



INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Resolución de Gerencia General

N° 010-IGP/2024

Lima, 13 de marzo del 2024

VISTOS:

El Informe N° 0006-2024-IGP/DC-OVS, el Informe N° 0051-2024-IGP/GG-OPP y el Informe Legal N° 0036-2024-IGP/GG-OAJ; y

CONSIDERANDO:

Que, con fecha 03 de mayo de 2023 se aprobó la Ley N° 31733, Ley del Instituto Geofísico del Perú - IGP, cuyo objeto es la de fortalecer el Instituto Geofísico del Perú (IGP), a fin de consolidar la investigación científica en los diversos campos de la Geofísica, la prestación de servicios de información que se brinda para la gestión del riesgo de desastres y regular su intervención en las Ciencias de la Tierra, en las Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera, en las Ciencias del Geoespacio, para reducir el impacto destructor de los peligros naturales y antrópicos, y aprovechar las oportunidades y potencialidades que brinda la Geofísica en el desarrollo socioeconómico y ambiental del país;

Que, la Ley N° 31733, Ley del Instituto Geofísico del Perú, dispone que el IGP es un organismo público ejecutor e instituto público de investigación (IPI) y forma parte del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SINACTI), del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA), con personería jurídica de derecho público, con autonomía funcional, técnica, administrativa, económica y financiera en el ejercicio de sus atribuciones, se encuentra adscrito al Ministerio del Ambiente y tiene competencia para producir ciencia y tecnología;

Que, mediante Decreto Supremo N° 001-2015-MINAM, se aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú (IGP);

Que, mediante Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, se aprobó la Directiva DI 001-2020-IGP, denominada: "Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos";

Que, el numeral 7.2.1 de la Directiva DI 001-2020-IGP, "Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP", aprobada mediante Resolución Gerencial N°

029-IGP/2020, establece la jerarquía funcional de los documentos normativos estableciendo que el PROCESO y el MANUAL DE USUARIO se encuentra en el nivel 4 y 5 respectivamente, en concordancia con los numerales 7.2.2.7 y 7.2.2.10 que establecen lo siguiente: *“Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas y que interactúan, las cuales transforman los elementos de entradas en bienes y servicios, luego de la asignación de recursos. Cada proceso contiene una ficha de proceso y su respectivo diagrama de proceso. Cada proceso tiene una codificación única y se aprueba mediante acto administrativo de manera individual o conjunta incorporándose al Manual de Procesos. Manual de usuario: Documento de comunicación técnica, que ayuda para entender el funcionamiento de un equipo, herramientas tecnológicas o similares”*;

Que, con Informe N° 0006-2024-IGP/DC-OVS de fecha 23 de febrero de 2024, el director del Observatorio Vulcanológico del Sur remite a la Dirección Científica informe sobre la propuesta de aprobación y modificación de documentos normativos respecto a procesos y manuales del CENVUL del OVS;

Que, a través del Informe N° 0051-2024-IGP/GG-OPP de fecha 29 de febrero de 2024, la Oficina de Planeamiento y Presupuesto emite opinión técnica favorable para la aprobación de los siguientes documentos normativos de OVS:

La propuesta de aprobación de los siguientes documentos normativos:

1. Manual de Usuario MU N° 001 2024-IGP, denominado: “Manual de monitoreo de gases y fuentes termales”.
2. Manual de Usuario MU N° 002 2024-IGP, denominado: “Manual de monitoreo de la deformación volcánica”.
3. Manual de Usuario MU N° 003 2024-IGP, denominado: “Manual de monitoreo mediante sensores remotos satelitales”.
4. Manual de Usuario MU N° 004 2024-IGP, denominado: “Manual de monitoreo sismovolcánico”.
5. Manual de Usuario MU N° 005 2024-IGP, denominado: “Manual de monitoreo visual mediante sensores remotos superficiales”.
6. Manual de Usuario MU N° 006 2024 – IGP, denominado: “Procesamiento de datos, generación de información vulcanológica y respuesta en caso de reactivación volcánica y crisis eruptiva”.
7. Proceso PC N° 005-2024-IGP, denominado: “Generación de información ante reactivación volcánica y crisis eruptiva”.
8. Proceso PC N° 006-2024-IGP, denominado: “Generación de parámetros vulcanológicos para simulacros nacionales por actividad volcánica”.

La propuesta de modificación de los siguientes documentos normativos:

1. Proceso PC N° 008- 2023-IGP, denominado: "Procesamiento de datos vulcanológicos" (aprobado con RGG N° 039-IGP/2023).
2. Proceso PC N° 009-2023-IGP, denominado: "Generación de información vulcanológica" (aprobado con RGG N° 039-IGP/2023);

Que, a través del Informe Legal N° 0036-2024-IGP/GG-OAJ, la Oficina de Asesoría Jurídica emitió opinión legal favorable para que se apruebe la aprobación y la modificación de los documentos normativos de OVS ya que cumplen con lo establecido en la Directiva DI 001-2020-IGP, "Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos";

Que, en el presente caso la aprobación y la modificación de los documentos normativos de OVS; se debe realizar a través de una Resolución de Gerencia General conforme a la Jerarquía Funcional prevista en la Directiva DI N° 001-2020-IGP;

Con el visado de la Gerencia General, de la Dirección Científica, de la Oficina de Asesoría Jurídica, del Observatorio Vulcanológico del Sur y de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto; y

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 31733, Ley del Instituto Geofísico del Perú, del Decreto Supremo N° 001-2015-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del IGP y la Directiva DI 001-2020-IGP, que dispone los lineamientos para la "Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos", aprobada mediante Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobar los documentos normativos que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución de Gerencia General de acuerdo al siguiente detalle:

1. Manual de Usuario MU N° 001 2024-IGP, denominado: "Manual de monitoreo de gases y fuentes termales".
2. Manual de Usuario MU N° 002 2024-IGP, denominado: "Manual de monitoreo de la deformación volcánica".
3. Manual de Usuario MU N° 003 2024-IGP, denominado: "Manual de monitoreo mediante sensores remotos satelitales".
4. Manual de Usuario MU N° 004 2024-IGP, denominado: "Manual de monitoreo sismovolcánico".
5. Manual de Usuario MU N° 005 2024-IGP, denominado: "Manual de monitoreo visual mediante sensores remotos superficiales".
6. Manual de Usuario MU N° 006 2024 – IGP, denominado: "Procesamiento de datos, generación de información vulcanológica y respuesta en caso de reactivación volcánica y crisis eruptiva".

7. Proceso PC N° 005-2024-IGP, denominado: "Generación de información ante reactivación volcánica y crisis eruptiva".
8. Proceso PC N° 006-2024-IGP, denominado: "Generación de parámetros vulcanológicos para simulacros nacionales por actividad volcánica".

Artículo 2.- Aprobar la modificación de los documentos normativos que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución de Gerencia General de acuerdo al siguiente detalle:

1. Proceso PC N° 008- 2023-IGP, denominado: "Procesamiento de datos vulcanológicos" (aprobado con RGG N° 039-IGP/2023).
2. Proceso PC N° 009-2023-IGP, denominado: "Generación de información vulcanológica" (aprobado con RGG N° 039-IGP/2023).

Artículo 3.- Disponer que la Dirección Científica con el apoyo del Observatorio Vulcanológico del Sur socialicen e implementen en el Instituto Geofísico del Perú los alcances de los documentos normativos aprobados y modificados en los artículos precedentes.

Artículo 4.- Disponer la publicación de la presente Resolución de Gerencia General en el Portal Institucional del Instituto Geofísico del Perú www.gob.pe/igp.

Regístrese, publíquese y comuníquese.

Javier Bueno Cano
Gerente General

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 001-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 001-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTÍFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES

I. OBJETIVO

Establecer las instrucciones básicas para el realizar el Monitoreo de Gases y Fuentes Termales en los volcanes activos del sur del Perú con el propósito de anticipar una erupción volcánica o el incremento de actividad volcánica mediante el procesamiento de la información y generar series de tiempo u otra herramienta de análisis de las diferentes técnicas que comprenden dicho tipo de monitoreo.

II. BASE LEGAL

- 2.1** Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2** Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3** Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4** Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5** Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6** Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7** Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8** Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9** Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10** Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

El presente manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), encargado de realizar el monitoreo volcánico y la evaluación de peligros volcánicos. Comprende desde la descarga de los datos, el procesamiento de la información y la generación de series de tiempo u otro instrumento de análisis de las diferentes técnicas relacionas con el Monitoreo de Gases y Fuentes Termales.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1 El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de monitoreo de Gases y Fuentes Termales en sus distintas disciplinas o técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes.
- 5.2 Los analistas de Monitoreo de Gases y Fuentes Termales son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3 Cada analista que integra el equipo de Monitoreo de Gases y Fuentes Termales, verifica la disponibilidad de la información procedente de los equipos asignados, asimismo, está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos y coordina con el Equipo de Soporte (Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos o Redes Geofísicas) si hubiera algún problema.

VI. INSTRUMENTOS DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES

6.1 Estación MultiGAS

El MultiGAS (Sistema Analizador de Gases Multicomponente) es un instrumento para la detección de la concentración de H₂O, CO₂, SO₂, H₂ y H₂S en columnas volcánicas a una velocidad de 0,5 a 1 Hz.

El principio de medición se basa en bombear el gas objetivo (a través de la entrada), por medio de una serie de sensores de gas específicos, calibrados en laboratorio (IR y electroquímicos) y leer sus señales de salida utilizando un registrador de datos comercial (que también permite el almacenamiento de datos en una tarjeta de memoria SD). Ver Figura 1.

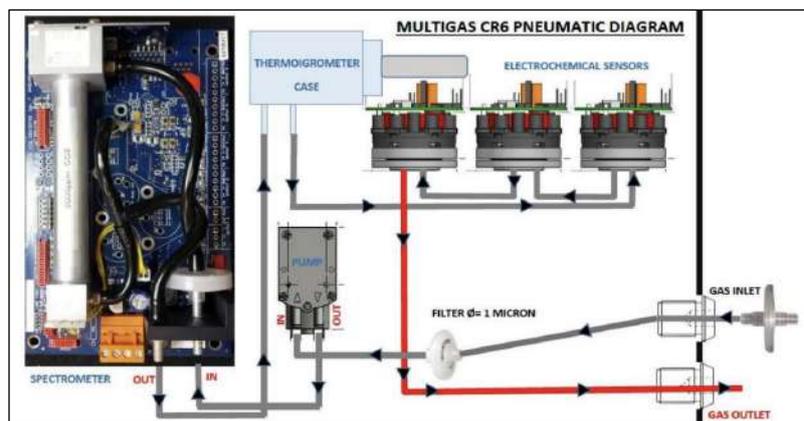


Figura 1.- Diagrama de medición del equipo multigas.

6.1.1 Adquisición de datos en campo de la estación MultiGAS

Actualmente, el IGP cuenta con 2 estaciones MultiGas, 1 en el volcán Sabancaya y 1 en el volcán Ubinas, instaladas permanentemente pero que aún no cuentan con telemetría, es por ello que la adquisición de

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

datos se realiza de manera periódica en campo, extrayendo directamente del equipo la tarjeta de memoria del data-logger, como se indica en la Figura 2. El procedimiento para realizar esta labor se describe en los siguientes pasos: 1) Retirar la tapa del portatarjetas de memoria; 2) retirar la tarjeta de memoria y 3) colocar en su lector de tarjetas de memoria conectado a su PC. Recuerde reasignar la tarjeta de memoria en su soporte en el registrador de datos MultiGas antes de la siguiente adquisición; de lo contrario, no se permitirá realizar más adquisiciones.

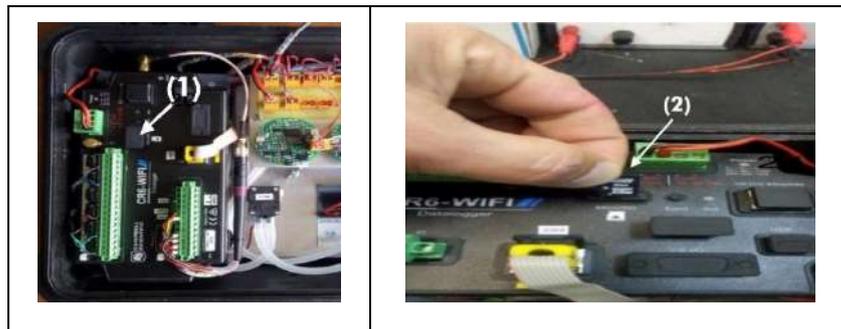


Figura 2.- Equipo MultiGAS: pasos para la extracción de la tarjeta de memoria SD.

Una vez extraída la tarjeta de memoria se procede a insertar dicha tarjeta en una computadora portátil. Cada adquisición de MultiGAS está asociada a un archivo *.csv específico, contenido en el directorio principal (Figura 3). Si se han iniciado varias adquisiciones durante las mediciones aparecerá una cantidad equivalente de archivos en el directorio de la tarjeta de memoria. Cada archivo se identifica por la hora de inicio de la adquisición (hora GPS) en el formato MGID_AAAAMDDHhmm (ejemplo: manitoba_201903181106.csv). Seguidamente se guarda una copia del archivo de adquisición en una PC. Una vez realizado la copia puede borrar de la tarjeta de memoria. No toque los archivos *.txt a menos que sea necesario (Figura 3).

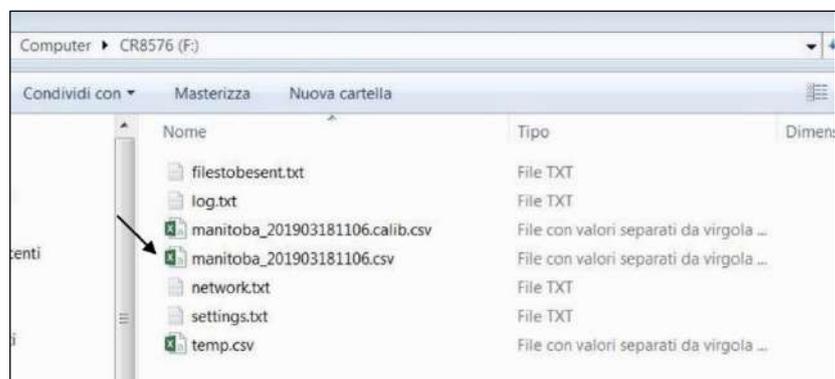


Figura 3.- Captura de pantalla del directorio principal de la tarjeta SD extraída.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Cada archivo de adquisición se puede abrir en un editor de texto. La estructura de cada archivo se ilustra en la Figura 4. Cada uno contiene un conjunto de señales coadquiridas. Las unidades están en ppm (para gases), % (para Rh), °C (para la Temperatura), mbar (para la Presión), mV (voltaje de la batería).

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	SO2	H2S	H2	CO2	Rh	Tair	Pressure	Lat	Long	VBatt		
18/03/2019 09:53	0.021721	0.32634	0.08593	512.3316	48.10809	21.73255	1016.6	38.1105	13.3739	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.009411	0.317864	0.118511	491.8135	48.1132	21.73259	1016.6	38.1105	13.3739	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.008484	0.31612	0.045776	480.6218	48.10181	21.73285	1016.6	38.1105	13.37389	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.009529	0.311012	0.035587	476.8912	48.10838	21.73347	1016.6	38.1105	13.37389	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.008808	0.306564	0.125828	472.8497	48.11219	21.73318	1016.6	38.1105	13.37389	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.006672	0.332123	0.362267	478.4456	48.15442	21.73382	1016.6	38.1105	13.37389	12.38215		
18/03/2019 09:53	0.00898	0.32201	0.104221	499.8964	48.17969	21.7348	1016.6	38.1105	13.37389	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.008678	0.306709	0.107674	493.057	48.25316	21.73564	1016.6	38.1105	13.3739	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.008709	0.308159	0.410969	497.4093	48.33758	21.73513	1016.6	38.1105	13.3739	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.005436	0.313309	0.468983	495.8549	48.3981	21.73512	1016.6	38.1105	13.37391	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.009384	0.329983	0.263493	485.9067	48.43098	21.7356	1016.6	38.1105	13.37391	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.005383	0.32225	0.303661	492.1243	48.44359	21.73652	1016.6	38.1105	13.37391	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.009636	0.338791	0.335075	558.342	48.44327	21.73642	1016.6	38.1105	13.37391	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.012959	0.346672	0.467701	565.4922	48.41778	21.73697	1016.6	38.1105	13.37391	12.45314		
18/03/2019 09:53	0.006351	0.324368	0.128826	571.0881	48.40821	21.73754	1016.6	38.1105	13.37391	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.006405	0.303677	-0.20712	565.8031	48.38643	21.73798	1016.6	38.1105	13.37391	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.00771	0.290058	-0.55556	564.5596	48.36882	21.73745	1016.6	38.11048	13.37388	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.004528	0.292694	-0.71858	564.8705	48.34325	21.73804	1016.6	38.11048	13.37388	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.007069	0.287346	-0.45895	561.1399	48.32259	21.73931	1016.6	38.11048	13.37388	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.005627	0.304543	-0.65934	551.5026	48.30771	21.73978	1016.6	38.11048	13.37388	12.3669		
18/03/2019 09:53	0.004784	0.304453	-0.67086	546.8394	48.30306	21.73903	1016.6	38.11048	13.37388	12.3669		

Figura 4: Captura de pantalla que muestra la estructura de un archivo de adquisición MultiGas

6.1.2 Procesamiento de la estación MultiGAS

Una vez adquirido los archivos de lectura, los pasos a seguir para el procesamiento de la data son los siguientes:

- Ejecutar el programa “Ratioclac.exe” y seleccionar el archivo (Y:\CENVUL\geoquimica\data\gases) que se va a procesar de acuerdo como se muestra en la Figura 5.

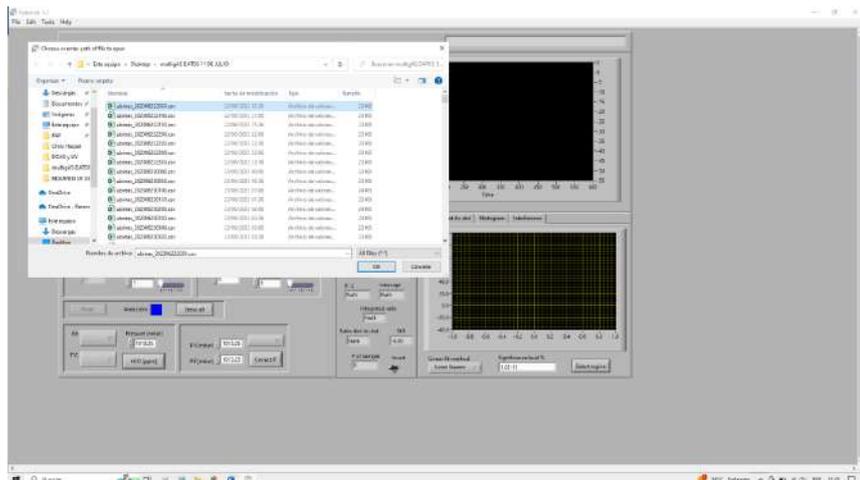


Figura 5.- Selección de archivo para iniciar el procesamiento.

Seguidamente se procede a calcular los parámetros necesarios para iniciar la correlación de los gases CO_2/SO_2 .

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- Parámetro 1: H₂Ocalc.**- El parámetro se calcula seleccionando la humedad relativa y la temperatura del gas (Figura 6, punto 1 y 2), seguidamente colocamos la presión promedio (Figura 6, punto 3), ello de acuerdo a los valores que muestre nuestro archivo. Finalmente se presiona el botón H₂O, el cual calculará el valor de H₂Ocal indicando el mensaje “H₂O ha sido calculado” y el valor se mostrará en las listas plegables (Figura 6, punto 5 y 6), para su posterior uso.

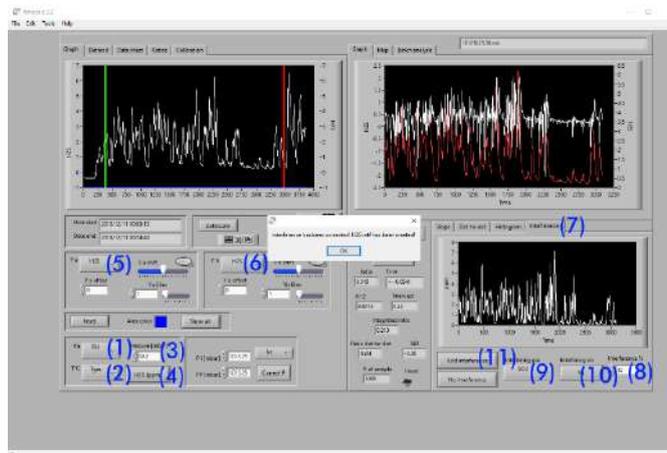


Figura 6.- Cálculo del valor de H₂Ocal.

- Parámetro 2: H₂S-intef.**- El valor se calcula seleccionando el ítem de H₂S (Figura 6, puntos 5 y 6). Seguidamente se selecciona “interference” (Figura 6, punto 7), y se coloca un valor que puede oscilar entre 10% y 15% (generalmente es 12% para volcanes peruanos) (Figura 6, punto 8), seleccionamos el valor de SO₂ (Figura 6, punto 9) que genera cierta interferencia con el sensor electroquímico de H₂S; seleccionamos Ya o Yb (Figura 6, punto 10) y finalmente seleccionamos “add interference” (Figura 6, punto 11). Después de esto nos aparece un mensaje que nos dirá que la interferencia ha sido corregida y se agregará a la lista de valores (Figura 6, puntos 5 y 6), este dato se calcula para tener un valor más exacto de SO₂, el cual usaremos para tener una correcta relación CO₂/SO₂.

Una vez obtenidos estos parámetros calculamos la relación CO₂/SO₂.

- Cálculo de la relación CO₂/SO₂.**- Para el cálculo de esta relación primero seleccionamos CO₂ y SO₂ (Figura 7, puntos 1 y 2), seguidamente se corrige la concentración de CO₂ restando el valor del ambiente (Figura 7, puntos 3), generalmente 400 ppm, luego con las líneas verde y roja (Figura 7) buscamos un área entre ellas cuyas características sean las siguientes:
 - “Plume marker” colocar como gas al SO₂ (Figura 7, puntos 4).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- R² mayor a 50% (Figura 7, puntos 5), este dato depende de la cantidad de datos y de la precisión de las lecturas.
- Numero de datos mayor a 100 (Figura 7, puntos 6).

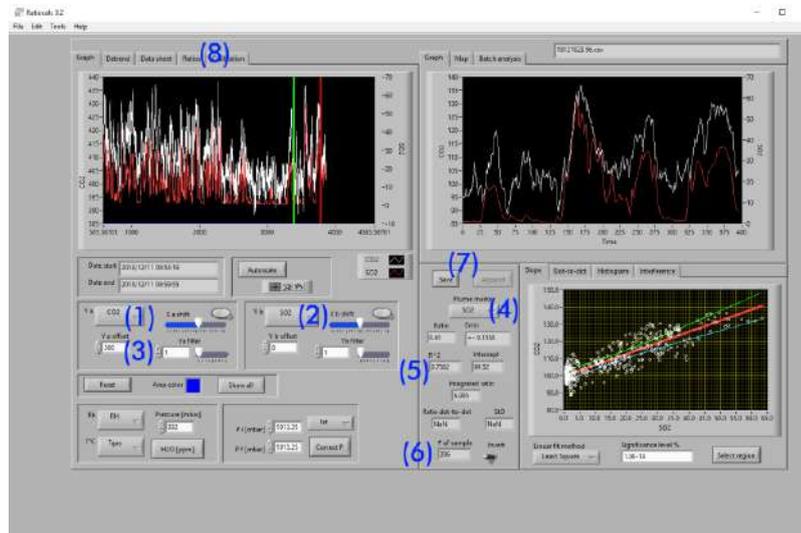


Figura 7.- Parámetros para el cálculo de la relación CO₂/SO₂.

Para finalizar procedemos hacer clic en “save” (Figura 7, puntos 7), luego nos aparecerá un cuadro de texto, le damos aceptar. Seguidamente se creará un archivo con el mismo nombre del archivo inicial con la extensión *.calc; luego iremos a la pestaña “RATIOS” (Figura 7, puntos 8), donde encontraremos el valor de la relación en la columna “ratio value”.

6.1.3 Análisis de datos de la estación MultiGAS

El análisis de los datos obtenidos se basa en la relación que existe entre los gases CO₂/SO₂, para lo cual se pueden presentar 4 escenarios:

- Relación CO₂/SO₂ mayores a 20 ppm corresponde a un nivel de actividad bajo.
- Relación CO₂/SO₂ entre 10 ppm y 20 ppm corresponde a un nivel de actividad medio.
- Relación CO₂/SO₂ entre 1 ppm a 10 ppm corresponde a un nivel de actividad alto.
- Relación CO₂/SO₂ menores a 1ppm corresponde a un nivel de actividad muy alto.

El incremento en los gases como CO₂, SO₂ y H₂S es un indicativo del incremento de actividad de un volcán en donde se encuentra instalada la estación MultiGas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.2 Estación DOAS

El DOAS emplea el método de Absorción Óptica Diferencial (Differential Optical Absorption Spectroscopy), el cual determina la densidad de un gas, a través de las mediciones de la estructura de las bandas de absorción en el espectro ultravioleta y visible de la luz. La absorción de SO₂ está en el rango aproximado de 300 - 350 nm. En general, el límite de detección instrumental es de aproximadamente 5 - 10 ppm, detectando flujos de 25 - 60 Ton/día, es decir 0.3 – 0.7 kg/s (Edmonds et al., 2003; Rodríguez & Nadeau, 2015).

