Monitoreo Visual

El monitoreo de las emisiones volcánicas y la dinámica superficial, para el periodo de análisis, se ha realizado mediante la utilización de 3 cámaras de monitoreo, denominadas HSAL (UB01), UB02 y UB03 (Figuras 2 y 9).

Durante el periodo evaluado, las columnas de cenizas y gases han alcanzado una altura máxima de 5400 m sobre la cima del volcán (día 2 de agosto) y alturas promedio de 1270 m (Figura 10, barras celestes). Asimismo, se han observado periodos de emisiones de ceniza con mayor concentración o abundancia de partículas volcánicas los días 22, 23, 26 y 29 de julio, 1, 4, 10, 21 y 22 de agosto y 3, 8 y 9 de septiembre (Figura 10, rombos de color plomo). La última explosión fue registrada el 14 de septiembre, mientras que las emisiones de ceniza, muy disminuidas con respecto a los primeros meses de erupción, perduraron hasta el 17 de octubre. En las últimas semanas hubo emisión leve de gases.

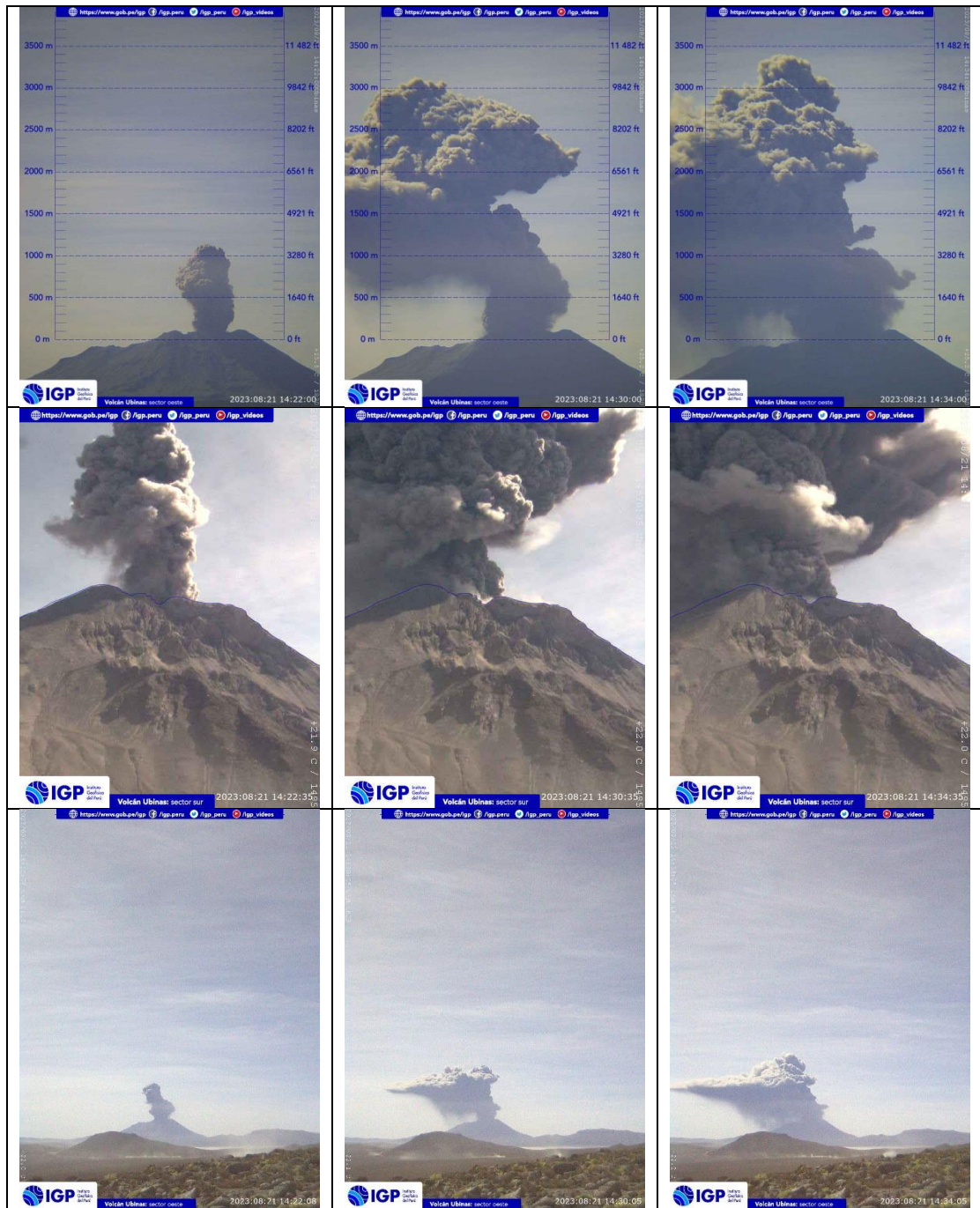


Figura 9.- Imágenes de explosiones registradas con las cámaras de monitoreo instaladas en el volcán Ubinas: a) HSAL o UB01, b) UB02 y c) UB03; registran la explosión ocurrida el día 21 de agosto a las 14:18 hora local y que alcanzó una altura máxima de 3500 m sobre el cráter.

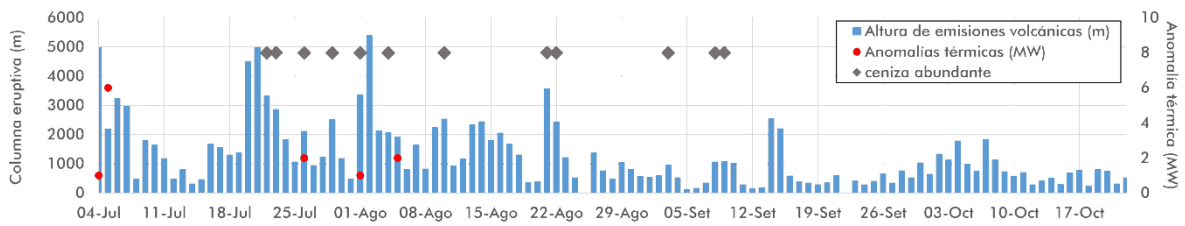


Figura 10.- Alturas máximas por día de las columnas de ceniza y gases registradas por las cámaras de monitoreo del volcán Ubinas para el periodo evaluado (barras celestes). Los días con mayor presencia de ceniza están representados por rombos grises y las anomalías térmicas en círculos rojos.

El radio aproximado de dispersión de la ceniza producto de las explosiones fue mayor a 60 km, referida principalmente a las explosiones ocurridas los días 20 y 23 de julio en la cual las cenizas fueron dispersadas a la provincia de Arequipa (Figura 11) y los días 17 y 18 de agosto las cenizas fueron dispersadas en dirección de la región Puno. Sin embargo, la afectación por caída de ceniza se produjo dentro de los primeros 15 km de radio del volcán, es decir, en centros poblados de los distritos de San Juan de Tarucani, Ubinas, Matalaque y Chojata. Asimismo, cenizas más finas fueron reportadas en centros poblados de los distritos de Lloque y Yunga.



Figura 11.- Dispersión de las cenizas y gases del volcán Ubinas observadas sobre la ciudad de Arequipa el día 20 de julio de 2023.

Así también, de acuerdo al análisis de las direcciones de dispersión de las cenizas, entre el 4 de julio y el 17 de octubre, las cenizas y gases se dirigieron con mayor frecuencia hacia los sectores sureste (Ubinas y Matalaque), suroeste (centros poblados de San Juan de Tarucani y Coalaque), noroeste (centros poblados de San Juan de Tarucani) y noreste (centros poblados de Ubinas, Lloque y Yunga). Ver Figura 12.

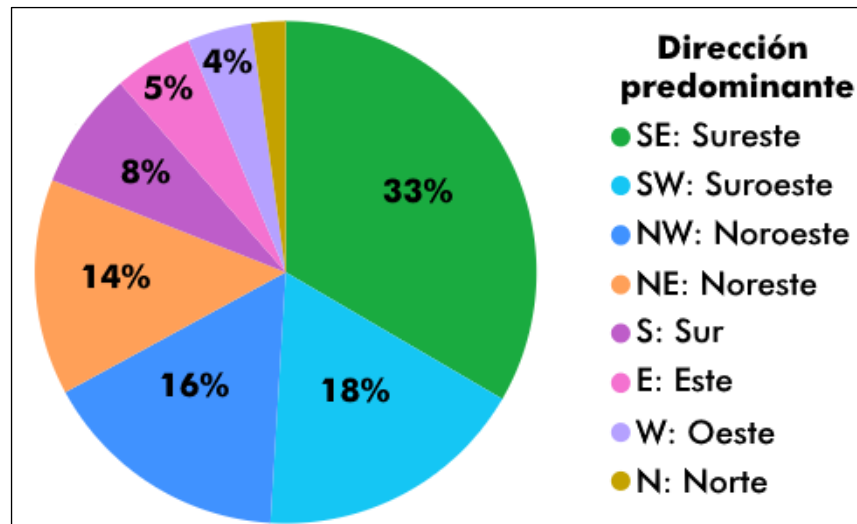


Figura 12.- Dirección predominante de dispersión de cenizas observadas entre el 4 de julio al 17 de octubre.