El espectrómetro DOAS es un equipo configurado para captar mediante espectroscopia de absorción óptica diferencial, el dióxido de azufre (SO₂) emitido a la atmósfera por los volcanes, generalmente a través de las plumas volcánicas.

6.2.1 Adquisición de datos con el equipo DOAS

6.2.1.1 Consideraciones en campo

- El equipo DOAS se puede instalar a una distancia que va desde algunos metros hasta máximo 10 km de la zona de medición. Idealmente, se recomienda hacer las mediciones a una distancia de 4 y 5 km para evitar hacer correcciones por dilución de la luz.
- En el caso que la pluma ascienda verticalmente y se desplace hacia los lados, se debe iniciar la medición en cielo completamente limpio y el escaneo debe cortar la pluma, y continuar el escaneo hasta un punto que la pluma sea imperceptible visualmente.
- Para encender el espectrómetro, se conecta el cable de energía en la entrada de color amarillo “Output”. En la entrada “Input”, es para cargar la batería del equipo.
- Se conecta el espectrómetro encendido a una laptop mediante un cable USB A.
- Se inicia el software “SpecScan” ubicado en el escritorio del computador.

6.2.1.2 Consideraciones durante la medición

- En el primer escaneo se deben ajustar los parámetros de entrada. Al iniciar debemos seleccionar “ACQUIRE” y para detener el proceso seleccionamos “STOP SCAN”. El equipo termina el barrido en curso y el lente se ubica en la posición inicial, para dar comienzo a un nuevo escaneo.
- Se recomienda comenzar el escaneo en parte limpia de cielo, para obtener un buen espectro limpio “Clear”.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- Primer gráfico (Figura 8, punto 1), se debe revisar si el espectro se ajusta dentro del recuadro amarillo (curva roja de la pluma volcánica “Plume” y verde del espectro limpio “Clear”). La curva debe formar una línea diagonal, sin salirse del recuadro amarillo. Si la pendiente es muy baja o cercana al “Dark spectrum” (curva azul “Dark”), se debe aumentar el valor de “Integration time (ms)” y realizar un nuevo escaneo. Si la curva está saturada (sale del recuadro amarillo), se debe reducir el valor de “Integration time (ms)” y realizar un nuevo escaneo.
- La opción “Co-adding spectra” permite obtener múltiples mediciones en un mismo ángulo, con el fin de reducir el ruido. El resultado registrado será el promedio de las mediciones en tal punto. Para mediciones rápidas de las plumas se ajusta en 1, para reducir el ruido se puede ajustar en 2 o 3.
- La opción “Scanning range”, permite ajustar el ángulo de barrido del espectrómetro. Durante el barrido, cada 1,8° se realiza una medición.
- En la opción “plume distance” se debe colocar la distancia aproximada del punto de medida hacia el cráter y en la opción “plume speed” se debe colocar el dato adquirido de velocidad de viento que será tomado con un anemómetro antes de iniciar la lectura.
- Para comenzar el escaneo se selecciona “ACQUIRE”. Se debe revisar si el espectro (curva verde y roja) se ajusta dentro del recuadro amarillo en una línea diagonal, sin saturarse (Figura 8, punto 1). Si la pendiente es muy baja o cercana al “Dark spectrum”, se debe aumentar el “Integration time (ms)” y realizar una nueva adquisición.
- Para terminar el escaneo se debe presionar “STOP SCAN”.



Figura 8.- Interfaz del programa PySpec. (1) Datos de columna claro-oscuro y (2) densidad de columna medida

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.2.2 Procesamiento de datos obtenidos con el equipo DOAS

- En PySpec se carga el archivo del escaneo a procesar, para ello cargamos el archivo ubicado en: Y:\CENVUL\geoquimica\data\DOAS
- Luego, seleccionamos la carpeta de escaneo a analizar, la cual corresponde a la carpeta con el nombre “Scan_...”. Posteriormente se carga en el programa presionando “Load Scan”.
- Por defecto, el programa tiene seleccionado la opción “Batch process”, la cual permite procesar todos los espectros de un escaneo de una sola vez. Si se deselecciona esta opción, cada espectro del escaneo es revisado por separado y se avanza con el siguiente al seleccionar “NEXT SPECTRUM”. Esta opción es útil para ir ajustando la curva de referencia con respecto al espectro registrado en la Figura 9, gráficos 1 y 2.
- Se pueden cambiar los espectros del escaneo, tanto el “clear” como el “dark”, por el mejor registrado durante el escaneo. Para ello se debe copiar y pegar el mejor espectro obtenido (archivo con terminación “_clear” o “_dark”) en un periodo cercano. Preferentemente, al realizar un cambio de este tipo se debe copiar la carpeta y renombrarla. En la copia podemos realizar todos los cambios.
- Al realizar este cambio, se debe verificar que en los archivos reemplazados se haya realizado con el mismo tiempo de integración “Integration time (ms)” y mismo ángulo de barrido “Scanning range (o)”.
- El archivo “_clear” puede ser cambiado por cualquiera que represente mejor el espectro de cielo limpio, desde los archivos de escaneo de la pluma, con extensión “_plume”. Para ello, se debe modificar la extensión del archivo “_plume” a “_clear”. Sin embargo, dentro del programa “PySpec” puedes realizar este cambio seleccionando un archivo de extensión “_plume” como “clear spectrum file” (Figura 9).

Al realizar el post procesamiento de los datos, se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- Ajustar los parámetros de “Plume distancia [m]:” y “Plume speed [m/s]:”
- Primer gráfico (Figura 9, gráfico 1), revisar si la curva de “Dark” (curva azul) es relativamente plana. Si no lo es, se debe reemplazar el archivo con extensión “_dark” en la carpeta del escaneo a post procesado.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- Segundo gráfico (Figura 9, gráfico 2), revisar si las curvas de referencia (curva roja) se ajustan a la curva del espectro medido (curva azul). Para ajustar la curva, se debe modificar los valores de “Shift spectrum” y “Strech spectrum” hasta que el valor de “STD error” (error estándar) sea el mínimo. Además, si los valores de densidad de la columna esta entre los 10 ppm.m y 20 ppm.m, indica que se está observando solo ruido, por lo cual no puede ser ajustado.
- Tercer gráfico (Figura 9, gráfico 3), preferentemente la curva debe presentar una forma de campana de Gauss. Determinar que archivo presenta los menores valores en la columna de concentración, para ser utilizado como espectro limpio “clear”. Se busca el archivo correspondiente a tal espectro y se selecciona en “Select clear spectrum:”.
- Se revisa la tasa de emisión en “Scan emission rate [kg/s]” y “Scan emission rate [t/day]”, se reporta el valor que más se ajuste a una campana de Gauss (Figura 9, gráfico 3).

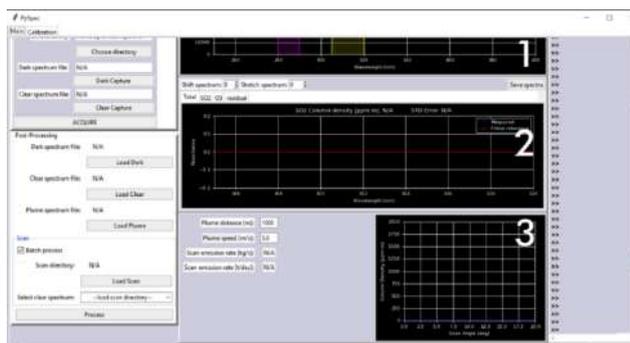


Figura 9.- Interfaz del programa PySpec para el procesamiento de data DOAS. (1) Datos de columna claro-oscuro, (2) densidad de columna medida y (3) grafica ángulo de barrido vs densidad de columna SO₂.

6.2.3 Análisis de datos del equipo DOAS

El análisis de los datos obtenidos se basa en la cantidad (ton/día) de SO₂ emitido por un volcán determinado para lo cual se pueden presentar 4 escenarios:

- Flujo de SO₂ menores a 1000 Ton/día corresponde a un nivel de actividad bajo.
- Flujo de SO₂ entre 1000 ton/día y 5000 ton/día corresponde a un nivel de actividad medio.
- Flujo de SO₂ entre 5000 ton/día a 10000 ton/día corresponde a un nivel de actividad alto.
- Flujo de SO₂ mayores a 10000 ton/día corresponde a un nivel de actividad muy alto.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

El incremento en los flujos SO₂ es un indicativo del incremento de actividad de un volcán.

6.3 Monitoreo de Fuentes Termales

6.3.1 Temperatura

Actualmente, en el monitoreo de las fuentes termales en volcanes se está utilizando termómetros de alta precisión y la adquisición de datos está en una fase inicial.

Una vez ubicada las fuentes termales ligadas a un volcán o fuentes fumarólicas en el interior del anfiteatro, se procede a medir la temperatura a fin de localizar el punto de mayor temperatura. Posteriormente, se toma las coordenadas del punto y se caracteriza la fuente termal para realizar futuras medidas. Para este fin, se utiliza un moderno termómetro digital, el cual, mediante una sonda, se introduce al intersticio de la fuente o fumarola por donde emanan gases o agua (Figura 10).



Figura 10.-Instalación del termómetro, medición de temperatura y toma de coordenadas de la fuente.

6.3.2 Parámetros físico-químicos

Para la toma de medidas de los parámetros físico-químicos (pH, conductividad y TDS) se utiliza un equipo multiparámetro de la marca Hanna la medida se realiza de manera directa introduciendo el sensor del equipo en la fuente termal y esperando desde 3 minutos hasta que se establezca la medida como se muestra en la Figura 11. Se realiza la medida 3 veces y se registra en la libreta de campo; en total se realizan 9 medidas por fuente termal las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- 3 medidas de pH.
- 3 medidas de conductividad.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- 3 medidas de TDS.



Figura 11.- Medición de parámetros físico-químicos en fuentes termales.

El incremento en la temperatura y los parámetros físico-químicos indican el incremento de actividad volcánica.

6.4 Series de tiempo de Gases y Fuentes Termales

Las series de tiempo se componen de las mediciones finales recolectadas en campo de los gases H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2 y H_2S de manera temporal, así como, las medidas de los parámetros físico-químicos: temperatura, pH, conductividad y STD de las fuentes termales, obtenidas desde las estaciones de monitoreo o en puntos designados para tal fin.

6.4.1 Análisis de las Series de Tiempo

Ante la ocurrencia de cambios relevantes en la concentración o cambio en los parámetros físico-químicos de los Gases y Fuentes Termales que involucren la probabilidad de generarse una crisis volcánica, el analista de turno deberá informar inmediatamente al Coordinador(a) del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Edmonds, M., Herd, R., & Galle, B. (2003). Automated, high time-resolution measurements of SO₂ flux at Soufrière Hills Volcano, Montserrat. *Bulletin of Volcanology*, 65, 578–586.
- Rodríguez, L., & Nadeau, P. (2015). Resumen de las principales técnicas de percepción remota usadas en volcanes para monitorear las emisiones de gas en la superficie. *Rev. Geol. Amér. Central [online]*, 67-105.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 002-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 002-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

I. OBJETIVO

Establecer las instrucciones necesarias para realizar el monitoreo de la deformación volcánica en los volcanes activos del sur del Perú ligada a una erupción volcánica, una reactivación, o incremento de actividad volcánica, con el propósito de realizar el procesamiento de la información y generar series de tiempo de las diferentes técnicas que comprenden el catálogo de deformación volcánica.

II. BASE LEGAL

- 2.1 Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2 Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3 Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4 Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5 Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6 Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7 Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8 Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9 Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10 Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

El presente manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), encargado de realizar el monitoreo volcánico y la evaluación de peligros volcánicos. Comprende desde la descargar de los datos, el procesamiento de la información, la generación de series de tiempo de las diferentes técnicas relacionadas con el monitoreo de la deformación volcánica y la generación del catálogo respectivo.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1** El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de monitoreo de la Deformación Volcánica en sus distintas disciplinas o técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes.
- 5.2** Los analistas de Monitoreo de la Deformación Volcánica son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3** Cada analista que integra el equipo de Monitoreo de la Deformación Volcánica, verifica la disponibilidad de la información procedente de los equipos asignados, asimismo, está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos y coordina con el Equipo de Soporte (Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos o Redes Geofísicas) si hubiera algún problema.

VI. INSTRUMENTOS DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

6.1 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

Los sistemas GNSS, basados en el posicionamiento global por satélite, permiten determinar la posición de un receptor sobre la superficie de la Tierra en cualquier momento y lugar con un alto nivel de precisión. En el caso de los volcanes, el monitoreo de la Deformación Volcánica, continua y/o temporal, permite detectar desplazamientos milimétricos y monitorear tasas de deformación que sirven para evaluar la ocurrencia de una erupción volcánica, una reactivación o incremento de la actividad volcánica.

6.1.1 Descarga de datos GNSS

La descarga de datos es una rutina automatizada con scripts en Python que para el caso de las estaciones GNSS permanentes, se realiza a las 9:00 a.m. de cada día, y las estaciones de referencia se realizan a las 10:45 a.m.

La ubicación de los datos crudos se encuentra en la ruta \\10.0.10.10\Public\CENVUL\geodesia\data\gnss\rw*nombre_del_volcán *nombre_de_la_estación**año*. El mismo script convierte a formato TGD (caso de estaciones de marca Trimble que son archivos crudos formato *.T02), luego transforma el archivo a Rinex (formato universal) y posteriormente al formato compacto, los cuales se encuentran en la ruta \\10.0.10.10\Public\CENVUL\geodesia\data\gnss\rnx*nombre_del_volcán *nombre_de_la_estación**año*. Finalmente, el archivo es subido a una FTP de respaldo.

También se han elaborado scripts que descargan automáticamente los datos de las estaciones de referencia para restar la componente tectónica y analizar sólo la deformación del volcán. Asimismo, las efemérides,

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

archivos de ionosfera, entre otros utilizados para el procesamiento, se descargan en la ruta:

\\10.0.10.10\Public\CENVUL\geodesia\data\gnss\rnx\referencia*\nombre_de_la_estación**año*.

En caso, hubiera problemas con la transmisión de datos, o se necesita descargar un dato de una fecha anterior, los scripts se pueden ejecutar en la máquina virtual del servidor de nombre gamit (cuyo acceso es descrito en el punto siguiente) con los siguientes comandos en la ruta: \$cd /home/geofísico/automatic_gnss/.

- GNSS MS01: \$python3 MS01_auto.py
- GNSS UB01: \$python3 UB01_auto.py
- GNSS UB02: \$python3 UB02_auto.py
- GNSS SB01: \$python3 SB01_auto.py
- GNSS SB02: \$python3 SB02_auto.py
- GNSS de referencia: \$python3 referencia_efemeride1.py

Por defecto se descarga el dato disponible más reciente, pero se puede editar, abriendo el script con un editor de texto y cambiando el parámetro *a*, que indica el número de días hacia atrás. Por ejemplo, *a=1* indica el dato de ayer, *a=2* indica el dato de hace dos días (Figura 1).

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Instituto Geofísico del Perú

Script to download and convert MS01 files
@author: Katherine Vargas
"""

#import multiprocessing
from ftplib import FTP
import ftplib
from datetime import date, timedelta
import os
#import schedule
#import time
import subprocess
import gnsscal
import gzip
import shutil

#Choose date
a=1
today = date.today() - timedelta(a)
```

Figura 1.- Cabecera de script para descarga de datos de estaciones GNSS.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.1.2 Procesamiento de datos GNSS

Actualmente, el procesamiento de datos GNSS se realiza con el software GAMIT/GLOBK, desarrollado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (Herring et al., 2010), que se ejecuta en una máquina virtual con sistema operativo Ubuntu.

Para ingresar a la máquina virtual se ingresa desde la red del CENVUL (o previamente conectado al VPN del OVS) a la dirección <https://10.0.10.40:8006/> y se ingresa con las credenciales User name: gamit, y como Password: xxxx, mostrado en la Figura 2.



Figura 2.- Credenciales para ingreso a máquina virtual.

En la ventana se hace doble clic en pve20 → 102(vmgg) mostrado en Figura 3.

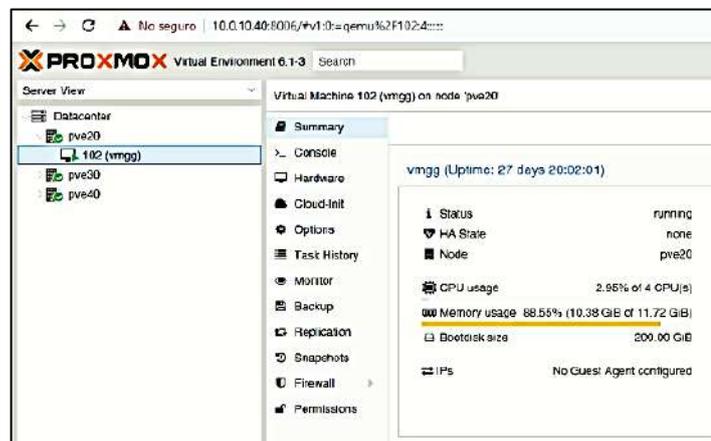


Figura 3.- Ventana para ingreso a máquina virtual.

En la máquina virtual, también se tiene una rutina en Python para ejecutar el procesamiento del último dato disponible, siguiendo el siguiente procedimiento en el terminal:

```
$cd /home/geofísico/VOLCANES/*año*/
$python3 sh_gamit.py
```


Sistema de Almacenamiento conectado a Red (NAS) o enviar por correo para trabajar las gráficas en una máquina con sistema operativo Windows.

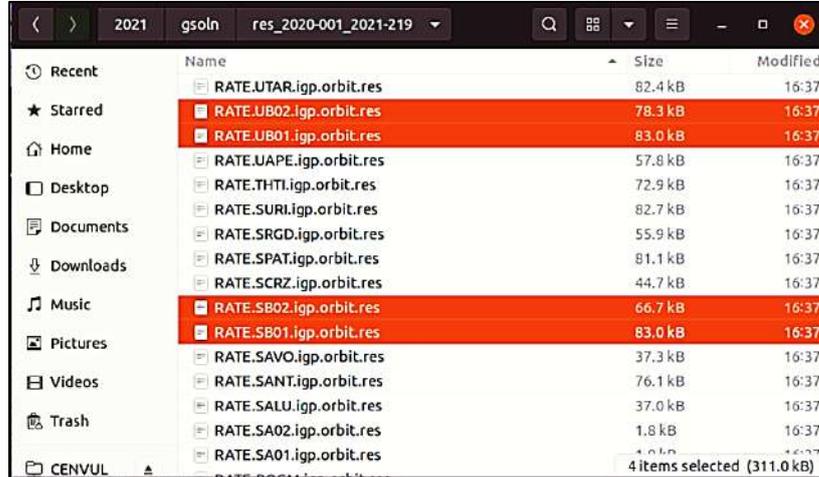


Figura 6.- Resultados de procesamiento de datos GNSS con los que se puede graficar las series de tiempo.

6.1.3 Generación de series de tiempo y catálogo de datos GNSS

Los resultados se abren en cualquier editor de texto, tienen la estructura mostrada en la Figura 7.

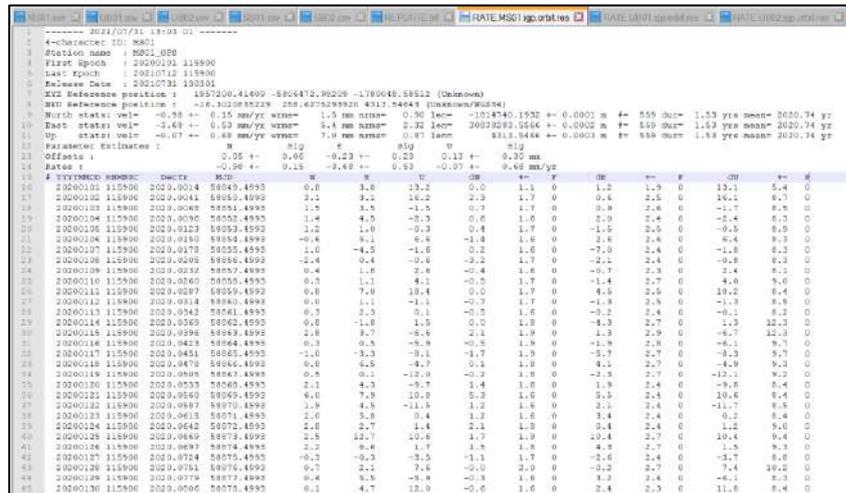


Figura 7.- Formato del catálogo de datos GNSS para elaboración de series de tiempo.

Estos son copiados en su totalidad y se importan desde un archivo Excel, llamado FORMATO_GNSS_diario.xlsx. Se elige la hoja que lleva el nombre de la estación y se pega en la celda A1. Luego se elige el menú Datos → Texto en columnas y en la ventana se hace clic en Finalizar (Figura 8). De esta manera se ordena en un nuevo formato, mostrado en la Figura 8, de color naranja en el lado derecho.

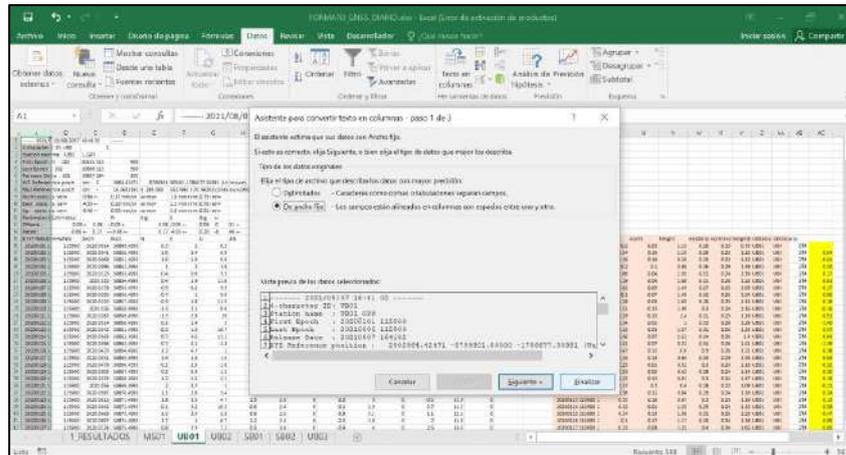


Figura 8.- Copiado de datos para formato de series de tiempo

Este formato, es amigable para las gráficas en Excel, para lo cual solo se debe escoger el eje horizontal, y elegir las fechas. En el reporte diario se incluyen dos gráficos: el primero que muestra un intervalo de tiempo de dos meses para un mejor análisis de la deformación diaria, y el segundo, que muestra una ventana de un año, que permite visualizar la tendencia de la deformación (Figura 9). En el reporte se indica si la tendencia de cada componente es positiva, negativa, o si no mostró cambios significativos, es decir, se encuentra entre los parámetros normales y está dentro del margen de error.

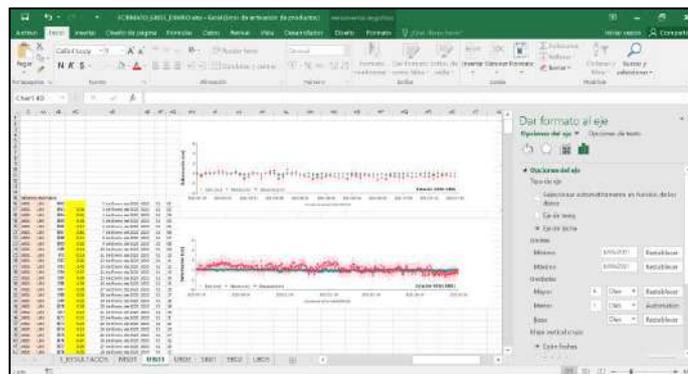


Figura 9.- Gráficas de series de tiempo para reportes diarios.

Otra información utilizada en los reportes diarios, es la deformación en centímetros respecto al día anterior, la cual se puede encontrar para cada estación GNSS, según el número de reporte en la hoja 1, nombrada 1_RESULTADOS (Figura 10). Si no hay dato para ese día, se muestra el código #N/A.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

	A	B	C	D	E	F	G
	Número	Fecha	MS01	UB01	UB02	SB01	SB02
471	104	14 de abril de 2021	-0.85	-0.50	-0.28	-0.05	-1.30
472	105	15 de abril de 2021	-0.95	+0.52	+0.04	+1.23	+1.45
473	106	16 de abril de 2021	+1.48	+0.32	+0.18	-0.16	+0.26
474	107	17 de abril de 2021	+0.03	-0.69	+0.15	+0.11	+0.07
475	108	18 de abril de 2021	+0.11	+0.58	+0.27	+0.16	+0.22
476	109	19 de abril de 2021	-0.05	+0.13	-0.20	-0.08	-0.04
477	110	20 de abril de 2021	+0.64	0.54	-0.03	-0.04	-0.63
478	111	21 de abril de 2021	+0.31	+0.22	+0.07	+0.54	+0.95
479	112	22 de abril de 2021	+0.23	+0.14	+0.20	-0.51	-0.02
480	113	23 de abril de 2021	-0.49	-0.40	-0.31	+0.13	+0.37
481	114	24 de abril de 2021	-0.21	0.23	0.34	-0.25	-1.59
482	115	25 de abril de 2021	+1.58	+0.20	+0.48	+0.01	#N/A
483	116	26 de abril de 2021	-0.51	+0.02	-0.21	-0.19	#N/A
484	117	27 de abril de 2021	-0.73	+0.27	+0.12	+0.67	#N/A
485	118	28 de abril de 2021	+0.09	-0.47	-0.37	-1.26	#N/A
486	119	29 de abril de 2021	+0.54	+0.46	+0.56	+0.99	#N/A
487	120	30 de abril de 2021	+0.14	-0.18	-0.01	-0.09	#N/A
488	121	1 de mayo de 2021	+0.16	-0.02	-0.06	-0.14	#N/A
489	122	2 de mayo de 2021	-0.73	0.41	-0.15	+0.24	#N/A
490	123	3 de mayo de 2021	-1.10	-0.79	-1.13	-0.40	#N/A
491	124	4 de mayo de 2021	+0.99	0.10	+0.23	-0.49	#N/A
492	125	5 de mayo de 2021	+0.72	+1.13	+1.10	+0.83	#N/A
493	126	6 de mayo de 2021	-0.33	0.96	0.20	-0.75	#N/A
494	127	7 de mayo de 2021	+0.05	-0.17	-0.44	+0.72	#N/A
495	128	8 de mayo de 2021	+0.44	-1.00	+0.78	+0.47	#N/A

Figura 10.- Deformación registrada en centímetros respecto al día anterior.

6.2 Inclínómetros

Los inclinómetros electrónicos son una herramienta útil para el control de la deformación mediante sus dos componentes E-O y N-S. La densificación de estos instrumentos y apropiada distribución en los cuatro cuadrantes de una zona volcánica o volcán activo permite el modelamiento de las fuentes que generan deformación previa a un proceso eruptivo, de este modo es posible determinar la posición del foco causante de la deformación al interior de un edificio volcánico de manera epicentral.

La efectividad de este instrumento radica en la alta sensibilidad de sus sensores que permiten detectar minúsculas deformaciones en un edificio volcánico, desde el orden de 0.1 μ rad; asimismo, su bajo costo y asequible instalación hacen que los inclinómetros electrónicos sean una herramienta accesible y efectiva en eventuales crisis o emergencias volcánicas.

6.2.1 Descarga de datos de inclinómetros

Para la descarga de datos es necesario contar con el software HeidiSQL versión 11.1.0.6 y configurarlo como se observa en la Figura 11. El software debe estar configurado de acuerdo a la VPN del OVS.

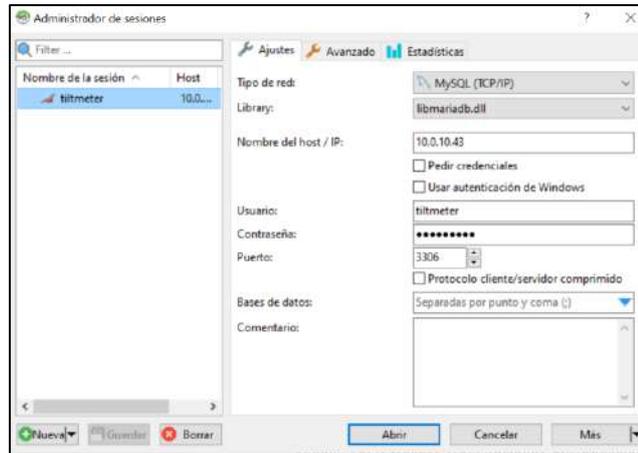


Figura 11.- Configuración del software HeidiSQL.

Una vez completa las configuraciones, se realiza la solicitud de datos de acuerdo a la fecha, estación y periodo de registro. A continuación, un ejemplo de cómo se debe realizar la solicitud:

USE tiltmeter;

SELECT distinct station FROM measurement;

*SELECT * FROM measurement WHERE station LIKE "CASI";*

Una vez hecha la solicitud, los datos se presentarán en columnas y filas según el código, start-time, estación, componente y dato de inclinación, como se observa en la Figura 12.

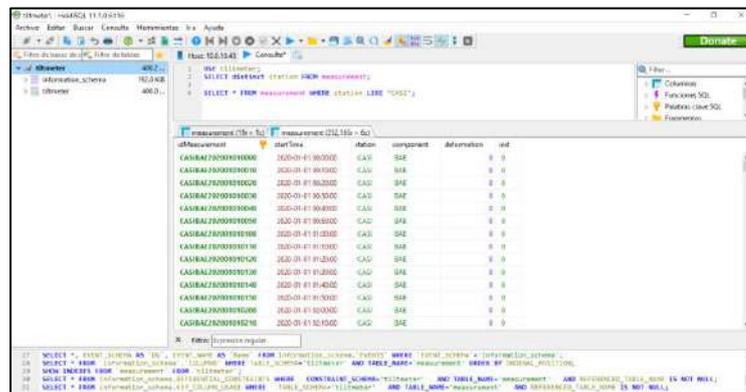


Figura 12.- Presentación de datos de inclinómetros.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.2.2 Procesamiento de datos de inclinómetros

De manera automática se realiza la corrección instrumental en base a las hojas de calibración. Es preciso señalar que cada instrumento tiene su propia hoja de calibración. Si bien es cierto, existe un manual donde se especifican las características de los equipos y ciertas equivalencias, este es genérico y no es adecuado para una óptima corrección.

La corrección instrumental consiste básicamente en transformar las unidades relativas (cuentas) a unidades del Sistema Internacional como radianes y temperatura, que luego son utilizados para el procesamiento de datos. Para ello, se utilizará la ecuación 1, que toma en cuenta como variables: el factor de conversión del digitalizador, la sensibilidad y la ganancia del inclinómetro.

$$U(t) = (LSB * sensibilidad) * cuentas \quad \dots (1)$$

$$U(t) = \left(\frac{mV}{cuentas} \right) * \left(\frac{\mu radian}{mV} \right) * cuentas(señal adquirida)$$

$$U(t) = \mu radianes$$

Luego se procede con la corrección de los datos llevando a cero los primeros registros para observar las tendencias de las dos componentes en un mismo gráfico. Asimismo, se han realizado algoritmos que procesan las señales cada 10 minutos y la generación de un dato (promedio de la amplitud de la señal). Por tanto, se obtienen en tiempo real datos que son graficados cada 10 minutos en las tres componentes (E, N y Temp.)

Para disminuir los efectos de la deriva diurna y obtener líneas de tendencias corregidas, se aplica el método de promedios móviles, técnica basada en el cálculo de medias aritméticas de subgrupos consecutivos.

El procesamiento de datos se realiza de manera automática y los resultados se observan en una plataforma web.

6.2.3 Generación de series de tiempo de datos de inclinómetros

Una vez que los datos están almacenados y procesados, son colocados en una plataforma web a la cual se accede mediante el siguiente link:

<http://10.0.10.45/tilt/>

El entorno de los datos se presenta del siguiente modo (Figura 13):

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Index of /tilt

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
AUQ1_Def.png	2021-08-06 11:51	112K	
AUQ1_HisDef.png	2021-08-06 02:02	54K	
AUQ1_HisOff.png	2021-08-06 02:02	49K	
AUQ1_HisSma.png	2021-08-06 02:02	49K	
AUQ1_Off.png	2021-08-06 11:51	100K	
AUQ1_Sma.png	2021-08-06 11:51	59K	
CAS1_Def.png	2021-08-06 11:51	29K	
CAS1_Off.png	2021-08-06 11:51	22K	
CAS1_Def.png	2021-08-06 11:51	73K	
CAS1_HisDef.png	2021-08-06 02:02	62K	
CAS1_HisOff.png	2021-08-06 02:02	61K	
CAS1_HisSma.png	2021-08-06 02:02	67K	
CAS1_Off.png	2021-08-06 11:51	67K	
CAS1_Sma.png	2021-08-06 11:51	52K	
CH41_Def.png	2021-08-06 11:51	29K	
CH41_Off.png	2021-08-06 11:51	22K	

Figura 13.- Entorno de datos de inclinómetros.

En el entorno se muestran las estaciones con las terminaciones *.def, que representa la gráfica con datos por defecto sin el filtrado del promedio móvil y con tres escalas; *.sma presenta datos con la aplicación del promedio móvil. Sumado a ello, la terminación _His, representa datos desde la instalación del equipo. En la Figura 14, se observa la gráfica de tendencia de la estación CHCH (Chachani) con datos graficados desde su instalación (_His) y con la aplicación del filtro de promedio móvil (*.sma).

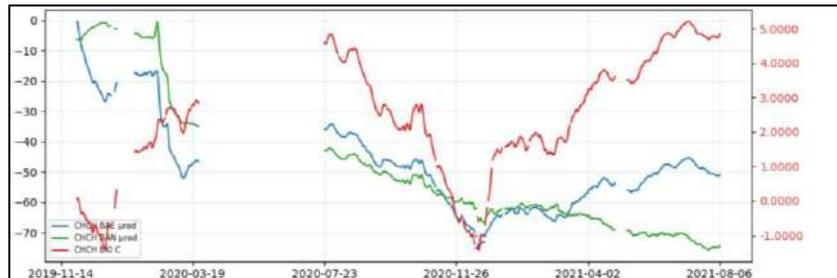


Figura 14.- Datos de inclinómetro CHCH

Para el análisis de datos se toma en consideración el concepto de linealidad, que consiste básicamente en una tendencia constante que puede ser generada por el mismo instrumento. Esto representa cambios a nivel del equipo y no de la superficie. Cuando un gráfico presenta linealidad no significa la ocurrencia de cambios superficiales. Por otro lado, también se debe tomar en cuenta la tendencia de la componente de temperatura que, si bien al momento de la instalación fue en gran parte eliminado, aún se observa fluctuación en los registros. Los cambios a nivel de esta componente también afectan las líneas de tendencia en las componentes E y N. Si hay paralelismo de alguna componente (E o N) con la componente

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

de temperatura significa que las tendencias no se generan por deformación superficial.

6.3 Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR)

Una herramienta efectiva para monitorear la deformación de los edificios volcánicos es la Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR), ya que, a diferencia de otras técnicas que dependen de la medición en diversos puntos, produce un mapa completo espacial de la deformación del suelo con una precisión en escala centimétrica. Este método geodésico emplea imágenes de dos o más satélites SAR para identificar y cuantificar la deformación en superficie. En base a los resultados obtenidos, se pueden aplicar modelos matemáticos para aproximar la deformación causada por actividad tectónica y volcánica.

6.3.1 Descarga de datos DInSAR

Para el procesamiento de imágenes SAR, se emplean las imágenes Sentinel 1, por su disponibilidad de manera gratuita. La descarga se realiza desde la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA) en el link <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, en esta web se dispone de un visor terrestre donde se puede seleccionar la zona a descargar. Para poder comenzar la descarga y selección de zonas, debemos estar registrados en la plataforma del visor Sentinel. Buscamos las imágenes con dos características (Figura 15):

- Amplia banda interferométrica (IW): Este modo combina un ancho de escena de 250 km con una resolución moderada de 5x20m.
- Complejo de una sola mirada (SLC): Tiene un nivel de procesamiento 1, georreferenciado utilizando datos de la órbita y la altitud del satélite.

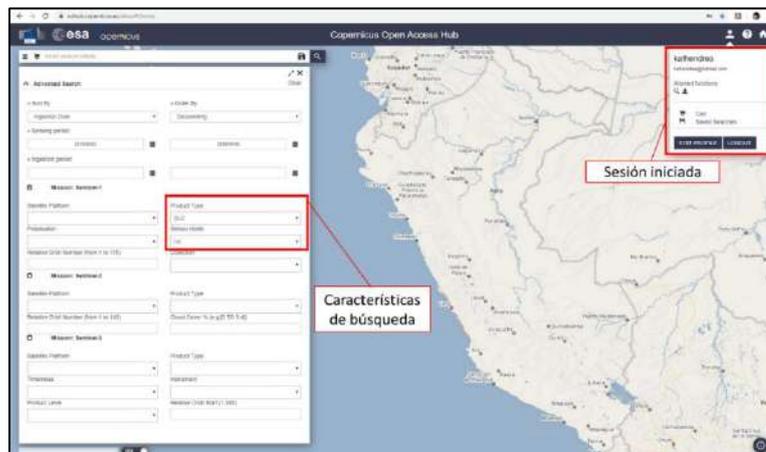


Figura 15.- Búsqueda de imágenes en la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA)

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Luego se procede a seleccionar las demás características de las imágenes a buscar, tales como el rango de fecha, el número de órbita relativo, y la polarización de la imagen. Se puede trabajar con cualquier tipo de polarización, pero asegurándonos que las dos imágenes a analizar sean del mismo tipo.

Aparecerá una lista con los resultados, se elige la conveniente y se pulsa el ícono  para iniciar la descarga (Figura 16). Sólo se puede descargar dos imágenes al mismo tiempo.

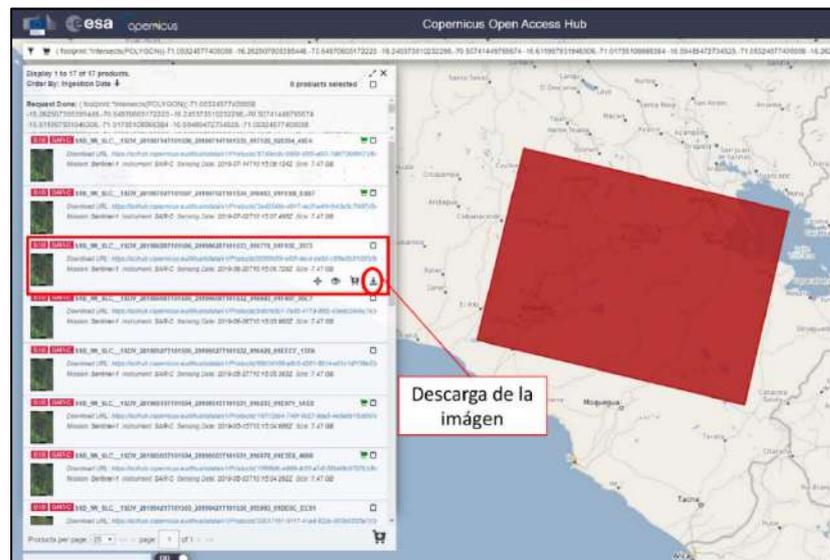


Figura 16.- Descarga de imágenes Sentinel 1 en la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA).

6.3.2 Procesamiento de datos DInSAR

El procesamiento de las imágenes se realiza en la aplicación SNAP, que es uno de los recursos gratuitos especializado en el procesado y análisis de imágenes de satélite junto a las herramientas Toolboxes propias de Sentinel. El procesado se ha realizado en base a los manuales de Veci (2016) y Fomelis (2017).

De manera general, el proceso inicia al importar las imágenes satelitales descargadas, una maestra (la más antigua) y otra esclava (la más reciente) con el menú File → *Open Product*. El proceso se automatiza en una rutina que puede importarse haciendo clic en el ícono  del software SNAP, encerrado en color rojo en la Figura 17. Posteriormente, en la ventana que aparece, se hace clic en Load y se abre la rutina *automatic_insar.xml* que se encuentra en la siguiente ruta:

\\10.0.10.10\Public\CENVUL\geodesia\data\interferometria.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

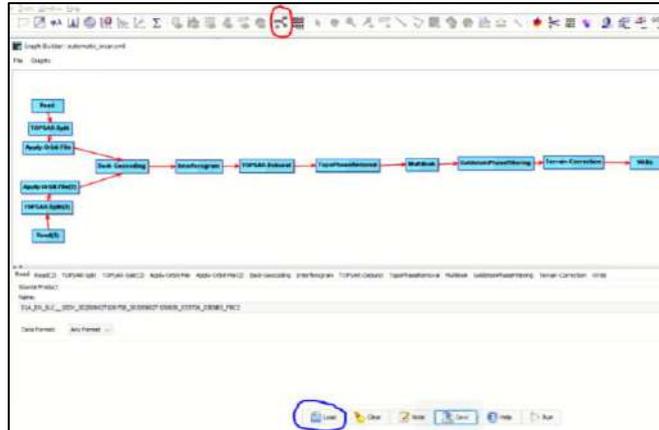


Figura 17.- Automatización de procesamiento en software SNAP

En esa ventana, solo se debe elegir la imagen maestra en *Read* y la imagen esclava en *Read(2)* y luego se hace clic en *Run*. Con ello se obtendrá un interferograma que se puede visualizar al hacer doble clic en *Phase*, siguiendo la ruta mostrada en la Figura 18, dentro del *Product Explorer* del software SNAP.

En caso haya un error en el procesamiento, se puede hacer el proceso paso por paso, siguiendo las siguientes rutas en el menú de SNAP:

- Radar → Coregistration → S1 TOPS Coregistration → S1 TOPS Coregistration. Se elige la imagen maestra en Read y la imagen esclava en Read(2) y se eligen un DEM de 1Sec en Back Geocoding.
- Radar → Interferometric → Products → Interferogram Formation
- Radar → Sentinel-1 TOPS → S1 TOPS Deburst
- Radar → Interferometric → Products → Topographic Phase Removal
- Radar → Multilooking
- Interferometric → Filtering → Goldstein Phase Filtering
- Geometric → Terrain Correction → Range-Doppler Terrain Correction

Con el producto del último paso, se abre tal como está indicado en la Figura 18, haciendo doble clic en *Phase*.

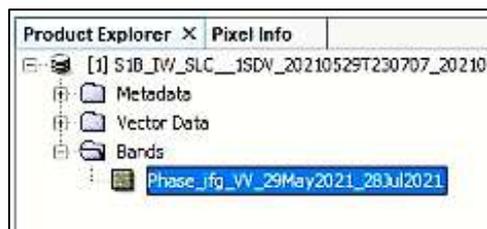


Figura 18.- Archivo Phase que contiene el interferograma.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3.3 Análisis de datos DInSAR

Para la interpretación de interferogramas se sigue el criterio de observación de colores, si va de $-\pi$ a $+\pi$ entonces se trata de un alejamiento del satélite o subsidencia de la superficie, si va de $+\pi$ a $-\pi$, la deformación se interpreta como un acercamiento del satélite, lo que representa una deformación positiva (Figura 19) o levantamiento del terreno. Cada franja completa representa una deformación de 2.8 cm para imágenes Sentinel 1.

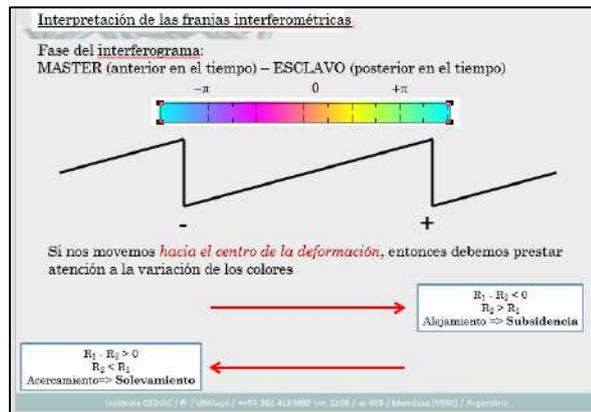


Figura 19.- Esquema del criterio usado para la interpretación de interferogramas obtenidos luego del procesamiento.

Además, para la interpretación y cuantificación de la deformación ocurrida en el entorno de los volcanes, es importante mencionar que en órbita ascendente el satélite capta la imagen de la superficie desde el sector oeste en sentido sur a norte, mientras que en órbita descendente el satélite capta la imagen desde el sector este en sentido norte a sur.

6.4 Análisis de las Series de tiempo de Deformación Volcánica

Ante la ocurrencia de cambios relevantes de deformación de un sector de un volcán o zonas adyacentes que involucren la probabilidad de generarse una erupción volcánica, incremento de actividad volcánica, colapso de flanco, crecimiento de domo de lava, etc., el analista de turno deberá informar inmediatamente al Coordinador(a) del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: OVS

VII. BIBLIOGRAFIA

- Foumelis, M. (2017). *ESA SNAP - Sentinel 1 Toolbox Differential SAR Interferometry using Sentinel-1 TOPS for Ground Displacement Measurements: The Philippines M6.9 Earthquake*. France: French Geological Survey (BRGM).
- Herring, T., King, R., & McClusky, S. (2010). *GAMIT Reference Manual, GPS Analysis at MIT, Release 10.4*. Cambridge, USA: Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Veci, L. (2016). *TOPS Interferometry Tutorial*. Array System Computing Inc.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 003-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 003-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES

I. OBJETIVO

Establecer las instrucciones básicas para realizar el monitoreo de los volcanes activos del sur del Perú mediante el empleo de Sensores Remotos Satelitales a través del procesamiento de la información para generar series de tiempo de las diferentes técnicas que comprenden dicho tipo de monitoreo volcánico.

II. BASE LEGAL

- 2.1** Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2** Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3** Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4** Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5** Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6** Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7** Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8** Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9** Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10** Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

El presente manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), encargado de realizar el monitoreo volcánico y la evaluación de peligros volcánicos. Comprende desde la descargar de los datos, el procesamiento de la información y la generación de series de tiempo de las diferentes técnicas relacionadas con el monitoreo mediante sensores remotos satelitales.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1 El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de monitoreo a través de Sensores Remotos Satelitales en sus distintas disciplinas o técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes.
- 5.2 Los analistas de Monitoreo mediante Sensores Remotos Satelitales son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3 Cada analista que integra el equipo de Monitoreo mediante Sensores Remotos Satelitales, verifica la disponibilidad de la información procedente de los equipos asignados, asimismo, está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos y coordina con el Equipo de Soporte (Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos o Redes Geofísicas) si hubiera algún problema.

VI. SISTEMAS DE MONITOREO SATELITAL

6.1 Middle InfraRed Observations of Volcanic Activity (MIROVA)

MIROVA es un sistema automatizado de detección de puntos calientes volcánicos desarrollado y operado por la Universidad de Torino, Italia (Coppola et al., 2015). Se basa en el análisis de imágenes adquiridas por el sensor MODIS, que se transporta en dos satélites de la NASA (Terra y Aqua). El algoritmo utiliza imágenes de las bandas infrarrojo medio (MIR a 3,959 μm) e infrarrojo térmico (TIR a 12,002 μm), adquiridas a una resolución nominal de 1 km, y combina análisis espectral y espacial para detectar la presencia de puntos calientes a través de subpíxeles.

El método MIR (Wooster, 2003) se utiliza para cuantificar el VRP (potencia de radiancia volcánica, en vatios), que es una medida combinada del área y la temperatura de radiación de la fuente volcánica caliente. Con una resolución temporal de 4 imágenes por día (2 de noche y 2 de día), MIROVA proporciona observaciones térmicas continuas de 220 volcanes a nivel global, con datos procesados y entregados dentro de 1 h a 4 h desde cada paso elevado de satélite.

Actualmente, el sitio web es utilizado de forma rutinaria por 17 observatorios vulcanológicos u otras instituciones a cargo del monitoreo de volcanes. Se puede acceder desde la siguiente página web: https://www.mirovaweb.it/?country_id=2015.

6.1.1 Sitio web y difusión de datos

La página de inicio del sitio web (Figura 1) está constituida por un mapa mundial que muestra todos los volcanes monitoreados a través de dicho sistema, y por una tabla que resume las últimas anomalías térmicas detectadas por el sistema (en orden cronológico).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

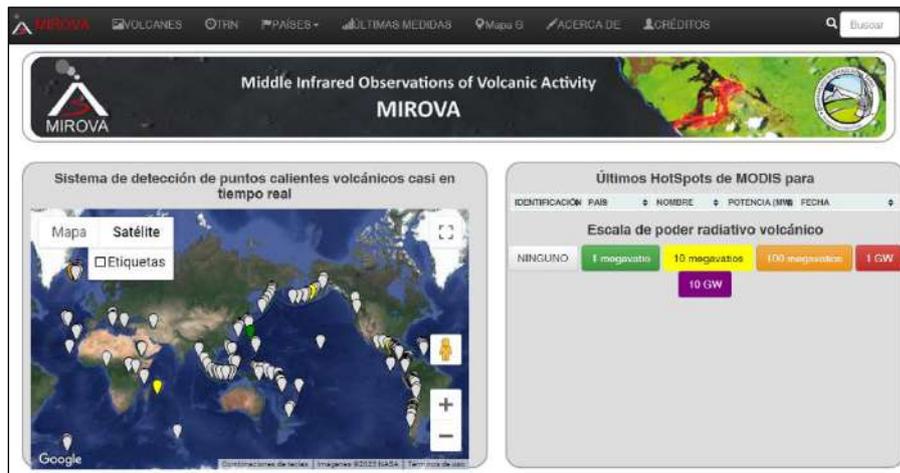


Figura 1.- Instantánea de la página de inicio del sitio web de MIROVA (https://www.mirovaweb.it/?country_id=2015 ; consultado el 18 de Julio de 2023).

Con el fin de identificar rápidamente la "magnitud térmica" del punto de acceso enumerado en la tabla mostrada, cada detección se representa a través de una escala de colores proporcional al logaritmo del VRP detectado. Esta escala se divide en cinco niveles distintos y cada detección térmica se clasifica según el VRP registrado (Figura 1).

El mapa interactivo y la tabla llevan al usuario a la página dedicada a cada volcán, donde los resultados gráficos específicos se actualizan aproximadamente cuatro veces al día (según el número de pasos elevados de MODIS) y están disponibles en línea de 1 h a 4 h después de la adquisición de la imagen. Los resultados consisten en las "Imágenes IR más recientes", "Serie de tiempo VRP", "Distancia desde la cumbre" y una "superposición de Google Earth" que se describen a continuación.

6.1.2 Imágenes Infrarrojas (IR) más recientes

La pantalla de Imágenes IR resume las últimas 10 adquisiciones MODIS sobre el volcán objetivo (Figura 2). Esta pantalla proporciona una visión general intuitiva y rápida del estado térmico de cada volcán durante las últimas 48 h (suponiendo cuatro imágenes por día). Cada imagen muestra un mapa en escala de grises según el NTI relativo a cada píxel. Cuando se detecta un punto de acceso, el VRP (en MW) informa debajo de cada imagen y el marco se colorea de acuerdo con la escala VRP. El cenit y el acimut del satélite también se muestran en la parte inferior de cada imagen permitiendo una evaluación rápida de las condiciones de la geometría de visualización. Esta información permite al usuario, que conoce la topografía del volcán, evaluar si las condiciones de observación son favorables o desfavorables para la detección de un punto caliente. Es importante enfatizar que el VRP y el código de color proporcionado por MIROVA no se corrigen automáticamente para las condiciones de adquisición

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

(nubes/geometría), sino que simplemente representan una medición de la radiación térmica detectada por el sensor.

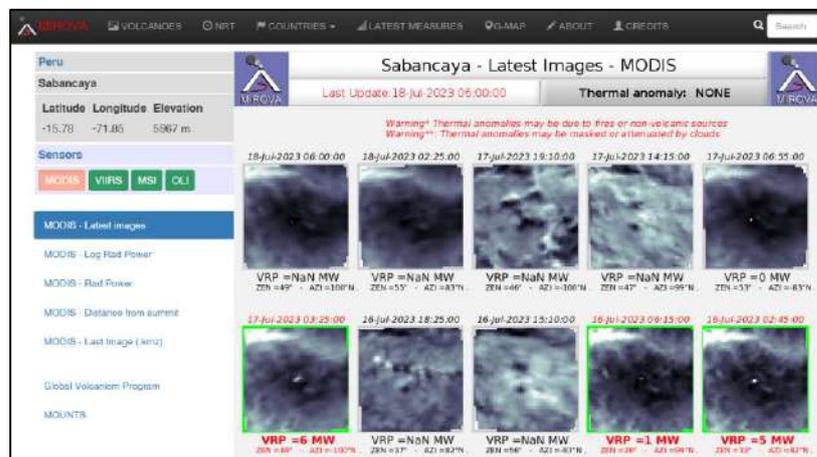


Figura 2.- Instantánea de la visualización de las últimas imágenes IR publicadas en el sitio web de MIROVA para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 18 de Julio de 2023).

6.1.3 Serie temporal de VRP

La serie temporal de VRP se puede mostrar en escala logarítmica y lineal. Esta serie resume los valores de VRP detectados en el mes y en años anteriores a la observación MODIS (Figura 3, panel superior e inferior, respectivamente). Cada barra azul representa una única detección (una escena MODIS) con una distinción entre anomalías proximales (los puntos calientes ubicados a menos de 5 km de la cumbre representados por barras azules) y distales (los puntos calientes lejanos ubicados a más de 5 km de la cumbre, representados por barras negras).

Las series de tiempo se muestran en escala logarítmica (Figura 3) para permitir la visualización de las grandes variaciones en la intensidad térmica que pueden acompañar a una sola erupción o un proceso eruptivo (hasta cinco órdenes de magnitud). Además, la escala logarítmica permite reconocer tendencias y patrones sutiles a largo plazo, como las caídas exponenciales que a menudo acompañan a una determinada fase de una erupción (Wadge, 1981). La extrapolación de estas tendencias ofrece un método rápido para detectar cualitativamente un cambio de los valores esperados, posiblemente asociado con una variación del comportamiento de la actividad volcánica en curso. Las mismas series temporales de VRP también se muestran con una escala lineal (Figura 3, botón "Rad Power" en el menú de la izquierda) para visualizar mejor los cambios de intensidad reales en la actividad térmica.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

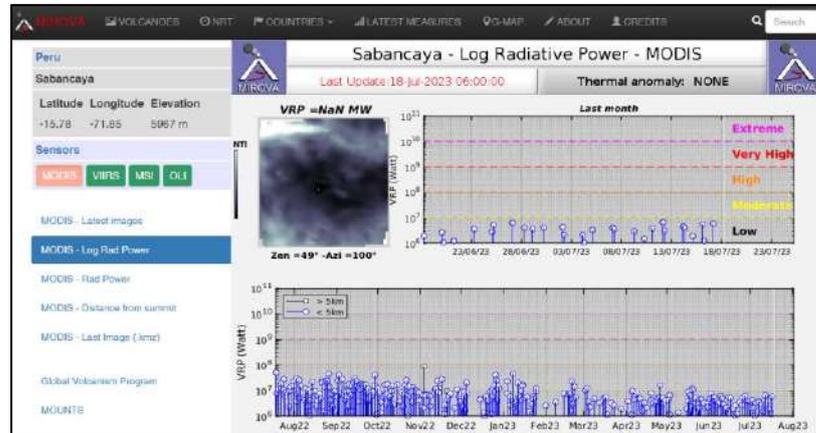