En cuanto a las anomalías térmicas, los sistemas satelitales de detección han registrado anomalías, eventualmente, con valores por debajo de 7MW (Figura 10, puntos rojos), que indicarían la proximidad de un cuerpo de lava a la superficie del cráter. Por otro lado, aunque no corresponde al periodo de evaluación, la última anomalía térmica en el volcán Ubinas fue detectada el 27 de octubre, con un valor de 1 MW, que indicaría la presencia de un pequeño cuerpo de magma remanente que está próximo a la superficie.

3.4. Monitoreo Geoquímico

Los datos geoquímicos de gases emitidos por el Ubinas son recabados de forma permanente mediante la estación multigas UB01, ubicada en el borde oeste de la caldera del volcán Ubinas (Figura 2), además de estaciones temporales DOAS e información satelital. Así mismo, se realizan mediciones de

los parámetros físico-químicos de las fuentes termales que existen al pie del flanco sur del volcán Ubinas.

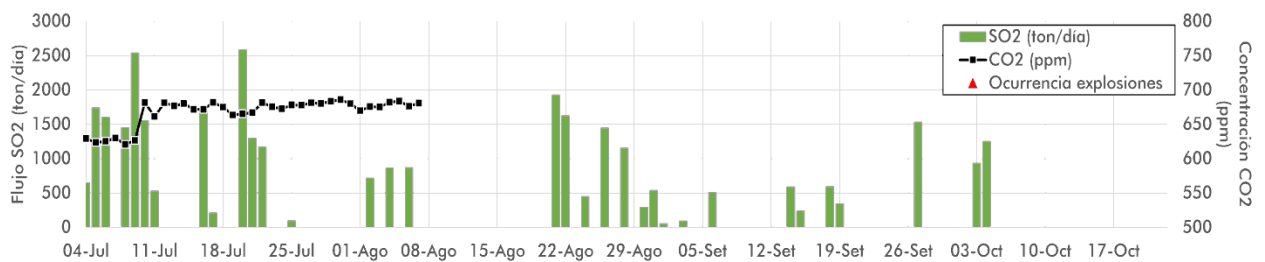


Figura 13.- Concentración de flujos de SO₂ (barras verdes) registrado entre el 4 de julio y 22 de octubre y concentración de CO₂ (línea negra) registrado entre el 4 de julio y 7 de agosto de 2023 en el volcán Ubinas.

3.4.1. Variación del gas CO₂ (ppm)

La concentración del gas CO₂ es un indicador importante sobre el nivel de la actividad volcánica. De manera comparativa la concentración base de CO₂ en la atmosfera, en ausencia de actividad volcánica fluctúa entre 400 ppm a 450 ppm. En ese sentido, para el periodo del 4 de julio al 7 de agosto, observamos que los valores de CO₂ en la zona del volcán Ubinas se presentan en un rango de 620 ppm y 686 ppm. Los picos más altos de CO₂ estarían relacionados con el ascenso de magma, como los registrados los días 10 y 22 de julio (Figura 13, línea negra).

3.4.2. Variación del gas SO₂ (Ton/día)

Para el periodo del 4 de julio al 22 de octubre del presente, los valores del gas SO₂ variaron entre 0.1 ton/día y 2581 ton/día. Los valores más bajos indican una reducción significativa de la desgasificación del volcán o, en caso contrario, un proceso de obstrucción del conducto. Los valores más altos están relacionados con un aumento en la actividad volcánica luego de la ocurrencia de emisiones considerables de ceniza y gases o una explosión. Para este periodo, el flujo promedio de gases SO₂ es de 328 ton/día y picos importantes de 2538, 2581, 1924, 1533 y 1250 Ton/día, se detectaron los días 9 y 20 de julio, 21 de agosto, 27 de septiembre y 4 de octubre, respectivamente (Figura 13, barras verdes).

3.4.3. Monitoreo de fuentes termales

Durante el período comprendido entre el 4 de julio y el 24 de agosto la fuente termal UBT (Figura 2) ubicada próxima del ingreso norte de la localidad de Ubinas, registró un ligero, pero constante aumento en diversos parámetros físico-químicos, incluyendo temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales (TDS). Ver Tabla 1. Esta tendencia podría estar relacionada con el ascenso de magma y posterior actividad eruptiva del volcán Ubinas.

Asimismo, las mediciones obtenidas en septiembre sobre dichos parámetros denotan una tendencia negativa, que se aproxima a los valores observados en junio de 2023 (Tabla 1).

Tabla 1.- Parámetros físico-químicos de la fuente UBT.

Fecha	Temperatura	pH	Conductividad (us)	TDS(ppm)
23/06/2023	28.1	6.08	2888	1459
27/06/2023	28.1	6.11	2883	1459
12/07/2023	28.2	6.49	3041	1527
26/07/2023	28.4	6.47	3172	1558
08/08/2023	28.4	6.46	3194	1571
09/09/2023	28.1	6.15	2980	1562
15/09/2023	28.4	6.38	3020	1580

3.5. Monitoreo de las cenizas volcánicas

Uno de los trabajos de campo realizados, inmediatamente iniciado el actual proceso eruptivo consistió en la recolección de muestras de cenizas efectuados los días 22 de junio (a 4 km al este del cráter, sector de Para) y 4 de julio del 2023 (CP Ubinas), es decir, inmediatamente después de la primera emisión de ceniza y de la primera explosión, respectivamente.

La ceniza emitida el 22 de junio del 2023 está caracteriza por contener lapilli acrecional (agregado de ceniza), de hasta 0.4 cm de diámetro. El lapilli acrecional está constituido por ceniza muy fina de color gris, que fue

posiblemente aglomerada debido a la presencia de vapor de agua en la columna eruptiva (Figura 14), es decir, fue formada durante la fase freatomagmática registrada al inicio del proceso eruptivo.



Figura 14.- Lapilli acrecional recolectada el 22 de junio del 2023 en el flanco Este del volcán Ubinas.

Asimismo, la ceniza del 22 de junio está compuesta principalmente por fragmentos minúsculos de escoria y lava densa (material juvenil), de color gris oscuro y de forma angulosa a subangulosa (Figura 15A). Además, contiene fragmentos líticos oxidados e hidrotermalizados que corresponden a fragmentos arrancados de la zona hidrotermal del volcán (Figuras 15B), así como, material accidental que fue arrancado del conducto y en parte corresponde al material remanente de las últimas erupciones del volcán Ubinas (Figura 15C). También se reconocen cristales libres de plagioclasa (Figura 15D).

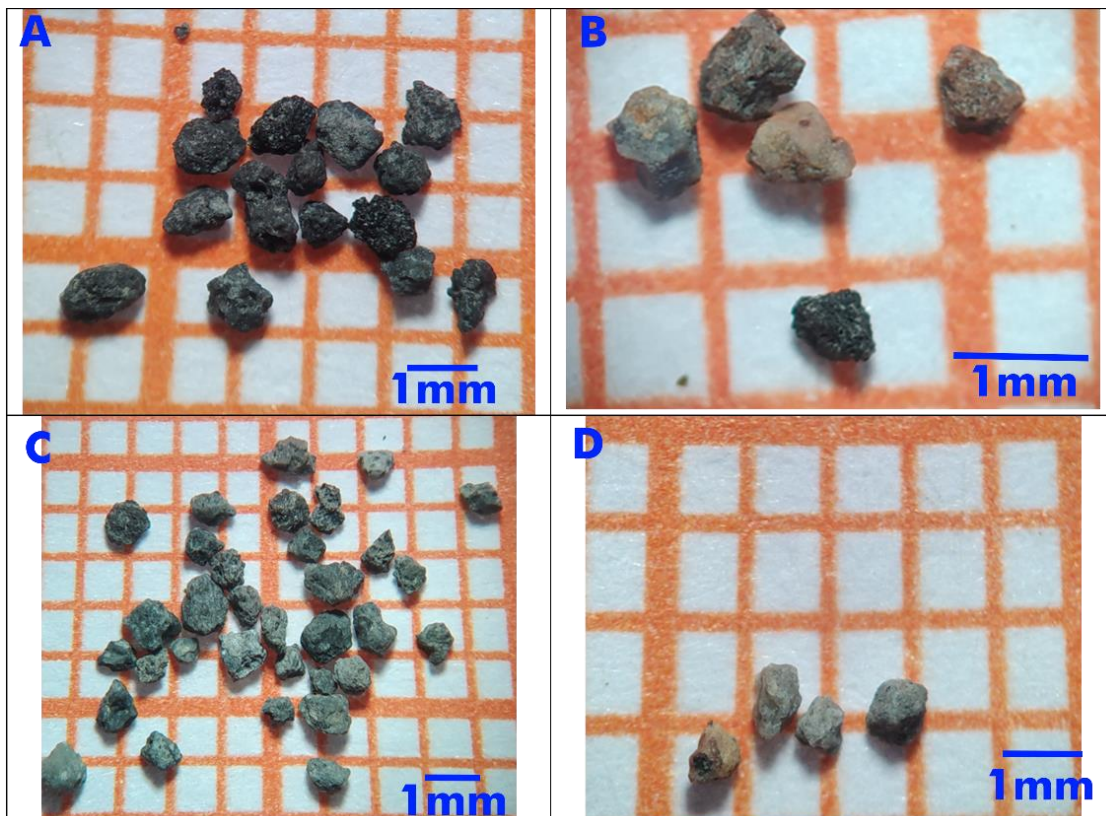


Figura 15. Ceniza recolectada el 22 de junio del 2023 en el flanco este del volcán Ubinas: (A) material juvenil; (B) material accidental; (C) material oxidado; (D) material hidrotermalizado, y (E) cristales libres.