Figura 3.- Imagen de la pantalla "Registro de potencia de radiancia" publicada en el sitio web de MIROVA para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 18 de Julio de 2023).

6.1.4 Distancia desde el cráter

Muestra la distancia del píxel caliente más lejano del cráter del volcán, durante el último mes y el último año de actividad (Figura 4, panel superior e inferior, respectivamente). Este gráfico tiene dos propósitos: (1) identificar desplazamientos graduales de la anomalía térmica, y (2) detectar cambios repentinos en la ubicación del punto caliente.

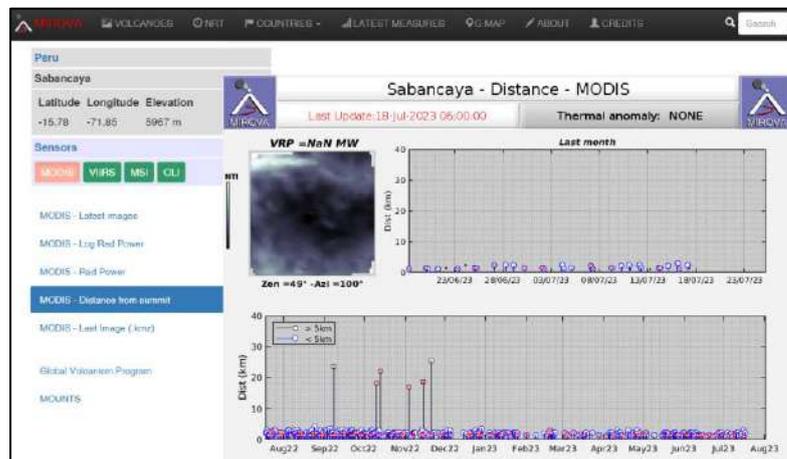


Figura 4.- Imagen del sistema MIROVA que muestra la cifra de "Distancia desde el cráter" para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 18 de Julio de 2023).

6.1.5 Superposición de Google Earth

La pantalla de superposición de GoogleEarth muestra la última imagen procesada superpuesta en el mapa de GoogleEarth, lo que permite ubicar la anomalía térmica y estimar sus dimensiones (Figura 5). En muchos casos, la superposición de las imágenes térmicas en el mapa de Google se puede usar para verificar si el punto de calor está ubicado dentro o fuera del cráter. La estimación de la ubicación del *hotspot* también es útil para

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

verificar si dicha anomalía térmica está asociada o no a un incendio forestal.

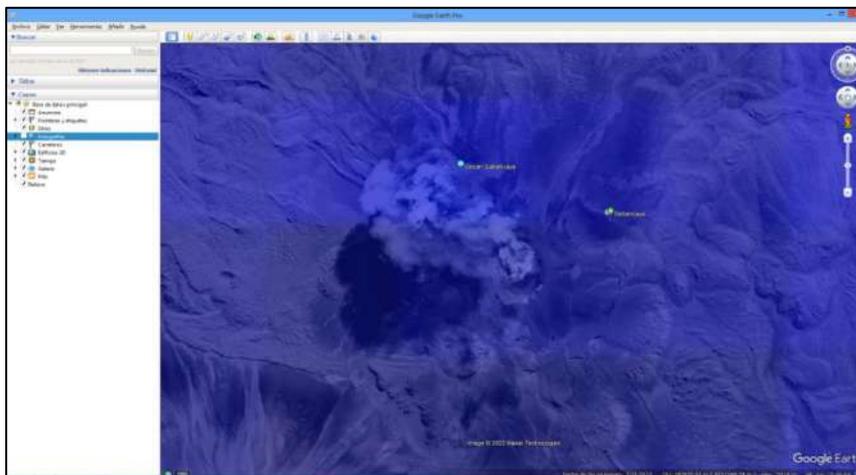


Figura 5.- Instantánea del archivo de MODIS – Last Image (.kmz) Google Earth descargada del sitio web de MIROVA para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 18 de Julio de 2023).

6.1.6 Análisis de la información de MIROVA

La información más útil que se puede obtener del sistema de detección de puntos calientes MIROVA, según los observatorios de volcanes, se resume en los siguientes cuatro parámetros:

- **Presencia o Ausencia de Anomalías Térmicas:** En el caso de MIROVA, solo detecta rasgos de alta temperatura, dicho aspecto se suele atribuir a la presencia de magma en la superficie o a muy poca profundidad (Laiolo et al., 2019).
- **Intensidad:** La intensidad de la anomalía térmica, denominada VRP, es el parámetro fundamental de MIROVA y constituye el principal valor añadido frente a otros sistemas capaces de detectar la presencia/ausencia de puntos calientes, sin cuantificar su intensidad en términos de energía irradiada.
- **Ubicación/dimensión del punto de acceso y su distancia desde la cumbre volcánica:** Con su píxel de 1 km, el sistema MIROVA no tiene la resolución espacial suficiente para localizar las fuentes eruptivas con precisión, sin embargo, en la mayoría de los casos, esta resolución moderada resulta ser suficiente para discriminar entre anomalías dentro del cráter.
- **Evolución Eruptiva, Tendencias y Patrones:** Junto con datos sísmicos, geoquímicos, visuales y deformación, MIROVA proporciona una verificación inicial del nivel y tipo de actividad en los volcanes.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.2 Volcanic Cloud Monitoring – NOAA/CIMSS

Es un sitio web de monitoreo de nubes volcánicas de NOAA/CIMSS, en donde existe información en tiempo casi real de muchos satélites geoestacionarios y de órbita terrestre baja que cubren gran parte de la Tierra. El contenido del sitio web es el resultado de proyectos de investigación sobre cenizas volcánicas financiados por la NOAA y dirigidos por el científico de la NOAA Michael Pavolonis.

Las imágenes satelitales y los bucles de productos derivados contienen datos de aproximadamente los últimos 28 días. La sección “Imágenes satelitales” está organizada por las regiones de responsabilidad del Centro de avisos de cenizas volcánicas (VAAC) con sectores sobre las ubicaciones históricamente más activas de esas regiones VAAC.

Actualmente son procesadas imágenes de los siguientes satélites:

- Geoestacionarios: GOES-EAST, GOES-WEST, SEVIRI y MTSAT.
- Órbita terrestre baja: MODIS (Aqua y Terra), VIIRS.
- Esta lista se actualizará a medida que se agreguen sensores (AVHRR, ABI, AHI, etc.).

La latencia de los datos varía según el sensor y el método de adquisición de datos. Cada alerta contiene un sello de fecha/hora de producción, que permite al usuario inferir la latencia. En general, la latencia de los datos es de 5 a 30 minutos para los satélites geoestacionarios, de 20 a 40 minutos para los satélites polares de transmisión directa y de 1 a 4 horas para los datos MODIS obtenidos a través de la fuente NASA LANCE Rapid Response Near Real Time.

Se puede acceder desde la siguiente página web:
https://volcano.ssec.wisc.edu/imagery/view/#sector:Peru_750_m::instr:ABI::instr:MODIS::instr:VIIRS::sat:all::image_type:RGB1112or13um_3911um_11um_Ash_Retv::endtime:latest::daterange:60

6.2.1 Imágenes de nubes volcánicas

Accediendo a la segunda ventana desde la página web de NOAA/CIMSS, se puede visualizar las imágenes de satélite de nubes volcánicas. Tales imágenes, presentan varias bandas procesadas en tiempo casi real de varios satélites geoestacionarios y de órbita terrestre baja que cubren gran parte del mundo a fin de identificar cenizas y gases volcánicos.

En el margen izquierdo de la Figura 6, se muestra los indicadores a seleccionar según el objetivo del usuario, dentro de los cuales están: el sector, el tipo de instrumento, el satélite, tipo de imagen, hora de finalización y el rango de fechas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

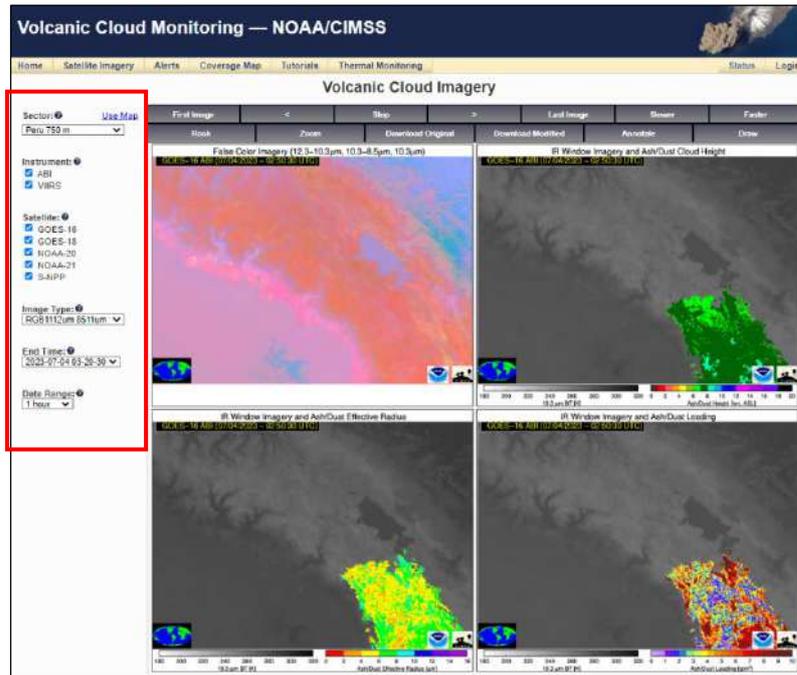


Figura 6.- Instantánea del archivo de Imágenes de nubes volcánicas del sitio web de NOAA/CIMSS correspondiente al Sur del Perú. Data del 2023-07-04.

6.2.2 Monitoreo térmico

Accediendo a la última ventana desde la página web de NOAA/CIMSS, se puede navegar en el panel de anomalías térmicas de VOLCAT. Dentro de esta opción se elige el volcán a analizar (Figura 7). La información; incluye (1) VRP (Figura 7A); (2) Eventos volcánicos (Figura 7B); (3) Métricas de temperatura de brillo (BT) (Figura 7C) e (4) Iluminación solar y ángulos de visión (Figura 7D).



Figura 7.- Instantánea del panel de anomalías térmicas del sitio web de NOAA/CIMSS correspondiente al volcán Sabancaya

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3 SLIDER (Satellite Loop Interactive Data Explorer in Real Time)

Este sitio web fue diseñado para reproducir imágenes GOES-R (16/17) y Himawari-8 en tiempo real. Las imágenes se muestran en diferentes niveles de zoom desde la vista completa (16 km) hasta la resolución completa de los canales visibles (500 m).

Las imágenes se ofrecen en 6 niveles de zoom que van desde 16 km (vista completa del disco) hasta 0,5 km (resolución completa de la banda visible de 0,64 μm), con capacidad de bucle completo en cada nivel de zoom (Figura 8).

Se puede acceder desde la siguiente página web:

https://rammb-slider.cira.colostate.edu/?sat=goes-16&sec=full_disk&x=11540&y=14259.25&z=5&angle=0&im=12&ts=1&st=0&et=0&speed=130&motion=loop&refresh=1&maps%5Bborders%5D=white&maps%5Bstates%5D=gold&maps%5Blat%5D=white&maps%5Bcities%5D=white&maps%5Bairports%5D=purple&maps%5Bstate_labels%5D=gold&p%5B0%5D=split_window_difference_grayscale&opacity%5B0%5D=1&pause=0&slider=-1&hide_controls=0&mouse_draw=0&follow_feature=0&follow_hide=0&s=rammb-slider&draw_color=FFD700&draw_width=6&q=1

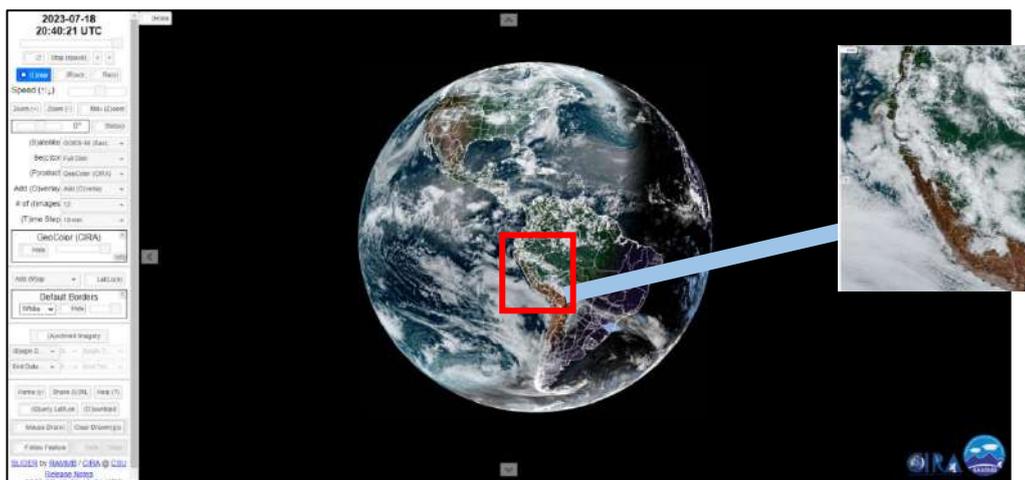


Figura 8.- Instantánea del sitio web SLIDER (Satellite Loop Interactive Data Explorer in Real Time).

6.3.1 Advertencias

- Para las Bandas Reflectoras Solares (M1-M11, I1-I3) en los meses de verano, más de la mitad de la imagen estará iluminada. En los meses de invierno, más de la mitad de la imagen será negra y se perderá información sobre los polos (pero aún tiene las bandas DNB e IR).
- Cuantos más datos VIS/NIR hay en el hemisferio norte, menos hay en el hemisferio sur (y viceversa).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- Las imágenes de resolución completa son 16 000 x 16 000 píxeles (bandas M y DNB), 32 000 x 32 000 (bandas I), lo que ejerce más presión sobre su navegador web que GOES-R ABI.
- Cada imagen de órbita individual contiene ~51 minutos de datos. Las marcas de tiempo de la imagen se configuran para que coincidan con el último gránulo VIIRS que cruza el ecuador en cada hemisferio. Considerar que no se tiene la capacidad de regresar y reprocesar los gránulos faltantes.
- Los datos S-NPP solo se transmiten desde Svalbard. Los datos de NOAA-20 se transmiten desde Svalbard y McMurdo. Esto significa que los datos NOAA-20 más recientes pueden llegar antes que los datos SNPP más antiguos. Las imágenes finales se envían a SLIDER una vez que se completa el procesamiento de S-NPP.
- Con la potencia informática actual, se necesitan ~50 minutos para procesar los ~100 minutos de datos de cada órbita (bandas M).

En la Figura 9, se muestra la función de cada ajuste que tiene el sitio web SLIDER; la hora en UTC y demás barras que van a permitir analizar una determinada zona.

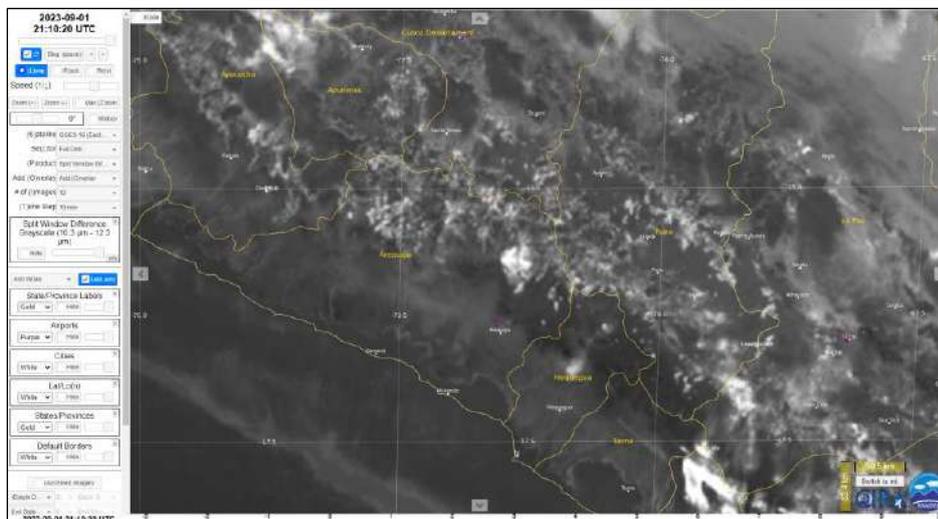


Figura 9.- Instantánea del sitio web SLIDER (Satellite Loop Interactive Data Explorer in Real Time), menú de ajustes para la visualización.

6.4 VOLCANOMS (Volcanic Anomalies Monitoring System)

Es un sistema creado con el código abierto Python™; es semiautomático y de bajo costo, basado en el uso de imágenes Landsat TM, ETM+ y OLI, a fin de detectar anomalías térmicas transitorias en las bandas infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo de onda corta (SWIR) y bandas térmicas infrarrojas (TIR), relacionadas con la actividad volcánica, a partir de una base de datos que está disponible desde diciembre de 1984. Este sistema puede calcular la radiación térmica, el

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

área de anomalía térmica, el brillo y las temperaturas efectivas, los flujos radiativos, los flujos convectivos y los flujos totales de calor y masa.

La página de inicio muestra un mapa del mundo, donde se muestran los volcanes activos en la base de datos VOLCANOMS (Figura 10A). De acuerdo con el tipo de actividad, los volcanes activos y los volcanes en erupción se pueden identificar en este mapa mediante diferentes íconos. Cada volcán tiene una ventana informativa donde se presenta información del tipo de volcán, sus coordenadas geográficas, tipo de actividad, altitud de cumbre, altura del edificio y el número de volcán de acuerdo al Smithsonian Institution - Global Volcanism Program (Figura 10A). Se puede acceder desde la siguiente página web: <http://volcanoms.ckelar.org/>.

Desde la ventana (Figura 10A) o desde el navegador se puede acceder a un volcán concreto con la base de datos completa de las imágenes procesadas mediante VIPS. Esta información; incluye (1) Información eruptiva geológica e histórica (Fig. 10B); (2) mapa de ubicación (Fig. 10B); (3) galería de fotos (Fig. 10B); (4) una serie de gráficos con información de radiaciones térmicas, áreas de anomalías térmicas, temperaturas efectivas y de brillo, y flujos de radiación, convección, gas, calor total y masa (Fig. 10C); y (5) una tabla con la base de datos completa, que incluye todos los parámetros térmicos (Fig.10D). Las imágenes presentadas son las imágenes disponibles/procesadas más recientemente, mientras que los gráficos y la tabla de la base de datos muestran los datos históricos, desde 1984 hasta el presente.

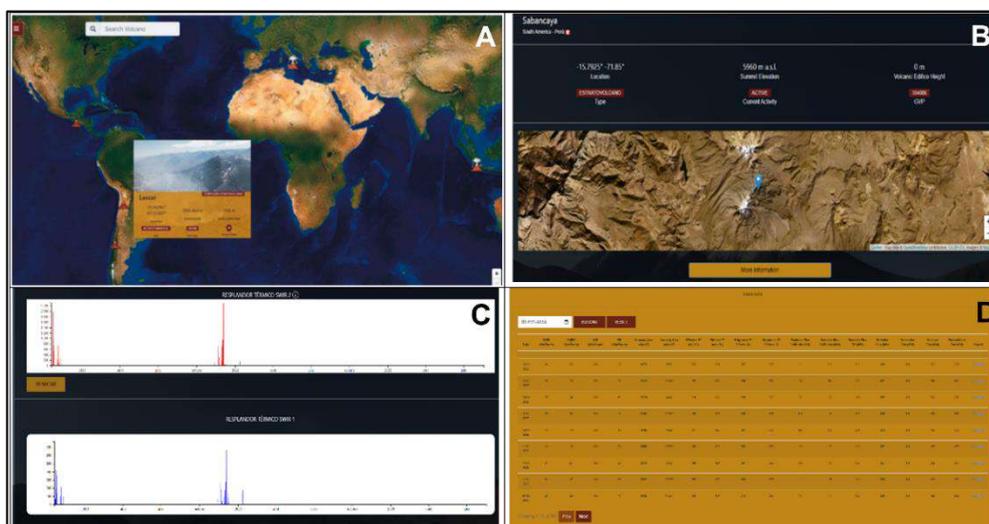


Figura 10.- Página web pública del Sistema de Monitoreo de Anomalías Volcánicas (VOLCANOMS) correspondiente al volcán Sabancaya. (A) Información general del volcán. (B) Sección gráfica. (C) Sección de base de datos. (D) Tabla de base de datos.

6.4.1 Accesibilidad

VOLCANOMS está disponible para tres tipos de usuarios, con diferentes niveles de accesibilidad: (1) un público no especializado, es decir, usuarios

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

con acceso gratuito a la plataforma en línea que pueden interactuar con los datos públicos y descargar los informes públicos. (2) usuarios de VIPS estándar, que están autorizados a cargar imágenes de Landsat, procesar datos utilizando VIPS en línea y generar un informe para un volcán específico; sin embargo, esta información no se agrega a la base de datos de VOLCANOMS. Este usuario está autorizado a través de una solicitud en línea después de registrarse en la sección VIPS. (3) Usuarios VIPS profesionales, que pueden cargar imágenes Landsat, procesar datos, generar informes de volcanes existentes en la base de datos VOLCANOMS y/o contribuir a los resultados de un nuevo volcán, que se agregan a la base de datos.

6.5 MOUNTS (Monitoring Unrest from Space)

Es una plataforma de monitoreo de volcanes que tiene como objetivo realizar el monitoreo global de la actividad volcánica, utilizando imágenes satelitales multisensor (Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar SAR, Sentinel-2 SWIR infrarrojo de onda corta, Sentinel-5P TROPOMI), así como datos sísmicos terrestres (catálogos globales de terremotos de GEOFON y USGS) a través de inteligencia artificial (IA). Proporciona acceso en tiempo casi real para visualizar la deformación de la superficie, presencia de anomalías térmicas, emisiones de gas SO₂ y la sismicidad local en una serie de volcanes alrededor del mundo. Además, brinda apoyo a científicos y comunidades operativas para la evaluación del riesgo volcánico. Los resultados se visualizan en un sitio web donde se proporcionan imágenes geocodificadas y series temporales de parámetros relevantes, lo que permite una comprensión integral de la evolución temporal de la actividad volcánica y los productos eruptivos.

6.5.1 Justificación del Sistema MOUNTS

El fundamento detrás de MOUNTS se basa en los siguientes tres requisitos:

- Analizar el conjunto de datos de múltiples sensores ofrecidos por las misiones Sentinel para proporcionar la comprensión más completa de los procesos volcánicos (Figura 11). Específicamente, los conjuntos de datos considerados son: (i) imágenes SAR de Sentinel-1 (S1) para monitorear la deformación de la superficie, los cambios morfológicos y los cambios de reflectividad, (ii) imágenes SWIR de Sentinel-2 (S2) para monitorear las anomalías térmicas de la superficie, y (iii) datos TROPOMI SO₂ de Sentinel-5P (S5P) para monitorear columnas del gas SO₂ volcánico. También se incorporan datos terrestres, consultando catálogos globales de terremotos (GEOFON y USGS), para sismos registrados en las cercanías de un volcán.
- Difundir los resultados del análisis como: (i) imágenes geocodificadas, y (ii) series temporales de parámetros clave extraídos de estas, a fin

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

de tener una comprensión integral de su evolución a lo largo del tiempo.

- Implementar una arquitectura modular, que permita la fácil incorporación de (i) nuevos tipos de datos para analizar y, (ii) nuevos objetivos para monitorear, es decir, nuevos volcanes o nuevas regiones de interés para un volcán determinado dependiendo de la actividad.

		volcanological processes									
		sensor/wavelength	monitored parameter	pre-eruptive			eruptive onset	syn-eruptive			
				years	wks/months	days	hrs	hrs	days	wks/months	years
satellite	Sentinel-5P	UV 308-325 nm	gas plume				passive degassing		eruptive degassing*		
	Sentinel-3	TIR 11-12 μm	ash plume + surf. thermal anomaly						ash emission		
	Sentinel-2	SWIR 0.8-2.2 μm	surface thermal anomaly				gas / magma ascent		lava flow*, dome extrusion, etc.		
	Sentinel-1	SAR (C-band) 5.5 cm	surface deformation surface morphology surface reflectivity			inflation	intrusion* (dike)		deflation		
gnd	GEOFON USGS	seismometer	earthquakes				dome growth, edifice building* high summit activity*		faulting	crater collapse*	
							deep seismicity		deposit emplacement*		shallow seismicity*

Figura 11.- Utilidad de diferentes tipos de sensores, tanto espaciales como terrestres, utilizados por MOUNTS para monitorear los procesos volcánicos. La ocurrencia de estos puede variar fuertemente de un volcán a otro y por lo tanto los tiempos reportados se dan de manera indicativa.

6.5.2 Flujo de trabajo del Sistema MOUNTS

MOUNTS se basa en datos de detección remota disponibles gratuitamente, cajas de herramientas de código abierto y una arquitectura modular. Se compone de los siguientes elementos (Figura 12 y 13):

- (1) **Consulta de datos:** se consulta el Centro de datos de Sentinel en busca de nuevos productos a intervalos de tiempo regulares (generalmente cada hora) utilizando la API de búsqueda abierta.
- (2) **Descarga de datos:** cuando se encuentra un nuevo producto en el centro de datos de Sentinel, los datos se descargan automáticamente y sus metadatos se almacenan en una base de datos local.
- (3) **Procesamiento de datos:** tan pronto como se descarga un producto, pasa por la cadena de procesamiento dedicada, que tiene como objetivo generar archivos de imágenes (geocodificados) y extraer parámetros clave que ayudan a visualizar la actividad volcánica.
- (4) **Difusión de datos:** los resultados de la cadena de procesamiento se muestran en un sitio web de acceso abierto (www.mounts-project.com). El diseño web se basa en el de MIROVA, por lo que todos los volcanes monitoreados tienen una página web dedicada que muestra el mismo conjunto de información.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

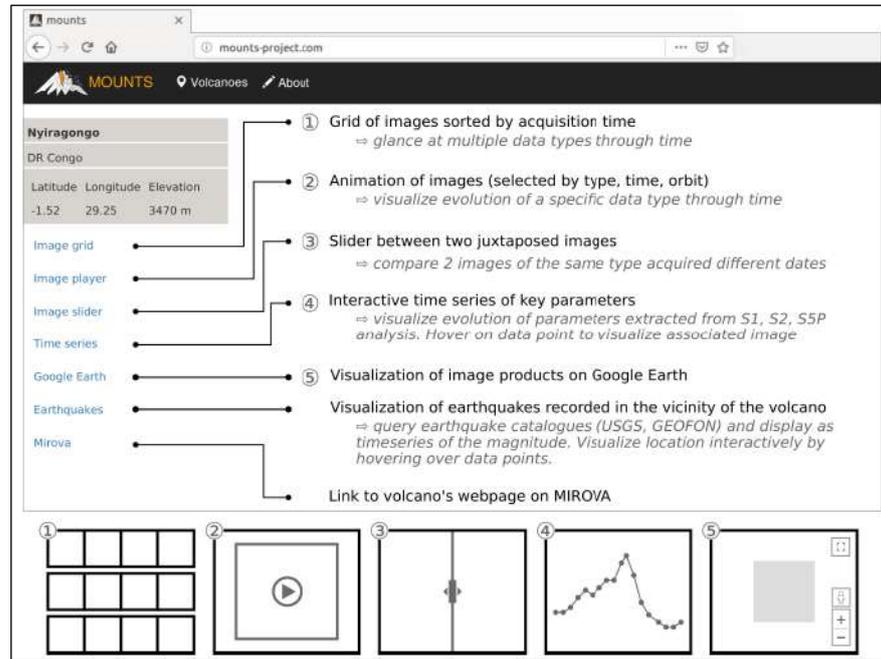


Figura 12.- Instantánea de la página web estándar idéntica para cada volcán monitoreado y descripción del contenido del menú.

Al sistema MOUNTS se puede acceder desde la siguiente página web: <http://www.mounts-project.com/home>.

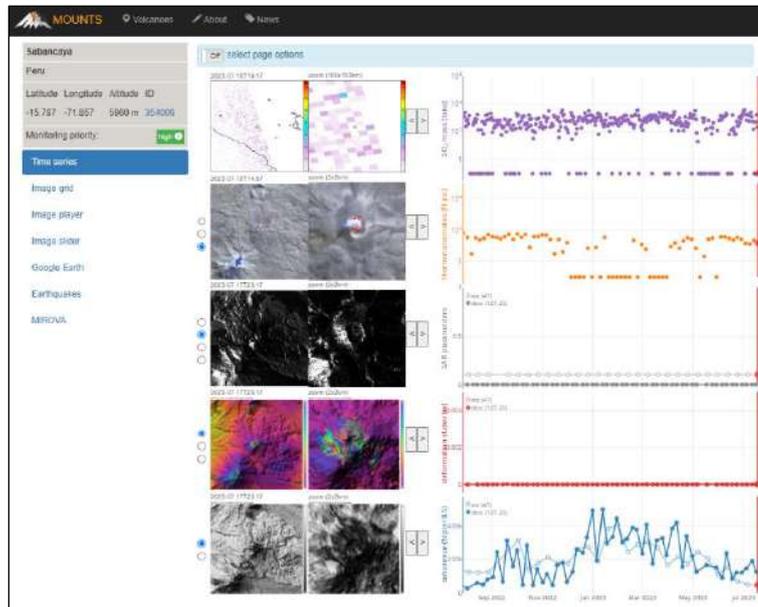


Figura 13.- Página web pública de la plataforma Monitoring Unrest from Space (VOLCANOMS) correspondiente a las series de tiempo del volcán Sabancaya.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.6 NASA FIRM (Fire Information for Resource Management System)

El sistema de información sobre incendios para la gestión de recursos (FIRMS) dispone de datos de incendios activos en tiempo casi real (NRT) desde el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra, y el conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS) a bordo del satélite S-NPP y NOAA 20 (formalmente conocido como JPSS-1). A nivel mundial, estos datos están disponibles dentro de las 3 horas posteriores a la observación satelital, pero para EE. UU. y Canadá, las detecciones de incendios activos están disponibles en tiempo real.

FIRMS fue desarrollado originalmente por la Universidad de Maryland, con fondos del Programa de Ciencias Aplicadas de la NASA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Se puede acceder desde la siguiente página web: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2023-09-04;@-75.3,-9.9,5.6z>

Dentro las opciones para visualizar puntos calientes (Figura 14), con enfoque en volcanes peruanos, se tiene dos opciones de registro: actual e histórico; el primero de estos dos, muestra resultados actualizados, datos dentro de las 24 horas y de hace 7 días. Para la representación de los puntos, se puede escoger entre una visualización simple o una escala basada en el tiempo, también se debe delimitar el tipo de superposición, las imágenes dinámicas a utilizar y los fondos estáticos de la zona de interés.



Figura 14.- Página web pública de la plataforma Fire Information for Resource Management System (FIRMS) correspondiente a Perú.

Como ejemplo se muestra el punto caliente registrado el 24 de Julio del 2023 correspondiente al Volcán Ubinas (Figura 15). La anomalía registrada fue de 1.42 FRP durante la noche.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS



Figura 15.- Página web pública FIRMS correspondiente al volcán Ubinas.

6.7 Series de tiempo de Sensores Remotos Satelitales

De acuerdo a la disponibilidad de la información proveniente de fuentes satelitales se provee de series temporales diarias que muestran el valor máximo, número de detecciones, entre otros parámetros. Asimismo, se da a conocer la tendencia numérica que dichos sistemas receptionan al realizar un análisis más prolongado.

6.7.1 Análisis de las Series de Tiempo

Ante la ocurrencia de cambios relevantes en los volcanes visualizados mediante la información proveniente de Sensores Remotos Satelitales, que involucren la probabilidad de generarse una erupción, incremento de actividad, etc., el analista de turno deberá informar inmediatamente al Coordinador(a) del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: OVS

VII. REFERENCIAS

- Coppola, D., Macedo, O., Ramos, D., Finizola, A., Delle Donne, D., Del Carpio, J., Taibe, E. (2015). Magma extrusion during the Ubinas 2013-2014 eruptive crisis based on satellite thermal imaging (MIROVA) and ground-based monitoring. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 199-210.
- Laiolo, M., Ripepe, M., & Cigolini, C. (2019). Space and ground-based geophysical data tracking of magma migration in shallow feeding system of mount Etna volcano. *Remote Sens.*, 11(1182).
- Wadge, G. (1981). The variation of magma discharge during basaltic eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. res.*, 11, 139-168.
- Wooster, M., Zhukov, B., & Oertel, D. (2003). Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to modis fire products. *Remote Sens. Environ.*, 86, 83-107.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 004-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 004-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SIMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE MONITOREO SIMOVOLCÁNICO

I. OBJETIVO

Establecer las instrucciones necesarias para realizar el monitoreo sismovolcánico en los volcanes activos del sur del Perú con el propósito de realizar el procesamiento de la información sismovolcánica con el empleo de las diferentes técnicas que comprenden dicho tipo de monitoreo para finalmente generar los catálogos respectivos.

II. BASE LEGAL

- 2.1** Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2** Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3** Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4** Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5** Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6** Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7** Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8** Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9** Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10** Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

El presente manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), encargado de realizar el monitoreo volcánico y la evaluación de peligros volcánicos asociados. Comprende desde la descarga de los datos sísmicos, el procesamiento de la información y la generación de catálogos sismovolcánicos.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1 El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de Monitoreo Sismovolcánico en sus distintas disciplinas o técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes.
- 5.2 Los analistas de Monitoreo Sismovolcánico son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3 Cada analista que integra el equipo de Monitoreo Sismovolcánico, verifica la disponibilidad de la información procedente de los equipos asignados, asimismo, está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos y coordina con el Equipo de Soporte (Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos o Redes Geofísicas) si hubiera algún problema.

VI. PROCESAMIENTO SISMOVOLCÁNICO

La sismología volcánica, se basa principalmente en el análisis de señales sísmicas registradas en ambientes volcánicos, las cuales son generadas por diferentes procesos asociados con la dinámica del magma y la erupción en sí. El análisis de estas señales proporciona información crucial sobre la dinámica interna y externa de los volcanes que permite descifrar diferentes procesos que podrían estar ligados a la ocurrencia y magnitud de una erupción (Chouet, 2003).

6.1 Descarga de datos sismovolcánicos

La descarga de datos puede ser realizada a cualquier hora del día, para ello se ejecuta el script Downloader.py, el cual permite definir el rango del periodo de datos que se desea descargar (Figura 1). Previamente es necesario editar el archivo de configuración de descarga cenvul.ini, lo que permite definir el directorio de descarga, seleccionar las estaciones sísmicas para disponer de sus datos, así como, seleccionar la componente BHZ para efectos de clasificación sísmica (Figura 2).