Por otro lado, la ceniza emitida desde el 4 de julio contiene fragmentos lávicos (material juvenil) de color gris oscuro, de forma angulosa a subangulosa (Figura 16A), en su mayor parte vesiculado; así como, material preexistente (Figura 16B). Además, se distinguen fragmentos líticos oxidados e hidrotermalizados (Figuras 16C y 16 D) y fragmentos líticos grises ligeramente oxidados (material accidental) arrancados del conducto. Finalmente, se observan cristales de plagioclasa y vidrio volcánico (Figura 16E).

Por otro lado, el 1 de agosto del 2023 se registró una importante explosión que emitió ceniza que contiene en su gran mayoría fragmentos lávicos (material juvenil) de color gris oscuro, de forma angulosa a subangulosa (Figura 17A), en su mayoría vesiculado. Además, se distinguen fragmentos líticos oxidados e hidrotermalizados (Figuras 17B) y fragmentos líticos accidentales arrancados del conducto y material preexistente (Figura 17C).

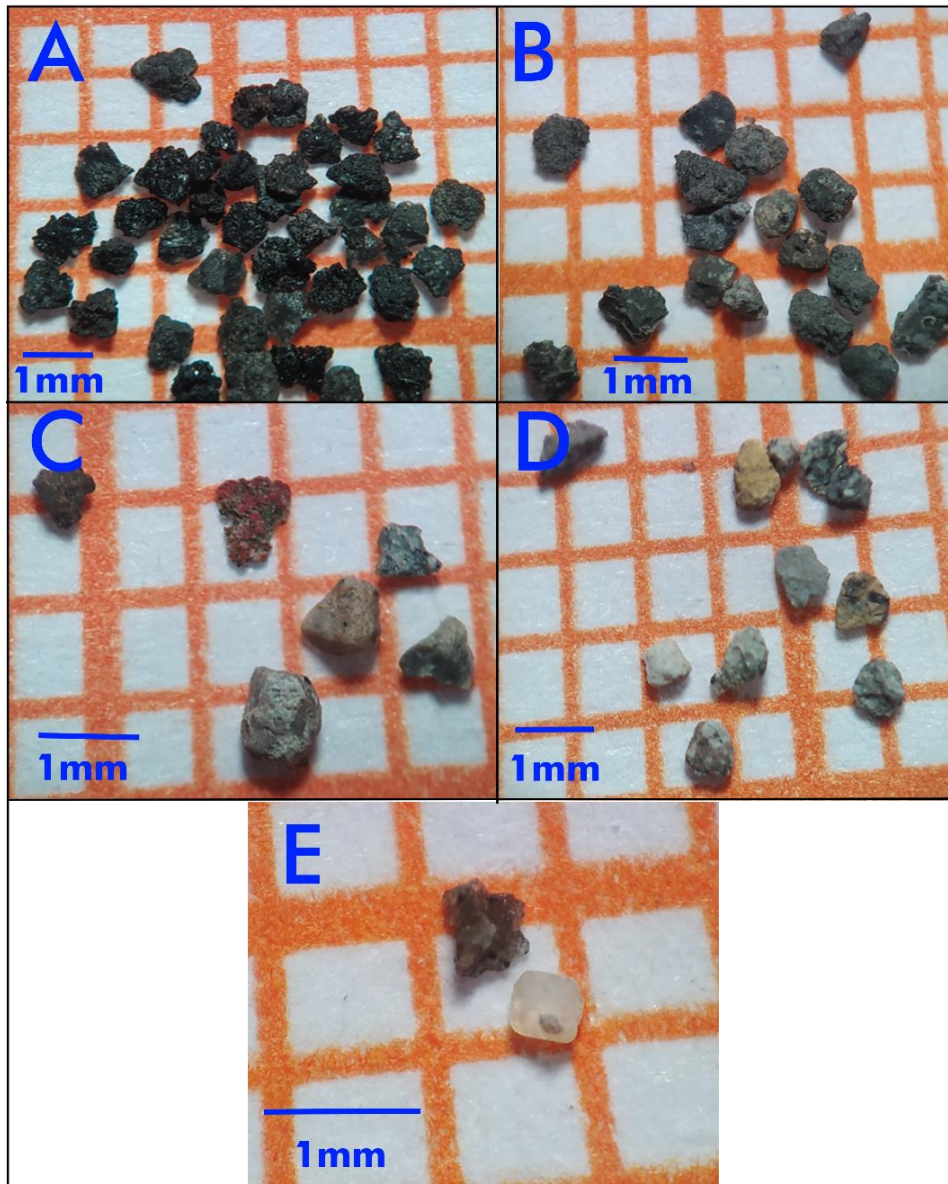


Figura 16.- Ceniza recolectada el 4 de julio del 2023 en el poblado de Ubinas: (A) material juvenil; (B) material accidental; (C) material oxidado; (D) material hidrotermalizado; y (E) cristales libres.

Este tipo de cenizas recolectadas en el Ubinas a lo largo del proceso eruptivo estarían ligadas a una actividad de tipo vulcaniana, es decir una actividad moderada que suelen presentar los volcanes en erupción.

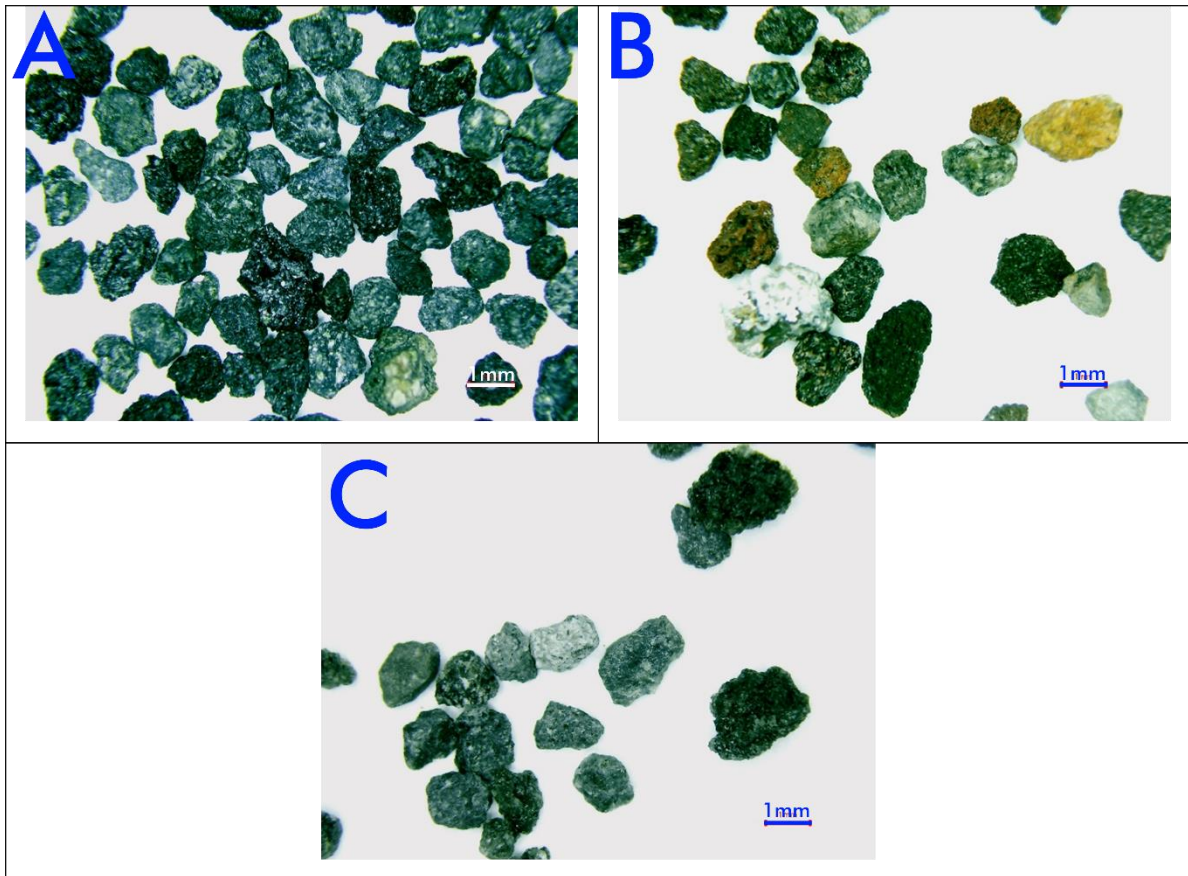


Figura 17.- Ceniza recolectada del 1 de agosto del 2023: A. material juvenil; B. material oxidado e hidrotermalizado; C. material accidental.

4. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS Y ESCENARIOS ERUPTIVOS FUTUROS

La fase magmática de la actual erupción del Ubinas inicio el 4 de julio de 2023, evidenciado por: (i) el registro de explosiones volcánicas que generaron columnas de gases y cenizas que alcanzaron alturas de hasta 5400 m por encima del cráter, (ii) expulsión de bloques incandescentes (material volcánico juvenil) de color gris oscuro que cayeron en inmediaciones del cono del volcán y (iii) afectación por caída de ceniza, con mayor recurrencia, hacia los sectores sureste, suroeste y noroeste del volcán, es decir, hacia los distritos de Ubinas, Matalaque, Coalaque y San Juan de Tarucani.