```

C:\Windows\System32\cmd.exe - python Downloader.py
Microsoft Windows [Versión 10.0.19043.1165]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

E:\CENVUL\programas\Downloader>activate redpy

(redpy) E:\CENVUL\programas\Downloader>python Downloader.py
*****
INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
OBSERVATORIO VULCANOLOGICO DEL SUR
>>>----- Script to download wave data from Earthworm server ----->
----- By OVS ----->
-----
Reading configuration file : cenvul.ini
Checking working directory : E:/CENVUL/Data/mseed
Do you want to interpolate? [Y/N] : n
Start date time
Type the Year. Eg.[2014,..,2017] : 2021
Type the Month. Eg. [01,02,..,12] : 08
Type the Day. Eg.[01,02,03,..,31] : 22
Type the start hour. Eg. [00,01,..,23]: 18
End date time:
Type the Year. Eg.[2014,..,2017] : 2021
Type the Month. Eg. [01,02,..,12] : 08
Type the Day. Eg.[01,02,03,..,31] : 23
Type the start hour. Eg. [00,01,..,23]: 19

```

Figura 1.- Downloader.py: Ventana de selección de rango del periodo de descarga.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

```

1 #Location ready: activate ready
2
3 #para python 3.5
4
5 [directories]
6 # Directory where the data will be stored
7 workingdirectory = E:/GEVALL/Data/ready
8
9 [data download]
10 # Selected stations to download. Eg:
11 # selected_stations = US1,US2,US3,US4,BHSL
12
13 # Thinus - Huaynaputina Seismic network
14 selected_stations = US1,US2,US3,US4,BHSL,US5,HFF1,HFF2,TCU1
15 #selected_stations = HISA,BH1,CH1,OW1,EN1,EN2,EN3,US1,US2,US3,US4,US5,US6,US7,US8,US9,US10,US11,US12,US13,US14,US15,US16,US17,US18,US19,US20,US21,US22,US23,US24,US25,US26,US27,US28,US29,US30,US31,US32,US33,US34,US35,US36,US37,US38,US39,US40,US41,US42,US43,US44,US45,US46,US47,US48,US49,US50,US51,US52,US53,US54,US55,US56,US57,US58,US59,US60,US61,US62,US63,US64,US65,US66,US67,US68,US69,US70,US71,US72,US73,US74,US75,US76,US77,US78,US79,US80,US81,US82,US83,US84,US85,US86,US87,US88,US89,US90,US91,US92,US93,US94,US95,US96,US97,US98,US99,US100
16 #selected_stations = US1,US2,US3,US4,US5,US6,US7,US8,US9,US10,US11,US12,US13,US14,US15,US16,US17,US18,US19,US20,US21,US22,US23,US24,US25,US26,US27,US28,US29,US30,US31,US32,US33,US34,US35,US36,US37,US38,US39,US40,US41,US42,US43,US44,US45,US46,US47,US48,US49,US50,US51,US52,US53,US54,US55,US56,US57,US58,US59,US60,US61,US62,US63,US64,US65,US66,US67,US68,US69,US70,US71,US72,US73,US74,US75,US76,US77,US78,US79,US80,US81,US82,US83,US84,US85,US86,US87,US88,US89,US90,US91,US92,US93,US94,US95,US96,US97,US98,US99,US100
17 #selected_stations = SAB,MRCA,FAT,BLCA,CAJ,CHVT
18 #selected_stations = COB1,COB2,COB3,COB4,SOLI
19 #selected_stations = FOR1,TOB1,TOB2,ALDO,CAC1,TOO
20 #selected_stations = CAS1
21
22 # Huaynaputina Seismic network
23 #selected_stations = HFF1,HFF2,HFF3,TCU1
24
25 # Thinus Tilt network
26 # selected_stations = US1,US4
27
28 # Selected seismic components to download. Eg:
29 #selected_components = SNI,SSE,RSI
30 #selected_components = SRI
31
32 # Selected tilt components to download. Eg:
33 # selected_components = SAE,SAW,SAZ
34
35 [www server]
36 # IP of Earthworm server
37 server = 10.0.10.50
38
39 # Port to connect to Earthworm server
40 port = 14122

```

Figura 2.- Archivo de configuración para la descarga de datos sismovolcánicos.

Existe otro método de descarga de datos que será mencionado líneas más abajo durante el desarrollo explicativo del software Analiza_vs.

6.2 Análisis y clasificación de señales sismovolcánicas

La clasificación de eventos sísmicos provenientes de la Red Geofísica de Volcanes (RGV) requiere de un criterio de clasificación de señales sismovolcánicas, debido a que existen una gran variedad de sismos que presentan características similares y otras con diversas particularidades. En ese sentido, el estudio “reconocimiento automático de señales sísmicas de origen volcánico para alerta temprana de erupciones volcánicas del sur del Perú” (Centeno et al., 2020); detalla las características y criterios de clasificación de las principales señales sismovolcánicas (Tabla 1).

Tabla 1.- Tipos de señales sismovolcánicas (Modificado de Centeno et al., 2020)

Tipo	Descripción
VT	Tipo Volcano-Tectónico: Forma de onda, por lo general, de gran amplitud con decaimiento exponencial y duraciones cortas, en promedio 12 y 35 segundos. Tienen un arribo de tipo impulsivo, donde es sencillo distinguir las fases P y con algo de dificultad las fases S. La diferencia entre ambas no suele superar los 2 segundos. En el dominio de la frecuencia, tienen una energía espectral amplia entre 1 a 18 Hz. Estos sismos se generan por la ruptura de rocas debido a cualquier proceso volcánico. Son los eventos observados con mayor recurrencia en volcanes.
LP	Tipo Largo Periodo: Concentra en su energía a bajas frecuencias, generalmente por debajo de 3 Hz y su duración no suele superar los 60 segundos. Este tipo de sismicidad es esporádica en volcanes en reposo y muy común en volcanes en fase pre-eruptivo y eruptiva.
HB	Tipo Híbrido: una manera de diferenciar correctamente un HB de un VT y LP es la polaridad de su primer arribo. Los HB muestran diferentes polaridades durante su llegada a diferentes estaciones, mientras que los LP tienen igual polaridad en las diferentes estaciones de

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

	registro. Su definición involucra una combinación de procesos relacionados al movimiento de fluidos y al agrietamiento de material cortical, por lo cual se ha sugerido que se trata de la combinación de eventos VT y LP (Khan et al., 2019).
TO	Tipo Tornillo: su forma muestra un inicio impulsivo tras el cual se observa que uno o varios armónicos alargan su coda por tiempos relativamente largos (>30 segundos). La manera en que decae la amplitud del sismograma a lo largo del tiempo es lenta. Su espectro muestra uno o algunos picos o sobretonos en las frecuencias de los armónicos que aportan energía al sismo.
EX	Explosiones: ocurren en volcanes cuando se encuentra en marcha un proceso eruptivo. Generalmente, aparecen superpuestas a una señal de Tremor y son identificables por el aumento brusco de amplitud de la señal y un incremento en las frecuencias de la misma.
ST	Tremor Espasmódico: son señales continuas. Tienen duraciones más largas que comprenden varios minutos a horas. En el dominio de la frecuencia, tienen un comportamiento estable y se centran en bandas de frecuencia estrechas (1–5 Hz). El contenido espectral del Tremor Espasmódico es muy similar a los eventos LP.
HT	Tremor Armónico: su firma muestra modulaciones de amplitud constante o en forma de pulsos. En el dominio de la frecuencia, tienen un comportamiento espectral muy similar a los eventos Tornillo (TO), pero variable en periodos de tiempo muy corto. Junto con las explosiones, es una señal sísmica típica en volcanes en pleno proceso eruptivo que refleja cambios en su estado interno.
VL	Muy Largo Periodo: habitualmente, ocurren junto con las explosiones o microtremores. Su característica más destacada es su frecuencia principal que está por debajo de los 0.3 Hz.
VD	Sismos Volcano-Tectónicos Distales o de Fractura: son sismos de alta frecuencia (>5 Hz) que, a diferencia de los sismos VT anteriormente descritos, se deben a la actividad de fallas localizadas frecuentemente a más de 10 km de distancia de los volcanes. Generalmente, ocurren en forma de enjambre sísmico.
LH	Lahar: su principal característica es su alta frecuencia comparada con los sismos anteriores. Su energía espectral está concentrada entre los 10 y 100 Hz.
IQ e IV	Sismos de Origen Glaciar: por lo general, son sismos muy cortos (<3 s) y de alta frecuencia (>12 Hz) (Górski, 2014). Es posible encontrar señales que no están relacionadas directamente con la actividad volcánica, como por ejemplo fracturas en el hielo (IQ-Ice Quake) y deslizamiento de masas de hielo (IV-Ice Vibration).
Otros	Otros: Aquí están incluidos los sismos regionales (RG), Ruido (NS) y algunas señales que no tienen explicación física y se les etiqueta como NN (desconocido).

Cada evento clasificado es compilado en un archivo de texto, conocido como *lista de clasificación*, creada diariamente y almacenada en el Dispositivo de Almacenamiento conectado en Red (NAS). Por tanto, un conjunto de listas conforma un catálogo sismovolcánico.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3 Software Analiza_Vs

Es un software diseñado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) para la lectura, análisis espectral, caracterización y seguimiento de la actividad sismovolcánica.

Analiza_Vs es una interfaz gráfica (GUI) implementada en Matlab® versión R2012b. (Versión 8.0), teniendo como base librerías de procesamiento de señales discretas y librerías de código abierto para el procesamiento de señales sismovolcánicas en tiempo real, tales como GISMO (<https://github.com/geoscience-community-codes/GISMO/wiki/What-is-GISMO%3F>, Thompson & Reyes, 2017). Esta última librería incluye un conjunto de rutinas que describen los datos sísmicos, formas de onda, análisis espectral avanzado, catálogos de eventos sísmicos, correlación de formas de onda, etc. Además, Analiza_Vs incluye un módulo de análisis espectral avanzado que integra diferentes métodos para realizar análisis espectral y realizar representaciones de tiempo-frecuencia (espectrogramas) desarrollado por Lesage (2009). Para poder utilizar Analiza_Vs se requiere de un usuario y contraseña autorizado por la Dirección del OVS.

6.3.1 Prerrequisitos de sistema

Disponible para el sistema operativo Windows (7/8/8.1/10/11), de preferencia para sistemas de 64 bits, procesador Intel Core o AMD64, una memoria RAM de 4Gb como mínimo, con una tarjeta gráfica de 24 o 32 bits con OpenGL, DirectX 9. Es importante, tener instalado previamente el compilador de objetos de MATLAB *Runtime installer* R2012b (8.0), disponible en el siguiente enlace: https://ssd.mathworks.com/supportfiles/MCR_Runtime/R2012b/MCR_R2012b_win64_installer.exe. Adicionalmente, se requiere de una instalación de Python 2.7 o 3.8, que incluya la librería ObsPy (<https://github.com/obspy/obspy>).

6.3.2 Instalación

Para instalar Analiza_Vs, se necesita desempaquetar el archivo binario “Analiza_Vs_pkg.exe” como administrador, en cualquier unidad lógica de su computadora (por ejemplo: D:\), siguiendo la siguiente estructura:

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

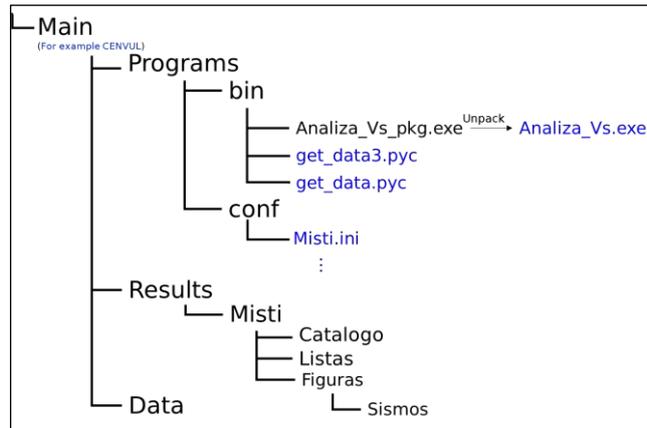


Figura 3.- Árbol de directorios con el que trabaja Analiza_Vs.

6.3.3 Configuración básica

Previo a la ejecución del programa, es necesario primero completar el archivo de configuración que básicamente guarda la siguiente información:

[wave_server]: que corresponde a la información del servicio de metadatos disponible. En este caso solo se puede utilizar servidores “Earthworm” o “Winston”, en donde se debe registrar: el hostname, puerto, red, y el canal principal de datos (en nuestro caso solo el vertical: BHZ).

[Data]: donde se registra la ruta o path de entrada y dos de salida. La ruta de entrada se refiere a donde se encuentran los datos (MiniSeed o SAC) y, necesariamente, debe cumplir con el siguiente árbol de directorios.

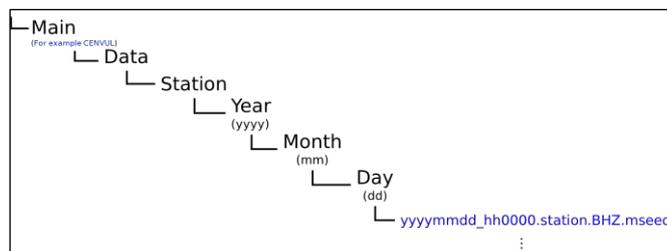


Figura 4.- Árbol de directorios que muestra la manera de almacenar los datos Miniseed o SAC

Las dos rutas de salida son ingresadas en:

- Result: Donde se guardan los resultados localmente (Carpeta Results).
- NAS: La ubicación en donde se guardan los resultados finales en la carpeta remota del servidor NAS.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

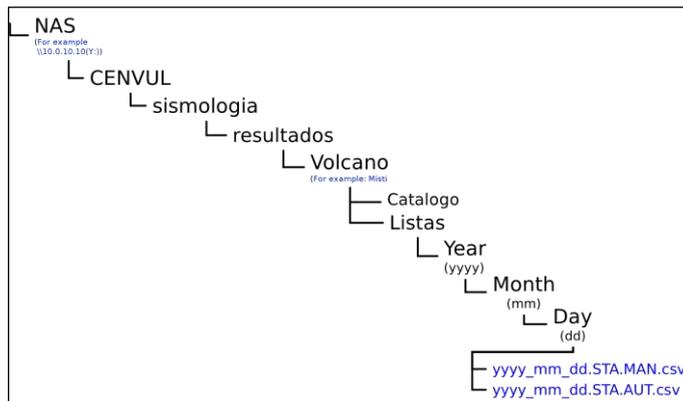


Figura 5.- Árbol de directorios propuesto por Analiza_Vs, para la escritura y lectura de ficheros con los resultados del análisis.

[Default_Analysis]: Aquí se definen 5 variables principales: 1) estaciones sísmicas de referencia; 2) estaciones sísmicas secundarias; 3) nombre del volcán a ser analizado; 4) frecuencia de muestreo de la estación principal, y 5) etiquetas representativas de clasificación. Por ejemplo:

- stations = DMIS, EMIS, CMIS, GMIS, MISA, FMIS (5 estaciones sísmicas de referencia como mínimo, la primera “DMIS” es la principal. Nota: se pueden repetir de ser el caso).
- references = CHCH, HSAL (estaciones secundarias, una como mínimo).
- volcano = Misti (nombre del volcán a analizar. Nota: este debe coincidir con el nombre del volcán que se le asigno en los directorios de salida).
- sampFreq = 100 (Frecuencia de muestreo de la estación principal).
- eventTypes = HB, LP, VT, EX, VD, ST (aquí se define un mínimo y máximo de 6 tipos de etiquetas representativas). De acuerdo al orden de estas, se les asigna 6 comandos rápidos en teclado. Es decir, a cada una de estas etiquetas se les asigna una tecla del teclado (h, w q, y, a, t). Los cuales son útiles cuando se necesita una clasificación manual rápida.

6.3.4 Configuración avanzada

Las variables secundarias (avanzadas) recogen toda la información detallada de cada una de las estaciones sísmicas de la RGV utilizadas por el CENVUL para el monitoreo de los volcanes en el sur del Perú. Esta información requiere datos técnicos de cada sensor sísmico, suministrado por OTIDG o RG.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3.5 Ejecución

Una vez completada la configuración anterior, se recomienda abrir una ventana de comandos cmd, justo en la ubicación de la carpeta bin, o donde se encuentre el binario final “Analiza_Vs.exe” (Figura 6).

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.1165]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

E:\analiva_vs.01.0\bin>Analiza_Vs.exe