Dicha fase, se ha caracterizado por presentar intermitente actividad explosiva (julio y agosto) y esporádicas explosiones volcánicas (agosto y septiembre) con frecuentes emisiones de ceniza. El elevado nivel de actividad superficial estaría relacionado a ciclos de mayor actividad interna representados por el incremento de: (i) el número y energía sísmica de señales de tipo Largo Periodo (LP) asociadas con el ascenso de magma, (ii) ocurrencia de explosiones que generaron columnas de gases y cenizas que alcanzaron hasta 5400 m de altura, (iii) proceso de inflación del volcán o deformación superficial positiva y (iv) moderado proceso de desgasificación de SO₂ de hasta 2500 ton/día, así como, valores de CO₂ por encima de 620 ppm que estarían relacionados, también, con importantes ascensos de magma. Los parámetros indicados muestran que el ciclo de mayor actividad o primer ciclo se produjo entre el 4 de julio al 24 de agosto (Figura 18, ciclo 1).

El segundo ciclo, registrado entre el 25 de agosto y 22 de octubre (Figura 18, ciclo 2), denota menor nivel de actividad interna, por consiguiente, decrecimiento progresivo en el número de explosiones volcánicas y en el registro diario acumulado de las emisiones de cenizas y gases expulsadas a la atmosfera. Asimismo, los parámetros geoquímicos: temperatura, pH, conductividad y Total de Sólidas Disueltos (TDS), observados en septiembre de

2023, en niveles bajos, denotan una aproximación a los valores observados antes del inicio de la fase magmática de la actual erupción.