```

Figura 6.- Modo de ejecución de Analiza_Vs.

Se introducen las credenciales del analista (password).

Con el software ejecutándose, se carga el archivo “ini” configurado anteriormente del volcán que requiera el análisis (Figura 7).

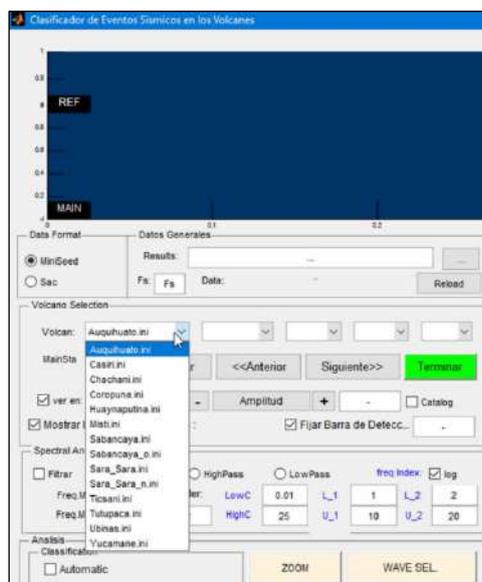


Figura 7.- Lectura de archivos de configuración “ini”, para iniciar Analiza_Vs, para lo cual se requiere primero seleccionar uno de ellos.

6.3.6 Lectura y visualización de formas de onda

Para ello, en la Figura 8, es necesario seleccionar el año (3), mes (4), día (5). Luego se imprime en pantalla la ruta de los datos y se le da clic en el botón INICIAR (6) u oprimir la tecla “c”. Lo anterior solo nos permitirá visualizar la señal de la estación de referencia principal (celeste), así como la estación secundaria principal (rojo).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

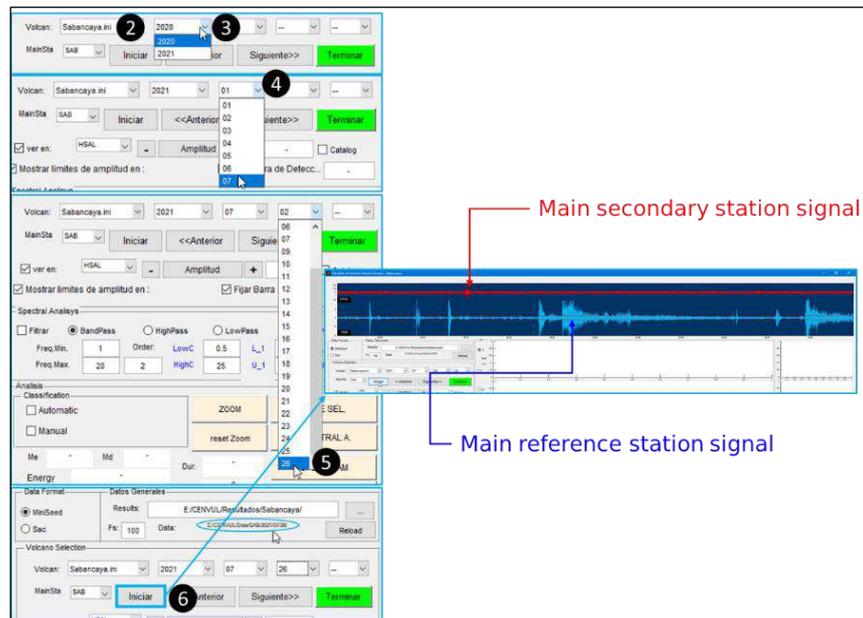


Figura 8.- Pasos para conseguir una correcta lectura de los datos.

En este mismo panel (Figura 9) se puede realizar los siguientes cambios, de forma temporal:

- Variar la Estación referente principal (MainSta).
- Avanzar y retroceder el segmento de análisis de 1 hora, oprimir los botones << Anterior, Siguiente >>. Otra opción es utilizar las flechas direccionales del teclado <- , ->.
- Ampliar o disminuir la escala vertical de amplitud de la señal de referencia principal (- o +).
- Variar la Estación secundaria principal, mantener activado siempre la casilla “ver en:”.

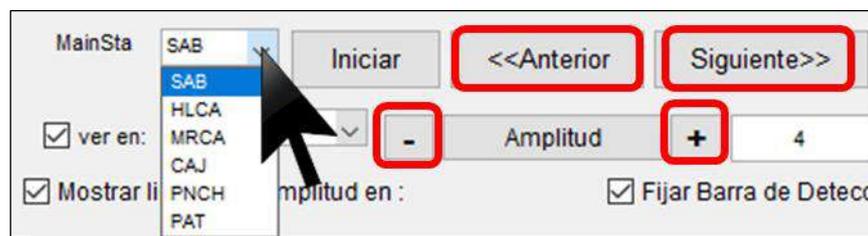


Figura 9.- Menú desplegable para la selección de la estación referente principal.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3.7 Descarga de datos

Analiza_Vs permite descargar los datos del servidor (Earthworm o Winston), siempre y cuando se verifique que el server status esta OK, esto permitirá activar el botón “Download” y seleccionar la fecha de los datos que desee analizar (Figura 10).



Figura 10.- (Izquierda) Estado del servidor de datos: ok (conectado) y off (desconectado). (Derecha) Botón/Menú de descarga de datos (Miniseed) de Analiza_Vs.

6.3.8 Segmentación manual (selección)

Presionar click izquierdo sobre el botón WAVE SEL o simplemente presionar el botón del teclado “s”. Esto permitirá seleccionar sobre la señal de referencia principal, un segmento de señal de interés, que también será analizado en el resto de la red de estaciones referentes (Figura 11).

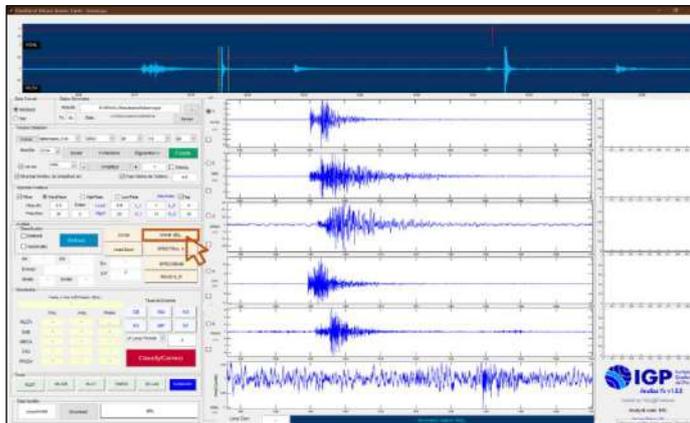


Figura 11.- Interfaz gráfica del software Analiza_Vs.

Para ACERCAR (ZOOM) o ALEJAR (reset Zoom) la señal de interés, bastará presionar las teclas “z” y “r”, respectivamente.

6.3.9 Selección de filtros Butterworth

La casilla habilitada activará y desactivará el tipo de filtrado Butterworth que se estime por conveniente.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS



Figura 12.- Selección de filtros Butterworth de Analiza_Vs.

- El filtro BandPass (pasa banda) elimina señales por encima de la frecuencia máxima (Freq. Max.) o por debajo de la frecuencia mínima (Freq.Min.).
- El filtro HighPass (paso alto) elimina señales por debajo de la frecuencia de esquina o frecuencia mínima (Freq.Min.).
- El filtro LowPass (paso bajo) elimina señales por encima de la frecuencia de esquina o frecuencia máxima (Freq. Max.).
- La Freq.Min. especifica el límite inferior para filtrar.
- La Freq.Max. especifica el límite superior del filtro.
- El desplazamiento de fase cero se ejecuta por defecto. Esto elimina cualquier efecto de desplazamiento de fase debido al filtro a costa de duplicar efectivamente el orden del filtro.
- El Order (orden) del filtro como valores pares entre 2 y 8. En general, cuanto más alto sea el orden, más pronunciado será el corte en las frecuencias de esquina.

6.3.10 Análisis espectral y tiempo-frecuencia

6.3.10.1 Cálculo del espectro de potencia

Una métrica muy importante en la clasificación de las señales sísmicas de origen volcánico es cuantificar su contenido espectral. Para el cálculo bastará con presionar la tecla “e” o haciendo click izquierdo en el botón SPECTRAL A. Los resultados de este análisis rápido aparecen justo al lado derecho de los segmentos de ventana de interés y cuantitativamente en el panel de Resultados, por cada estación (Figura 13).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

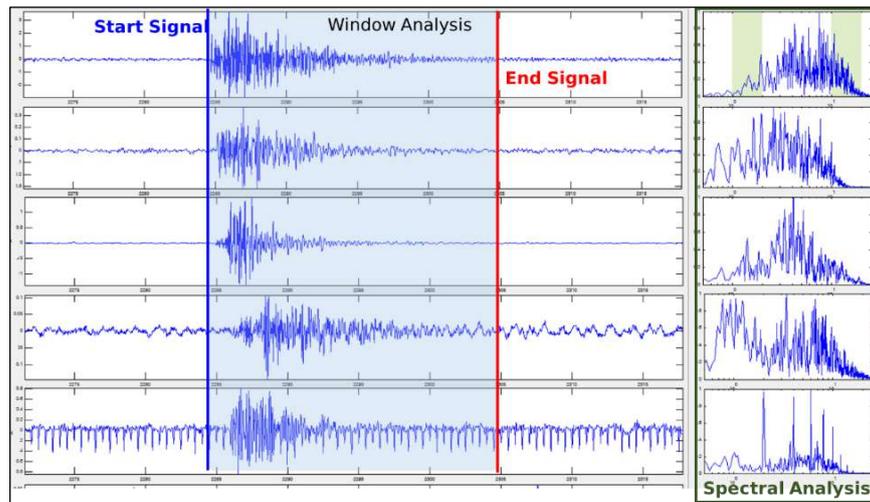


Figura 13.- Selección y análisis del segmento de interés en los cinco canales de Analiza_Vs.

Así también, se define el INICIO (Fecha y Hora (UTC=Local + 5hrs.)) y FINAL de la señal a caracterizar, es decir su DURACIÓN final (Dur.).

Fecha y Hora (UTC=Local + 5hrs.)	Dur.
12-Aug-2021 09:38:04 UTC	24.75

Figura 14.- casillas del tiempo de inicio (UTC) y la duración del evento

6.3.10.2 Espectrograma

Otra métrica importante en la clasificación de las señales sísmicas es el cálculo instantáneo de la frecuencia en el tiempo (espectrograma). Esto se calcula presionando la tecla “g” o haciendo clic izquierdo en el botón SPECGRAM. Este cálculo se realiza por defecto solo a la estación referente principal, pero se puede calcular de cualquier otra, cambiando el número de botón de radio (Figura 15).

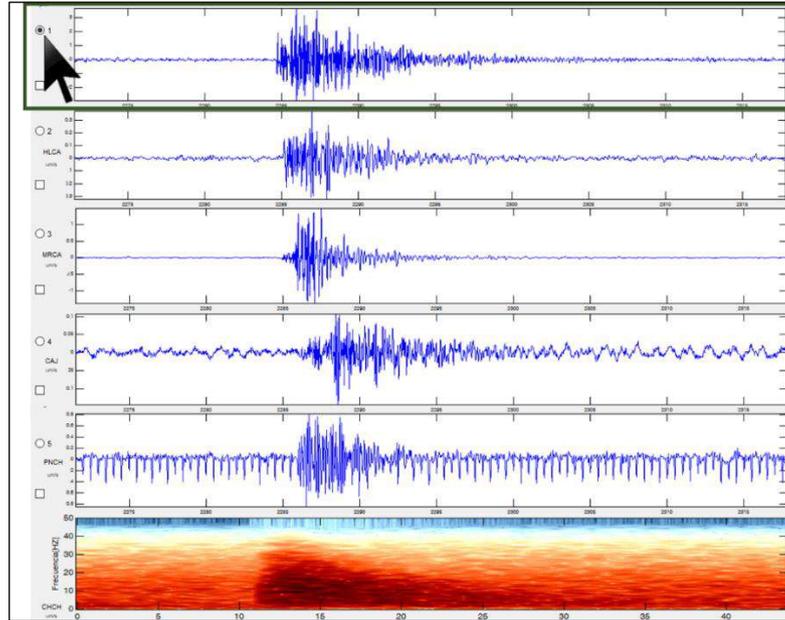


Figura 15.- Cálculo del espectrograma en la estación de referencia principal.

6.3.10.3 Análisis de índice de frecuencia (FI)

Otra métrica muy útil en la clasificación de señales sísmicas es el cálculo del Índice de Frecuencia (Buurman & West, 2010) (Figura 16), en el que se calcula el logaritmo de la relación de energías espectrales sobre bandas de frecuencia especificadas por el usuario (Figura 17).

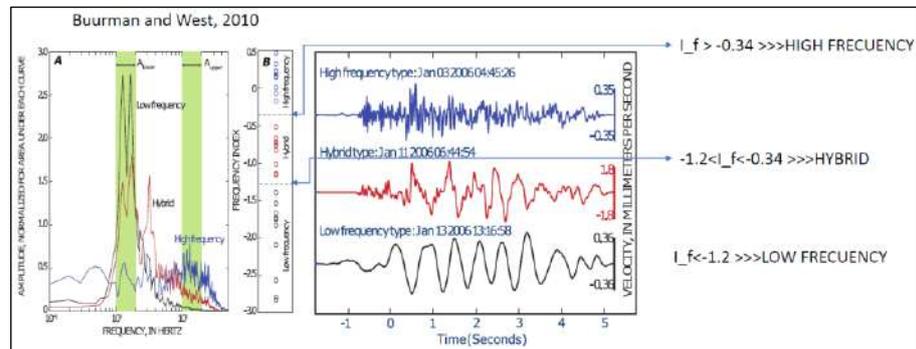


Figura 16.- Esquema explicativo del Índice de Frecuencia (FI, Buurman & West, 2010).

En nuestro caso las bandas de frecuencia se definen en:

Pass	freq Index: <input checked="" type="checkbox"/> log	
L_1	1	L_2 2
U_1	10	U_2 20

Figura 17.- Selección de los límites de banda, para bajas y altas frecuencias.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Donde:

- L_1 y L_2: son los límites del espectro de potencia para frecuencias bajas.
- U_1 y U_2: son los límites del espectro de potencia para frecuencias altas.

Los resultados de FI se cuantifican en el panel de resultados y por estación sísmica.

6.3.10.4 Análisis avanzado

Un análisis más detallado de tiempo-frecuencia se puede evaluar utilizando el botón SP.AN2.

Este llamará a un módulo aparte denominado “Seismo_Volcanalysis2” (Lesage, 2009; Figura 18). Inicialmente se mostrará el segmento de la señal de interés, el tiempo de inicio, la frecuencia de muestreo y el número de muestras. Allí se pueden utilizar herramientas en el dominio del tiempo para ampliar y filtrar el registro, calcular y mostrar la envolvente de la señal, elegir los tiempos de llegada, calcular la energía de la señal y convertir la señal en un sonido audible, multiplicando la frecuencia de muestreo por un factor dado.

Además, se puede realizar un análisis espectral detallado en toda la señal o en partes de ella. Hay varios métodos disponibles, incluido el espectro de Fourier, el espectro suavizado, el periodograma promediado, el método de Burg y el método de Yule-Walker. El espectro se muestra con ejes lineales o logarítmicos. Un conjunto de herramientas ayuda a extraer información útil del espectro: primer plano, medición del valor máximo de picos de frecuencia seleccionados, energía espectral acumulada y fracción de energía total en intervalos de frecuencia proporcionados inicialmente.

Para el cálculo del espectrograma (Time Frequency Analysis), se incluye una serie de métodos:

- Short-Time Fourier Transform (espectrograma de Fourier).
- Burg method (aplicado a una ventana móvil).
- Yule-Walker method (aplicado a una ventana móvil).
- Scalogram (Transformación wavelet continua, mediante una wavelet Morlet).
- Instantaneous frequency.
- Reassigned spectrogram.
- Wigner-Ville Distribution.
- Pseudo Wigner-Ville.
- Smoothed pseudo Wigner-Ville.
- Choi-Williams Distribution.
- Reduced Interference Distribution.

- Ridges.

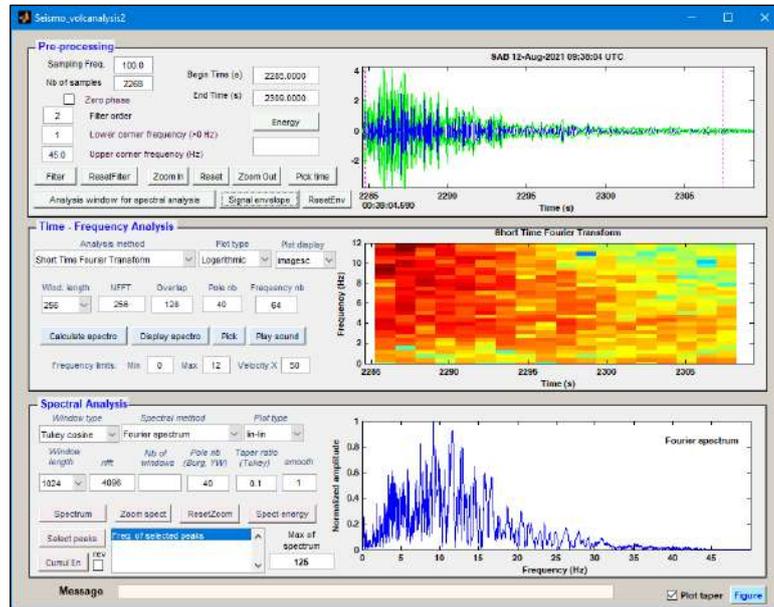


Figura 18.- Interfaz para análisis espectral y tiempo-frecuencia.

6.3.11 Ploteo de sismos representativos

En ciertas ocasiones, es necesario hacer un registro gráfico de sismos representativos (en el dominio del tiempo-frecuencia). Para ello, se utiliza el botón “PLOT”. No sin antes seleccionar el inicio y final del segmento de señal de interés con el botón SPECTRAL.

Para almacenarlo, solo hay que presionar el botón cerrar, esta activará un mensaje de confirmación y, si está conforme con la imagen, se presiona el botón “Yes” (Figura 19), y será almacenado en la carpeta “Figuras\Sismos”, según el árbol de directorios propuesto en la Figura 3.

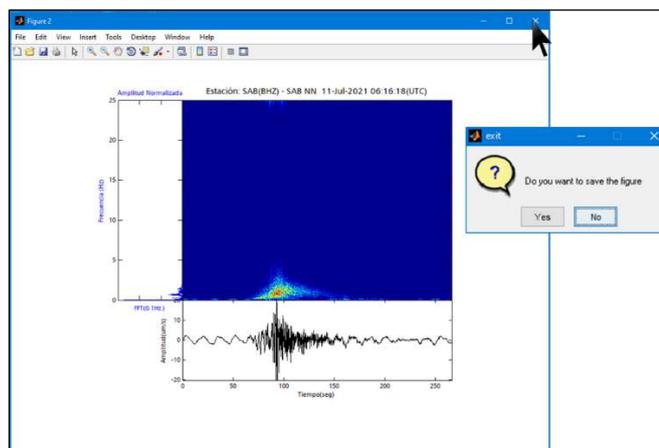


Figura 19.- Ploteo de sismos representativos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

6.3.12 Lectura S-P

Cuando el botón READ S_P está activado, los usuarios pueden hacer una selección de tiempos de arribo de las ondas P y S, en tres pasos:

- Se plotean los tres canales del sensor sísmico (Z, N, E), se hace click en el botón OK (Figura 20, 1).
- Se activa un botón de ZOOM (acercamiento) automático que permite diferenciar las ondas P y S, se hace click en el botón OK (Figura 20, 2).
- Se activa la selección manual de la onda P y luego la onda S (Figura 20, 3).
- Esta lectura (en segundos) se imprime en la casilla de S-P.