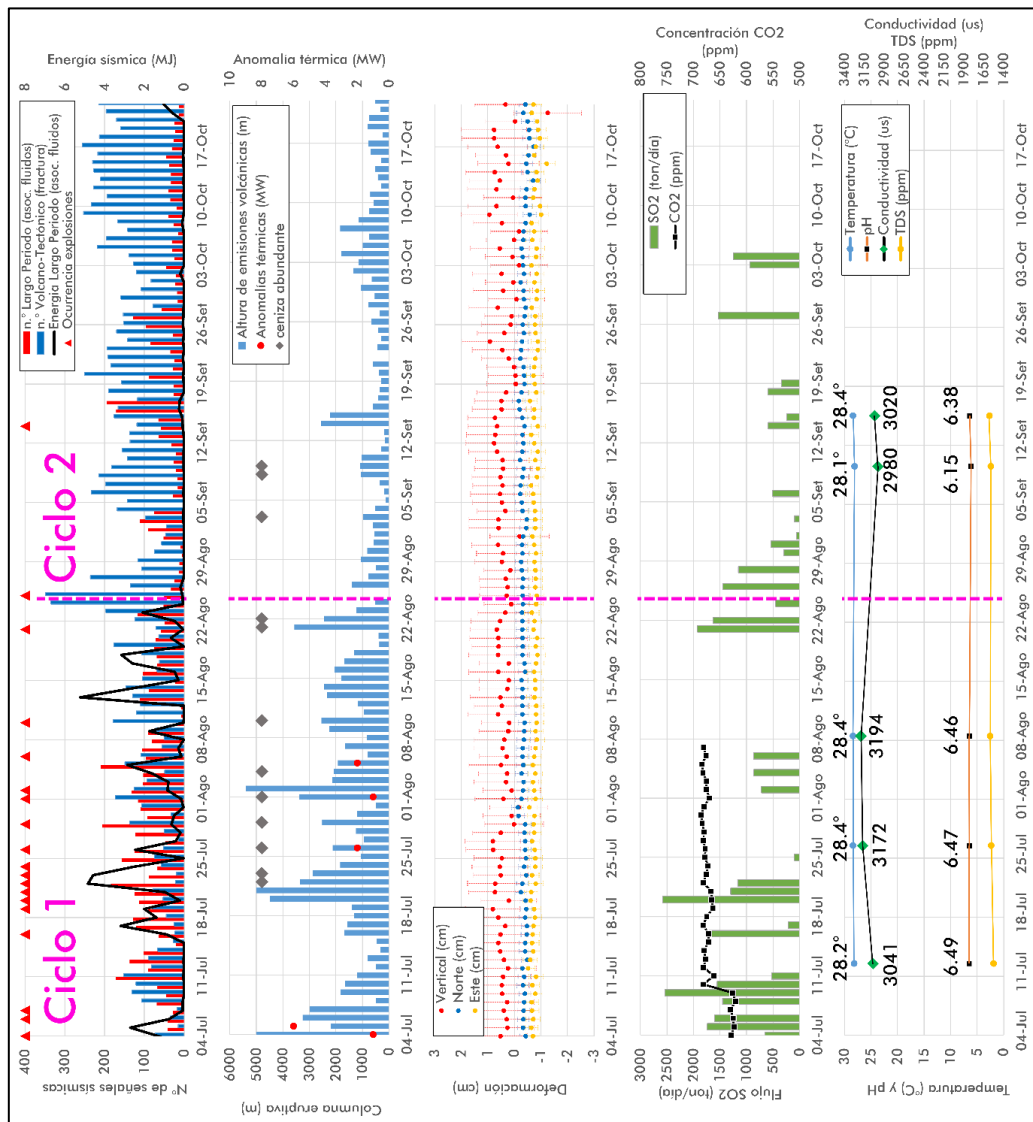


Figura 18.- Registro comparativo de los principales parámetros de monitoreo volcánico para el periodo del 4 de julio al 22 de octubre. (i) señales sísmicas asociadas con el ascenso de magma (barras rojas) y fractura de rocas (barras azules), así como, ocurrencia de explosiones volcánicas (triángulos rojos), (ii) altura de las columnas de ceniza y gases (barras celestes), días de mayor concentración de ceniza (rombos grises) y eventuales anomalías térmicas (círculos rojos), (iii) deformación superficial y (iv) registros de SO₂ (barras verdes) y CO₂ (línea negra).

De acuerdo al análisis del periodo evaluado y hasta el cierre del presente informe, se observa que, dentro del segundo ciclo, el tiempo previo al registro de explosiones es más prolongado, creando un lapso de relativa calma. Ello correlacionado con la disminución de la energía de las explosiones en el tiempo, indicaría que la siguiente actividad explosiva, de presentarse, sería aún más

débil.

4.1. Escenarios eruptivos

Los datos de monitoreo multidisciplinario y las características de la actual erupción del volcán Ubinas plantea dos posibles escenarios para las próximas semanas:

4.1.1. Primer escenario: continuación del mismo nivel de actividad explosiva leve

Actualmente, el volcán Ubinas viene generando esporádicas explosiones leves con la emisión de ceniza que afectan áreas próximas al volcán, típico de una actividad vulcaniana. En las próximas semanas la actividad explosiva del Ubinas puede continuar con el mismo nivel de actividad.

4.1.2. Segundo escenario: Descenso de la actividad y culminación de la erupción

En general, los parámetros de monitoreo presentan tendencia a la baja, de continuar este comportamiento, especialmente de las variables relacionados con nuevos aportes de magma (sismos LP, deformación superficial, etc.), indicaría que no habría mas registros de explosiones volcánicas y emisiones de ceniza, por tanto, el actual proceso eruptivo estaría culminando en el corto plazo.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos analizados de la Red Geofísica del volcán Ubinas y la Red Geofísica Temporal la fase magmática de la actual erupción del volcán Ubinas inicio el 4 de julio de 2023, evidenciado por: el registro de explosiones volcánicas que generaron columnas de gases y cenizas que alcanzaron alturas de hasta 5400 m por encima del cráter, así como la expulsión de bloques balísticos (material volcánico juvenil) de color gris oscuro y afectación por caída de ceniza, con mayor recurrencia, hacia los sectores sureste, suroeste y noroeste del volcán, es decir, hacia los distritos de Ubinas, Matalaque, Chojata y San Juan de Tarucani. Dado que en la actualidad el volcán Ubinas presenta disminución de todos los parámetros de monitoreo y baja probabilidad de registrar nuevas explosiones y emisiones de ceniza de características mayores a las observadas entre julio y agosto, el nivel de alerta volcánica disminuye a **COLOR AMARILLO**.

La ceniza emitida por el Ubinas es el producto volcánico que más ha afectado y afectara en el futuro a los pobladores y sus medios de vida de los distritos adyacentes al volcán Ubinas, ubicados en un radio de 15 km de distancia del cráter, es decir, en centros poblados de los distritos de San Juan de Tarucani, Ubinas, Matalaque y Chojata

Se proponen dos escenarios de ocurrencia para las siguientes semanas:

- Que la actividad eruptiva del volcán Ubinas continúe con el nivel actual (leve), es decir, con la generación de esporádicas explosiones y eventuales emisiones de ceniza que afectan áreas próximas al volcán.
- Que se intensifique la tendencia a la baja de las variables relacionadas con nuevos aportes de magma, con la consecuente ausencia de explosiones volcánicas y emisiones de ceniza, por tanto, el actual proceso eruptivo estaría culminando en el corto plazo.

RECOMENDACIONES

- No acercarse al volcán en un radio de 2 km, los ascensos al cráter aún son considerados de alto riesgo.
- Ante la caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas.
- Recomendamos mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del Ubinas mediante los boletines emitidos por el IGP: (<http://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/>).