La localización del origen de los sismos AÚN NO ESTÁ HABILITADA en Analiza_Vs.

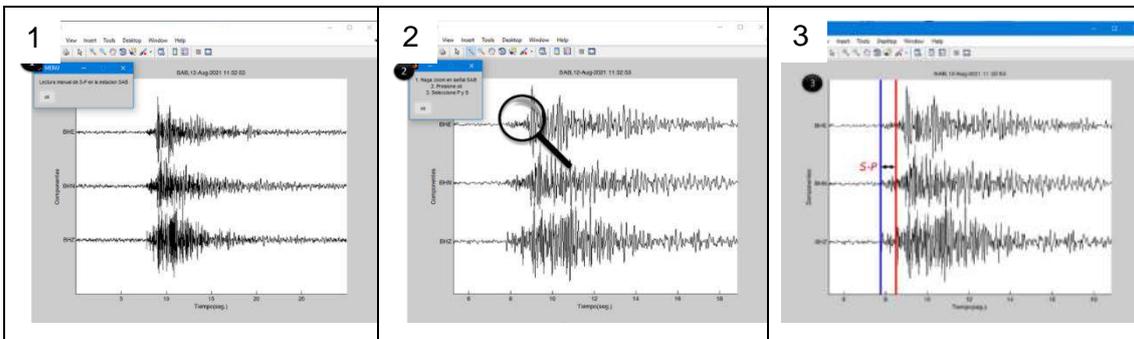


Figura 20.- (1) Primer paso, para la lectura de S-P; (2) Segundo paso, para la lectura de S-P y; (3) Tercer paso, lectura de S-P

6.3.13 Ploteo de Helicorders

Otra herramienta de Analiza_Vs es mostrar los helicorders activando el botón “HELICR” y permitir la interacción del usuario con ellos. El helicorder de la Figura 21 muestra el registro sísmico de la estación SAB, canal vertical (BHZ) de las últimas 24h de la fuente de datos del CENVUL-Winston. Los helicorders derivados de una fuente activa, se pueden actualizar automáticamente cuando haya nuevos datos disponibles.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

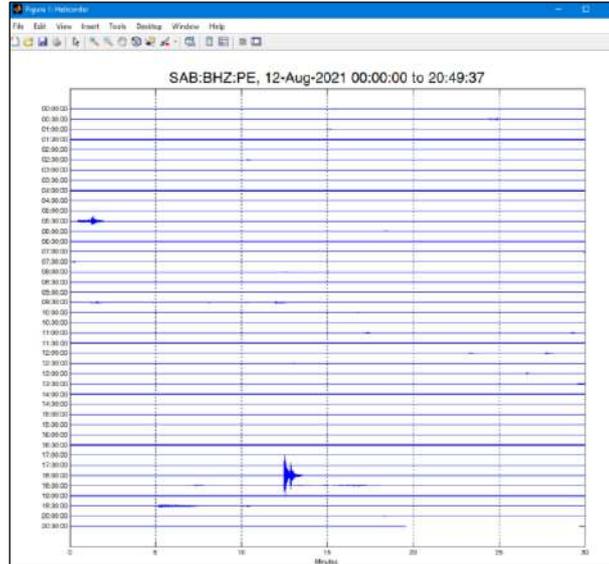


Figura 21. Ploteo de helicorders con Analiza_Vs

6.3.14 Herramienta CHECK

Analiza_Vs puede leer como máximo 6 canales de información sísmica, pero en ciertas ocasiones el análisis de los datos, requiere ser evaluado con más de 6 estaciones sísmicas. En especial, cuando se analiza la sismicidad distal detectada en un volcán, descartando la actividad sísmica ligada a la tectónica regional. Para ello, solo basta con activar el botón “CHECK” (Figura 22).

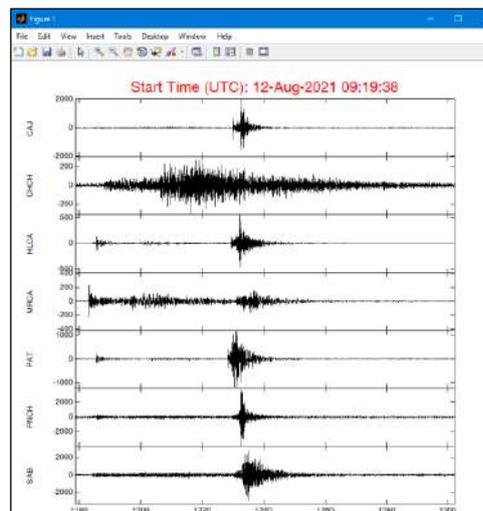


Figura 22.- Chequeo de sismicidad Distal o Tectónica.

6.3.15 Panel de resultados

En el panel de resultados, además de mostrar los datos de algunas métricas importantes (fecha, hora, frecuencia principal, amplitud máxima ($\mu\text{m/s}$) e índice de frecuencia), se decide el etiquetamiento o

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

clasificación de los eventos (Tabla 2) y su nivel de certeza o particularidad (Q) (Figura 23 y Tabla 3).

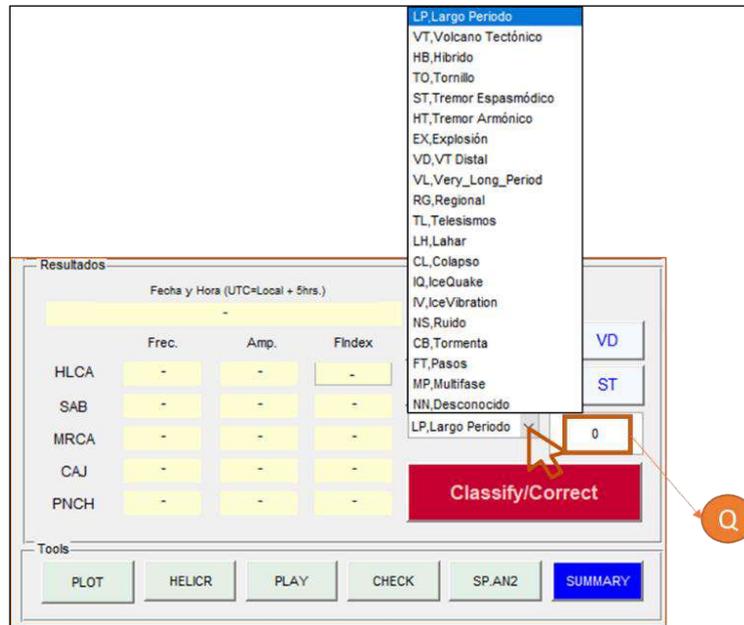


Figura 23.- Panel de resultados de Analiza_Vs.

La nomenclatura de etiquetas o tipos de sismos volcánicos es la siguiente:

Tabla 2.- Descripción de las principales códigos o etiquetas de sismos empleados en el CENVUL.

N°	Código	Tipo de evento	N°	Código	Tipo de evento
1	LP	Largo Periodo	11	TL	Telesismos
2	VT	Volcano Tectónico	12	LH	Lahar
3	HB	Hibrido	13	CL	Colapso
4	TO	Tornillo	14	IQ	IceQuake
5	ST	Tremor Espasmódico	15	IV	IceVibration
6	HT	Tremor Armónico	16	NS	Ruido
7	EX	Explosión	17	CB	Tormenta
8	VD	VT Distal	18	FT	Pasos
9	VL	Very_Long_Period	19	MP	Mixto
10	RG	Sismo Regional	20	NN	Desconocido

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Tabla 3.- Calidad, Nivel de certeza o particularidad de los eventos clasificados.

Q	Descripción
0	100% de certeza del evento clasificado
1	75% de certeza del evento clasificado
2	50% de certeza del evento clasificado
3	25% de certeza del evento clasificado
4	10% de certeza del evento clasificado
L	Evento con característica localizable
E	Evento representativo

6.3.16 Base de datos

Una vez que decida la etiqueta adecuada al evento, su nivel de certeza u otra observación, se imprimen las métricas más importantes para su caracterización y su clasificación, para luego ser mostrado en pantalla, tal y como se muestra en la Figura 24. Esto se logra utilizando el botón “Classify/Correct”.

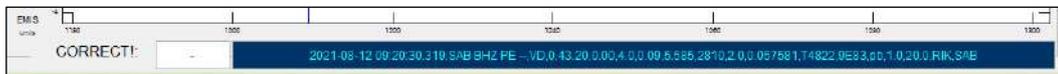


Figura 24.- Barra de mensajería de Analiza_Vs.

Para culminar la labor de clasificación, se debe hacer click en el *botón Finish*. Luego, hay que confirmar o no la validación de los datos. Por último, hay que esperar la confirmación del trabajo realizado (Figura 25).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

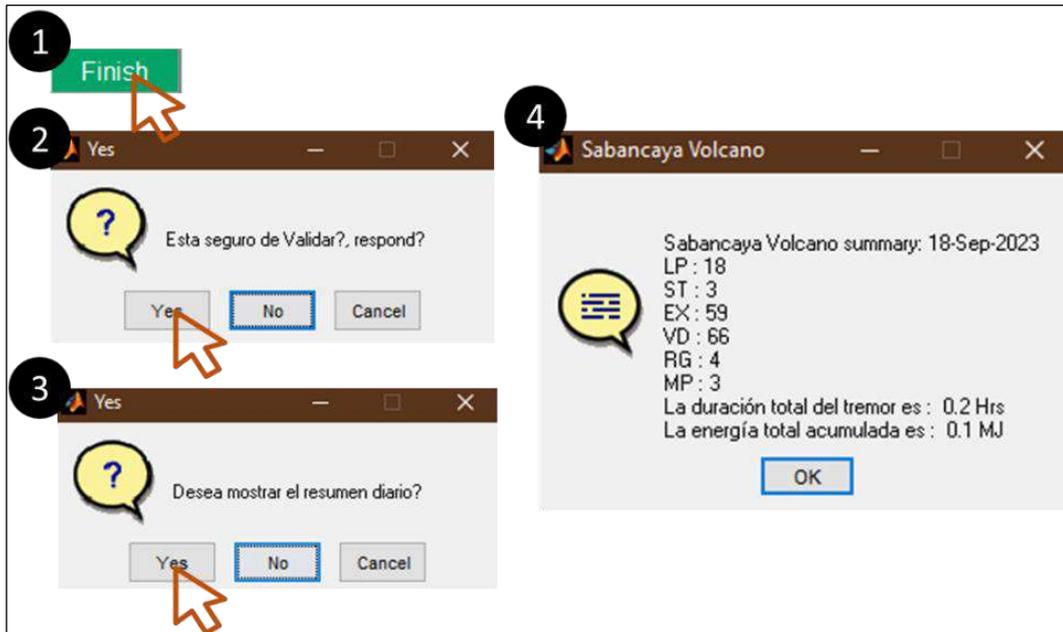


Figura 25.- menús de validación y confirmación de los resultados.

6.3.17 Fichero de salida y Catálogo de eventos sismovolcánicos

Los resultados se almacenan en un archivo *.csv con la nomenclatura “AÑO_MES_DÍA_CÓDIGO-ESTACIÓN.MAN.csv” (Figura 26), así como, en una estructura previamente definida con los parámetros más importantes. A este fichero se conoce con el nombre de “lista de clasificación” (Figura 27).

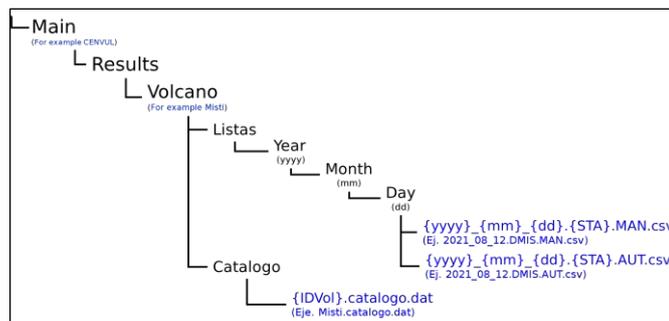


Figura 26.- Árbol de directorios de los ficheros de salida y entrada de Analiza_Vs.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

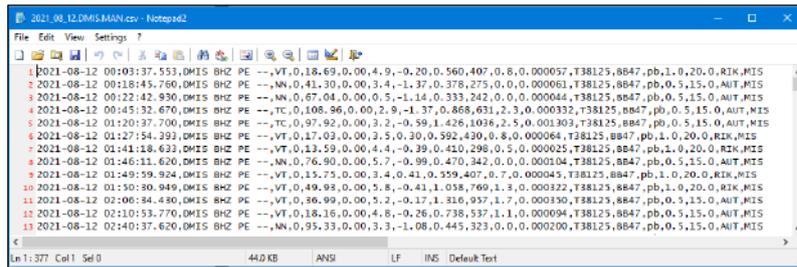


Figura 27.- Ejemplo de fichero *.csv o lista de clasificación del volcán Misti.

Respecto al catálogo, el usuario es libre de activar o desactivar la construcción de un catálogo local de eventos. Esto se logra con un aspa en la casilla “Catalog” . El formato de salida se describe a continuación:

Tabla 4.- Descripción del formato de salida de los archivos CSV.

Col.	Parámetro	Formato	Col.	Parámetro	Formato
1	Fecha y hora (UTC)	23s	11	Magnitud (coda)	3.1f
2	Estación/Canal/Red/--	13s	12	Energía (MJ)	8.6f
3	Tipo de evento	2s	13	Código del sensor	*s
4	Calidad	1s	14	Código del digitalizador	*s
5	Duración	7.2f	15	Tipo de filtro Butterworth	2s
6	S-P	4.2f	16	Frecuencia mínima	3.1f
7	Frecuencia principal	3.1f	17	Frecuencia máxima	3.1f
8	Índice de frecuencia	4.2f	18	Código de Usuario	3s
9	Amplitud (µm/s)	5.3f	19	Código de volcán	3s
10	Amplitud (cuentas)	7.0d			

6.3.18 Clasificación automática

Analiza_Vs, para optimizar (en tiempo) todos los procesos anteriores (segmentación, análisis y clasificación), es capaz de supervisar y validar los resultados obtenidos por el sistema de reconocimiento automático de señales sismovolcánicas del CENVUL, descrito en detalle por Centeno y Rivera (2020).

El archivo de salida del sistema antes mencionado, es el mismo que genera Analiza_VS, la única diferencia es el código de usuario y parte

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

de su nominación es “AUT”. Estos ficheros se generan, casi en tiempo real, en una carpeta remota del servidor NAS.

Para trabajar con la clasificación automática se activa la casilla “Automatic”, esto imprimirá en pantalla resultados preliminares de segmentación (inicio y fin) y clasificación automática (etiquetas o tipos). Cada análisis tiene asignado un número específico (Figura 28).



Figura 28.- Analiza_Vs en modo automático.

En el caso de que la clasificación automática requiera de alguna precisión o corrección en el etiquetado, se realiza lo siguiente:

- Desmarcar la casilla “Automatic” e inmediatamente activar la casilla “Manual”.
- Luego pulsar la barra espaciadora, y colocar el número asignado del evento que aparece en pantalla a ser corregido (Figura 29).



Figura 29.- Esquema explicativo para corregir o precisar algunos datos de los sismos etiquetados automáticamente.

Una vez realizado ello, solo habrá que realizar el análisis manual descrito anteriormente, y para FINALIZAR la corrección solo basta con presionar el botón “Classify/Correct”.

Classify/Correct

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

En ciertas ocasiones, es común que el análisis diario NO está del todo COMPLETO y se requiere ACTUALIZARLO. Analiza_Vs en este caso, puede completarlo automáticamente y que el usuario pueda continuar su supervisión, para ello solo basta en pulsar o hacer clic derecho en el botón “Reload...”.



6.3.19 Flujo de trabajo diario

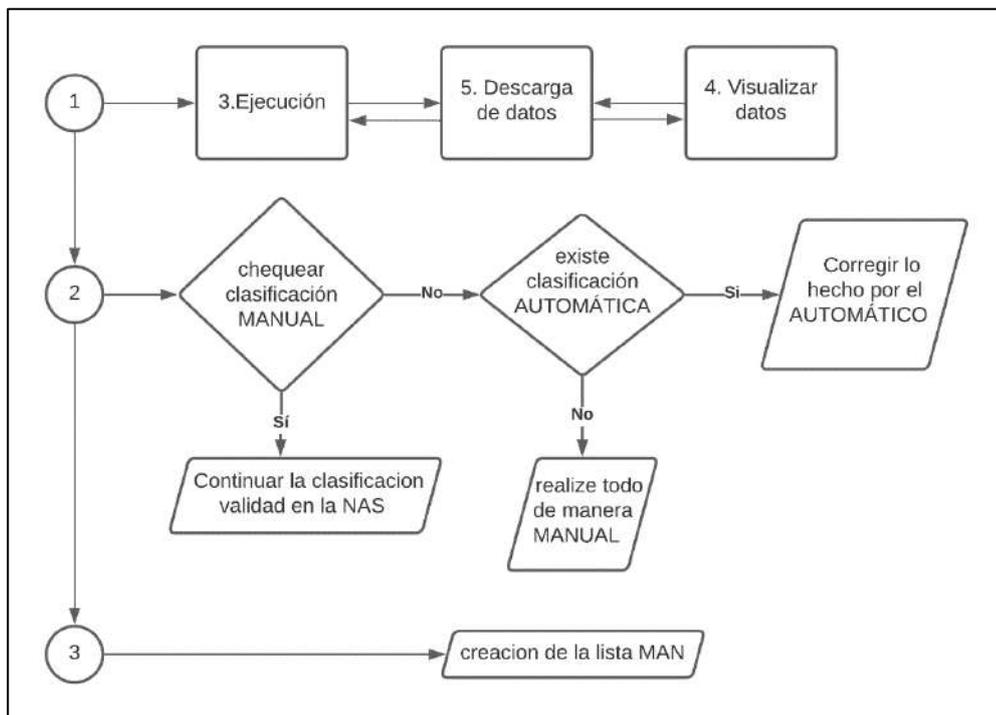


Figura 30.- Cadena de procesos, desde la selección del volcán, hasta la creación de la lista final.

6.4 Cálculo de parámetros hipocentrales

Esta actividad tiene como finalidad determinar la localización de los sismos de tipo fractura (VT o VD) en un mapa en planta con sus respectivos perfiles de profundidad que grafican la distribución de los sismos con respecto del volcán objetivo y su entorno. La Tabla 5, muestra los parámetros hipocentrales obtenidos luego de realizar la inversión de las fases sísmicas. Dicha inversión utiliza diversos softwares (Hypoellipse, HypoCenter, etc.) que requieren de archivos de entrada como son: fases sísmicas (Figura 31), modelo de velocidad (Anexo 1), parámetros de configuración y red de estaciones sismovolcánicas (Anexo 2).

Realizar el picado de las fases sísmicas P y S es un proceso que puede realizarse utilizando varios paquetes y programas, como son: Seisan, SAC, Swarm, etc.

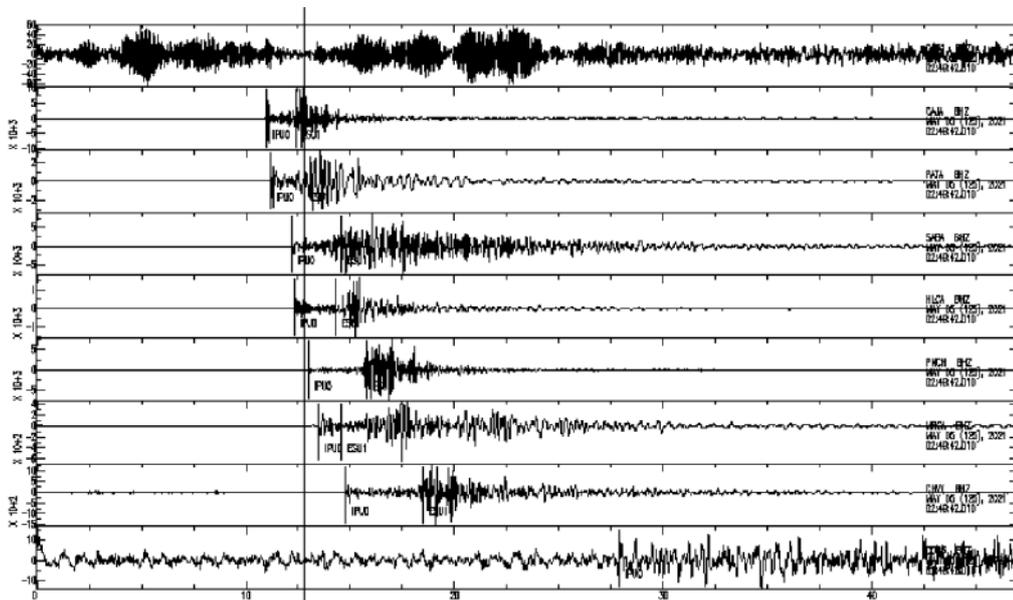


Figura 31.- Picado de fases sísmicas en SAC de señales del volcán Sabancaya.

Tabla 5.- Principales parámetros hipocentrales.

N°	Parámetro hipocentral	n°	Parámetro hipocentral
1	Fecha	8	Latitud
2	Tiempo	9	Longitud
3	Profundidad	10	QC
4	RMS	11	Gap
5	Azimuth	12	S-P
6	Vp/vs	13	Error en 3 componentes
7	Magnitud		

6.5 Generación del Catálogo Sismovolcánico

Los catálogos sismovolcánicos se componen de un conjunto de parámetros extraídos del análisis de las señales sísmicas que han sido clasificadas, es decir, los catálogos son un conjunto de listas de clasificación que contienen los campos descritos en la Tabla 3.

6.5.1 Análisis del Catálogo Sismovolcánico

Ante la ocurrencia de cambios relevantes de la actividad sismovolcánica relacionados con el comportamiento dinámico de uno o varios volcanes, que involucren la probabilidad de generar una crisis volcánica, el analista de turno deberá informar inmediatamente al Coordinador(a) del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

VII. REFERENCIAS

- Buurman, H., & West, M. (2010). Seismic precursors to volcanic explosions during the 2006 eruption of Augustine Volcano. Chapter 2. En J. C. Power, The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska (págs. 41-57). Menlo Park: U.S. Geological Survey Professional Paper 1769.
- Centeno, R., & Rivera, M. (2020). *Reconocimiento automático de señales sísmicas de origen volcánico para la alerta*. Informe Vulcanológico IGP/CENVUL-MIS/IV 2020-0001, Instituto Geofísico del Perú, Lima.
- Chouet, B. (2003). Volcano Seismology. *Pure appl. geophys.*, 160, 739-788. doi:10.1007/PL00012556
- Górski, M. (2014). Seismic Events in Glaciers. 22.
- Khan, M. S., Curilem, M., Huenupan, F., F., K. M., & Becerra Yoma, N. (2019). A Signal Processing Perspective of Monitoring Active Volcanoes [Applications Corner]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36(6), 125-163.
- Lesage, P. (2009). Interactive Matlab software for the analysis of seismic volcanic signals. *Computers & Geosciences*, 35(10), 2137-2144.
- Thompson, G., & Reyes, C. (2018). *GISMO - a seismic data analysis toolbox for MATLAB (Version 1.20b)*. Obtenido de GISMO: <http://geoscience-community-codes.github.io/GISMO/>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1.- Modelos de velocidad de los volcanes monitoreados por el CENVUL.

Anexo 2.- Red de estaciones sísmicas que conforman la Red Geofísica de Volcanes.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO 1

Modelos de velocidad de ondas sísmicas de los volcanes monitoreados por el CENVUL

! VOLCAN MISTI VELOC 1 1 1.94 0.0 1.69 VELOC 1 2 2.06 1.2 1.69 VELOC 1 3 2.12 1.5 1.69 VELOC 1 4 2.18 1.7 1.69 VELOC 1 5 2.21 2.2 1.69 VELOC 1 6 2.24 2.4 1.69 VELOC 1 7 4.50 3.5 1.69 VELOC 1 8 5.90 12.0 1.69 VELOC 1 9 6.10 15.0 1.69 VELOC 1 10 6.60 25.0 1.69 VELOC 1 11 6.80 35.0 1.69	! VOLCAN SABANCAYA VELOC 1 1 2.87 0.0 1.65 VELOC 1 2 4.34 2.5 1.53 VELOC 1 3 5.30 3.5 1.69 VELOC 1 4 5.49 4.5 1.66 VELOC 1 5 5.55 5.5 1.66 VELOC 1 6 5.66 6.5 1.69 VELOC 1 7 5.71 7.5 1.68 VELOC 1 8 5.72 8.5 1.66 VELOC 1 9 5.72 10.0 1.63 VELOC 1 10 5.72 11.5 1.60 VELOC 1 11 5.74 13.5 1.60 VELOC 1 12 5.79 15.5 1.62 VELOC 1 13 5.85 17.5 1.63
! VOLCAN UBINAS VELOC 1 1 2.50 0.0 1.68 VELOC 1 2 2.89 2.5 1.68 VELOC 1 3 2.30 4.0 1.68 VELOC 1 4 3.42 6.5 1.68 VELOC 1 5 4.37 9.0 1.68 VELOC 1 3 4.69 12.5 1.68 VELOC 1 4 4.93 16.0 1.68 VELOC 1 5 5.76 21.0 1.68	! VOLCAN AUQUIHUATO-SARASARA-COROPUNA VELOC 1 1 3.32 0.0 1.70 VELOC 1 2 3.94 1.5 1.70 VELOC 1 3 4.09 3.0 1.70 VELOC 1 4 4.30 4.5 1.70 VELOC 1 5 5.36 6.0 1.70 VELOC 1 3 5.42 7.5 1.70 VELOC 1 4 5.47 13.0 1.70 VELOC 1 5 5.56 16.0 1.70 VELOC 1 6 5.69 19.0 1.70 VELOC 1 7 5.86 23.0 1.70
! VOLCAN CASIRI-HUAYNAPUTINA-TICSANI-TUTUPACA-YUCAMANE VELOC 1 1 5.70 0.0 1.77 VELOC 1 2 6.00 5.0 1.77 VELOC 1 3 6.10 15.0 1.77 VELOC 1 4 6.60 25.0 1.77 VELOC 1 5 6.80 35.0 1.77 VELOC 1 6 7.80 50.0 1.77	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO 2

Red de estaciones sísmicas que conforman la Red Geofísica de Volcanes

Estación	Elevación	Volcán	Instrumento	Longitud	Latitud
AUQ1	4579	Auquihuato	Sismómetro	-73.144107	-15.128519
CAS1	4794	Casiri	Sismómetro	-69.781656	-17.500441
CHCH	4872	Chachani	Sismómetro	-71.494072	-16.169187
COR1	5233	Coropuna	Sismómetro	-72.695381	-15.546924
COR2	4467	Coropuna	Sismómetro	-72.638893	-15.336658
COR3	4800	Coropuna	Sismómetro	-72.606667	-15.462690
COR4	4991	Coropuna	Sismómetro	-72.522293	-15.546352
SOL1	4593	Coropuna	Sismómetro	-72.811318	-15.411075
HNP1	2976	Huaynaputina	Sismómetro	-70.875672	-16.692317
HNP2	4164	Huaynaputina	Sismómetro	-70.868983	-16.481365
HNP3	2657	Huaynaputina	Sismómetro	-70.788987	-16.601148
MISA	4168	Misti	Sismómetro	-71.397731	-16.326169
MISC	4785	Misti	Sismómetro	-71.397120	-16.282390
MISD	5400	Misti	Sismómetro	-71.400589	-16.291511
EMIS	5710	Misti	Sismómetro	-71.414131	-16.296119
FMIS	4288	Misti	Sismómetro	-71.372481	-16.302088
GMIS	3794	Misti	Sismómetro	-71.433029	-16.269638
PURI	4705	Purupuruni	Sismómetro	-69.897810	-17.257710
CAJA	4471	Sabancaya	Sismómetro	-71.766920	-15.837000
PATA	4974	Sabancaya	Sismómetro	-71.662278	-15.754907
SABA	5210	Sabancaya	Sismómetro	-71.848010	-15.812748
HLCA	5315	Sabancaya	Sismómetro	-71.847508	-15.733808
MRCA	4952	Sabancaya	Sismómetro	-71.934052	-15.752027
PNCH	4671	Sabancaya	Sismómetro	-71.869175	-15.680167
JAMP	5265	Sabancaya	Sismómetro	-71.857150	-15.844577
SRA1	4663	Sarasara	Sismómetro	-73.424474	-15.337061
SRA2	3244	Sarasara	Sismómetro	-73.361745	-15.304828
TCN1	5132	Ticsani	Sismómetro	-70.605221	-16.753000
MUYQ	4584	Ticsani	Sismómetro	-70.685362	-16.656275
HYTR	4695	Ticsani	Sismómetro	-70.439671	-16.814176
SPDR	4389	Ticsani	Sismómetro	-70.633000	-16.823500
TCN2	5005	Ticsani	Sismómetro	-70.550197	-16.695385
TUT1	5198	Tutupaca	Sismómetro	-70.355738	-17.017651
TUT2	4845	Tutupaca	Sismómetro	-70.476502	-16.974992
TUT3	4967	Tutupaca	Sismómetro	-70.348303	-16.977996
UBI1	4840	Ubinas	Sismómetro	-70.916924	-16.332013

	MANUAL DE USUARIO		Versión: 01	
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO		Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: OVS	

UBI2	4990	Ubinas	Sismómetro	-70.892111	-16.324593
UBI3	4668	Ubinas	Sismómetro	-70.870449	-16.331608
UBI4	4724	Ubinas	Sismómetro	-70.916387	-16.363273
UBI5	3659	Ubinas	Sismómetro	-70.868033	-16.381725
UBI6	4412	Ubinas	Sismómetro	-70.903313	-16.388420
HSAL	4480	Ubinas	Sismómetro	-71.160000	-16.330000
YCA3	4469	Yucamane	Sismómetro	-70.349730	-17.118620
YCA2	4438	Yucamane	Sismómetro	-70.149960	-17.124450
YCA1	4659	Yucamane	Sismómetro	-70.185275	-17.191650

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024- IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 005-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 005-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES

I. OBJETIVO

Establecer las instrucciones básicas para el realizar el Monitoreo Visual de las manifestaciones que presentan los volcanes activos del sur del Perú, que comprende la descarga de datos, el procesamiento de la información, la caracterización de las emisiones volcánicas y la generación de series de tiempo de la información recepcionada y analizada que hace uso de diferentes técnicas e instrumentos.

II. BASE LEGAL

- 2.1** Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2** Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3** Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4** Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5** Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6** Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7** Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8** Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9** Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10** Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

El presente manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), encargado de realizar el monitoreo volcánico permanente y la evaluación de peligros volcánicos. Comprende desde la descargar de los datos, el procesamiento de la información, la caracterización de las emisiones volcánicas y la generación de series de tiempo de las diferentes técnicas relacionas con el monitoreo Visual mediante Sensores Remotos Superficiales.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1 El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de monitoreo Visual en sus distintas disciplinas o técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes.
- 5.2 Los analistas de Monitoreo Visual son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3 Cada analista que integra el equipo de Monitoreo Visual, verifica la disponibilidad de la información procedente de los equipos asignados, asimismo, está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos y coordina con el Equipo de Soporte (Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos o Redes Geofísicas) si hubiera algún problema.

VI. MONITOREO MEDIANTE CÁMARAS DE VIGILANCIA

6.1 Descarga de imágenes de cámaras de vigilancia

Para poder realizar el procesamiento de cada imagen tomada por las cámaras de vigilancia es necesario obtener dichas imágenes, para lo cual se cuenta con dos opciones:

- La primera opción es obtener las imágenes directamente a través de la base de datos de imágenes del Sistema de Almacenamiento conectado a Red (NAS), siguiendo la siguiente ruta: **Y:\CENVUL\sremotos\camaras**
- La segunda opción es a través de la descarga de imágenes mediante FTP, para lo cual se requiere de un cliente y un servidor. Para poder ingresar a las imágenes se necesita credenciales con la cual se tendrá acceso a todas las cámaras de monitoreo visual.

IP	10.0.10.45
User	ovs
Pass	xxxxx

6.2 Cálculo de escala para determinar la altura de las emisiones volcánicas

Uno de los productos principales del monitoreo visual es la estimación de las alturas de las columnas eruptivas o plumas volcánicas. Para esto, las imágenes obtenidas con las cámaras son provistas de una escala de medición en metros, y se toma como referencia la distancia que existe entre dos puntos identificados en el edificio volcánico (Figura 1). La línea de distancia entre ambos puntos consta de píxeles y, a cada pixel, se le asigna una distancia. Cabe mencionar que esta técnica funciona cuando las columnas eruptivas son verticales; por ello, es necesario contar con más de una cámara para la vigilancia óptima de un volcán. Para la calibración y estimación de la altura de las emisiones se

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024- IGP Sigla de Área: OVS

utiliza un script elaborado en Matlab, el cual fija la altura cero en el punto más bajo del borde del cráter, a partir del cual se hace el cálculo de la altura en metros.

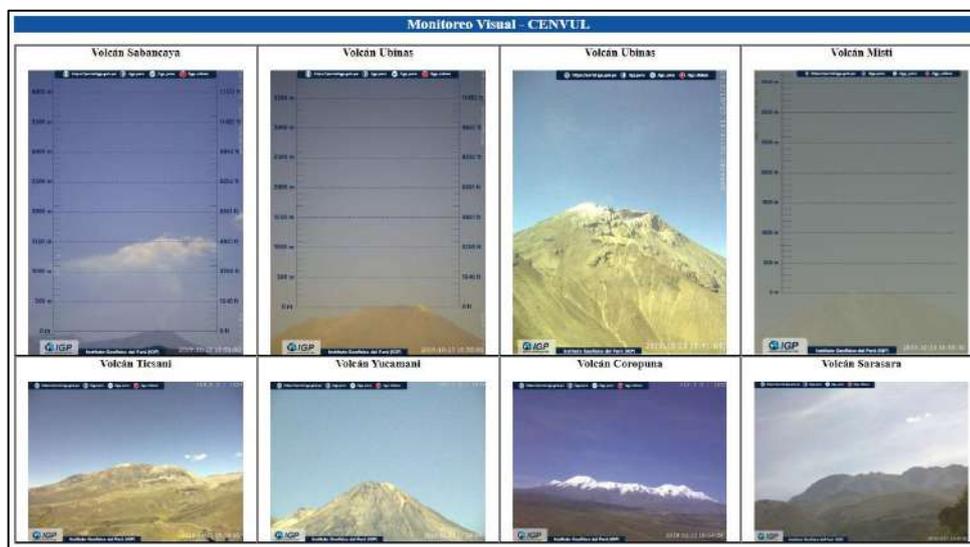


Figura 1.- Imágenes de cámaras de vigilancia ubicadas estratégicamente en 9 volcanes.

6.3 Caracterización de las emisiones volcánicas

Una vez calculada la escala para cada volcán, se automatiza la escala para todas las imágenes de entrada y se almacena en una base de datos para luego ser procesada. El procesamiento y el análisis de la información se realiza diariamente en gabinete, en tiempo casi real, a través del desarrollo de un programa interactivo en MatLab denominado “Cla_visual.m” (Figura 2); el cual carga una serie consecutiva de imágenes para determinar la hora de inicio, altura, tipo, coloración y dirección de las emisiones de ceniza de manera sistemática. Así, se obtiene catálogos completos que permiten al operador de turno caracterizar las emisiones volcánicas.

Adicionalmente, se desarrolló un script con el lenguaje de programación Python (a través del entorno Júpiter) que permite guardar las imágenes generadas por el programa “Cla_visual.m”. El software está disponible para el uso común del CENVUL en la siguiente dirección: **Y:\CENVUL\sremotos\programas\“Cla_visual.m”**.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

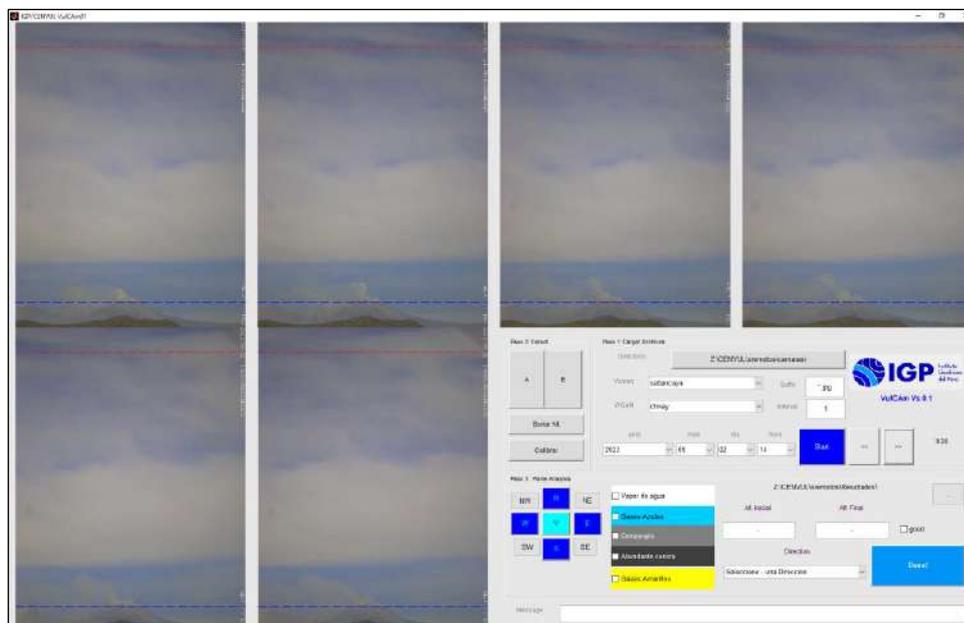


Figura 2.- Vista del entorno gráfico del programa *Cla_visual.m* para procesar las imágenes generadas por la cámara de vigilancia del CENVUL.

6.4 Procesamiento de imágenes

Consiste en realizar los siguientes pasos:

Primero: Asignar la hora de inicio (jet) de cada emisión, además de la hora final en la cual la emisión se encuentre dispersada por el viento. Las imágenes en la base de datos ya contienen automáticamente la escala correspondiente en metros o kilómetros, lo cual ayudará a tener la altura correcta de cada emisión. Se tendrá que registrar la altura del inicio de la emisión (jet) como la altura final antes que la columna eruptiva sea dispersada por el viento (Figura 3).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

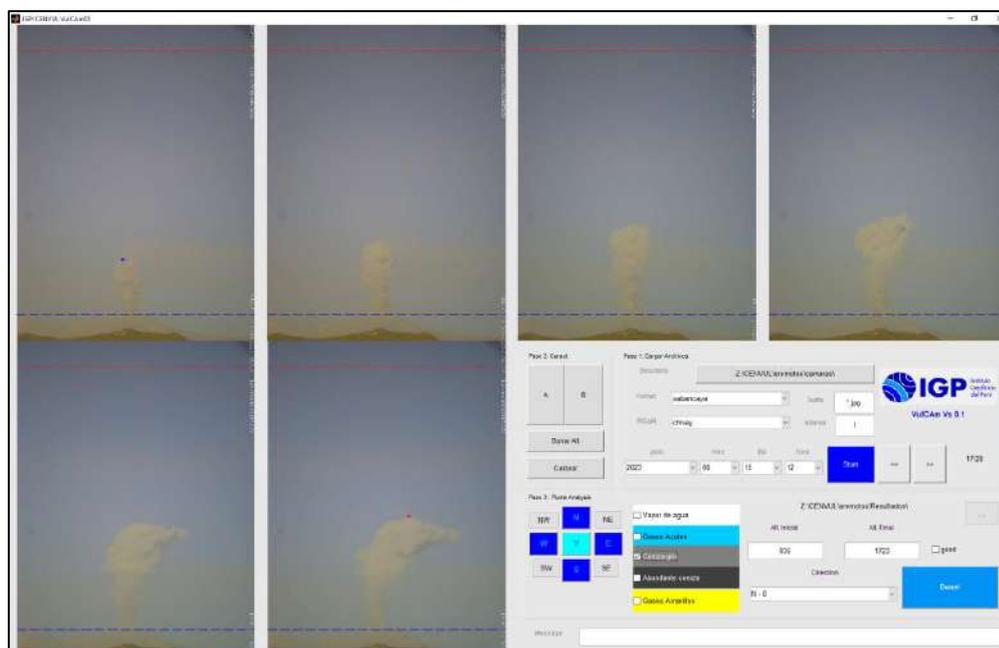


Figura 3.- Picado de la altura inicial (punto azul) y altura máxima de la emisión (punto rojo).

Segundo: Señalar la dirección de la emisión que ocurre entre el jet inicial y la altura máxima de emisión. Para obtener la dirección que toman las emisiones volcánicas se debe tener en cuenta la roseta de direcciones en grados sexagesimales (tabla 1) y confirmar la dirección elegida con el pronóstico de dispersión de ceniza ASH3D de la USGS (<https://vsc-ash.wr.usgs.gov/ash3d-gui/#!/>) y por los pronósticos de direcciones de vientos del SENAMHI.

Tabla 1.- Relación de la orientación cardinal en grados sexagesimales con la dirección de la emisión volcánica.

Dirección	Grado Sexagesimal (°)	Rango (°) que determina la dirección de dispersión
N	0°	337.6° - 22.5°
NE	45°	22.6° – 67.5°
E	90°	67.6° – 112.5°
SE	135°	112.6° – 157.5°
S	180°	157.6° – 202.5°
SW	225°	202.6° – 247.5°
W	270°	247.6° – 292.5°
NW	315°	292.6° – 337.5°

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Adicionalmente, para el caso de los volcanes que cuentan con tres cámaras (o mínimo dos), ubicadas estratégicamente; se puede realizar una triangulación para obtener la dirección correcta de la emisión.

Tercero: Identificar la densidad de la emisión relacionada con el contenido de ceniza, vapor de agua, etc., y al color que presentan dichos eventos. Para ello, se tiene la siguiente clasificación.

Tabla 2.- Clasificación del tipo de emisión y gas según el color observado.

Color	Contenido	Clasificador
Amarillo	Azufre	1
Azul	Aerosoles de SO ₂	2
Blanco	Vapor de agua	3
Gris	Ceniza	4
Gris oscuro	Ceniza abundante	5

6.5 Resultados y actualización de la base de datos

Luego de realizar el análisis de las imágenes de las cámaras de video, el programa "Cla_visual.m" genera un archivo en formato *.csv y lo guarda automáticamente en la carpeta "resultados" del NAS del CENVUL. La dirección es la siguiente: Y:\CENVUL\sremotos\resultados\visual.

El archivo final presenta el siguiente formato (Figura 4):

- **startTime:** Fecha y hora de la altura inicial de la emisión (jet inicial). La hora se encuentra en formato UTC.
- **endTime:** Fecha y hora de la altura máxima de emisión. La hora se encuentra en formato UTC.
- **jetHeight:** Altura inicial de la emisión en metros.
- **maxHeight:** Altura máxima de la emisión en metros
- **angle:** Dirección de la emisión en grados sexagesimales (ver tabla 1).
- **description:** Densidad de la emisión relacionada con el contenido de ceniza y al color que presenta dicha emisión. Los resultados se muestran entre 1 y 5 (ver Tabla 2).
- **idVolcano:** Siglas del volcán analizado (máximo de 3 dígitos).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

2021_sabancaya_visual_f						
startTime	endTime	jetHeight	maxHeight	angle	description	idVolcano
2021-01-01T12:53:00.00	2021-01-01T12:56:00.00	300	3000	235	4 SAB	
2021-01-02T11:53:00.00	2021-01-02T11:56:00.00	500	1500	235	4 SAB	
2021-01-02T13:20:00.00	2021-01-02T13:24:00.00	400	1500	235	4 SAB	
2021-01-03T16:04:01.00	2021-01-03T16:09:01.00	700	3000	270	4 SAB	
2021-01-04T13:44:00.00	2021-01-04T13:47:00.00	500	2500	270	4 SAB	
2021-01-05T11:27:00.00	2021-01-05T11:30:00.00	700	1500	270	4 SAB	
2021-01-05T12:35:00.00	2021-01-05T12:39:00.00	300	2500	270	4 SAB	
2021-01-06T12:16:00.00	2021-01-06T12:17:00.00	1000	1500	135	4 SAB	
2021-01-07T11:16:00.00	2021-01-07T11:18:00.00	1000	1500	135	4 SAB	
2021-01-08T12:42:00.00	2021-01-08T12:44:00.00	200	1500	135	4 SAB	
2021-01-09T12:56:00.00	2021-01-09T12:56:00.00	600	3000	315	4 SAB	
2021-01-10T10:20:00.00	2021-01-10T10:20:00.00	300	3000	235	4 SAB	
2021-01-11T11:34:00.00	2021-01-11T11:34:00.00	200	2200	215	4 SAB	
2021-01-12T11:20:00.00	2021-01-12T11:20:00.00	100	1500	315	4 SAB	
2021-01-13T14:20:00.00	2021-01-13T14:20:00.00	500	3000	315	4 SAB	
2021-01-14T11:04:00.00	2021-01-14T11:04:00.00	300	2500	315	4 SAB	
2021-01-15T12:03:00.00	2021-01-15T12:05:00.00	200	1800	315	4 SAB	

Figura 4.- Formato del archivo de datos que contiene la información de monitoreo visual.

Esta información se actualiza diariamente en el dashboard del CENVUL, en la dirección <http://10.0.10.42:8050/loader/emission>.

VII. MODELOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DISPERSIÓN DE CENIZA

Como herramienta complementaria al monitoreo visual, se usan modelos numéricos de dispersión de ceniza en volcanes que se encuentran en proceso eruptivo para conocer las direcciones y áreas de dispersión de cenizas, cuya información es útil para emitir la alerta de dispersión de ceniza. El IGP se apoya en los siguientes modelos de dispersión:

7.1 Modelo WRF (SENAMHI)

Para el pronóstico de la trayectoria del viento a diferentes altitudes, se usa el modelo numérico de la atmosfera WRF que se encuentra en la página web del SENAMHI. El uso de esta herramienta permite al observador pronosticar la dirección de dispersión de la columna de ceniza, así como los lugares que se pueden ver afectados por la caída de ceniza volcánica (Figura 5).

La página web es la siguiente:
<https://www.senamhi.gob.pe/site/volcan/?p= ModeloWrf>

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS



Figura 5.- Pagina web del SENAMHI del modelamiento numérico de la atmósfera.

También se utiliza el reporte del pronóstico del tiempo para los volcanes en proceso eruptivo o en erupción con la finalidad de conocer la dirección del viento a diferentes alturas (Figura 6).



Figura 6.- Reporte del pronóstico del tiempo para el volcán Ubinas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

7.2 GOES-16

Este satélite permite la generación de imágenes satelitales que se puede visualizar en tiempo real, cuyo uso principal es observar la dirección que tomarán las cenizas expulsadas por un volcán, así como la distancia de la dispersión y las zonas a ser afectadas por este producto volcánico.

La aplicación web fue desarrollada recientemente por el Instituto Cooperativo para la Investigación en la Atmósfera (CIRA) en asociación con la Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB) (Figura 7).

La página web es la siguiente:

https://rammb-slider.cira.colostate.edu/?sat=goes-16&sec=full_disk&x=11849.5&y=14351&z=6&angle=0&im=12&ts=1&st=0&et=0&speed=90&motion=loop&maps%5Bborders%5D=white&p%5B0%5D=natural_color&p%5B1%5D=geocolor&opacity%5B0%5D=1&opacity%5B1%5D=0.5&pause=0&slider=-1&hide_controls=0&mouse_draw=0&follow_feature=0&follow_hide=0&s=rammb-slider&draw_color=FFD700&draw_width=6



Figura 7.- Aplicativo web del satélite GOES-16.

7.3 Ash3D

El software Ash3d es un modelo atmosférico euleriano tridimensional utilizado para simular el transporte, dispersión y depositación de tefra o material particulado emitido por un volcán, cuyo fin es estudiar y pronosticar el área que sería cubierto o alcanzado por las nubes de ceniza volcánica o la caída de tefra. Esta herramienta permite al observador fijar la trayectoria de la caída de ceniza, así como las zonas afectadas por este fenómeno (Figura 8) para emitir boletín u alerta por dispersión de ceniza.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

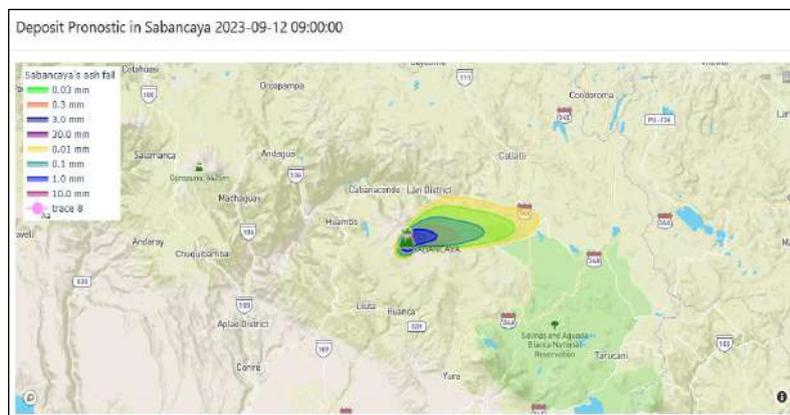


Figura 8.- Modelo numérico de dispersión de ceniza Ash3D.

VIII. ALERTAS DE DISPERSIÓN DE CENIZAS

Una alerta de dispersión de cenizas es un comunicado que advierte sobre el proceso explosivo de un volcán con la emisión de cenizas e indica la dirección de dispersión del material y las posibles áreas urbanas a ser afectadas. El formato para emitir una alerta de dispersión de cenizas es el siguiente:

Figura 9.- Formato elaborado para la emisión de alertas por dispersión de cenizas que contiene la información mínima requerida para la respuesta de las autoridades.

El envío de la alerta lo realiza el analista de monitoreo visual de turno mediante el correo electrónico y whatsapp. Además, el encargado del monitoreo visual deberá comunicar telefónicamente la ocurrencia de caída de cenizas a los contactos registrados en una base de datos y que se ubiquen en los posibles pueblos afectados. También, el encargado es el responsable de alimentar una base de datos con los

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

contactos mencionados y mantenerla actualizada (Tabla 3). De igual manera, se utiliza una base de datos que contiene información de contacto de las principales autoridades distritales, provinciales y regionales que trabajan en la gestión del riesgo de desastres (Tabla 4).

Tabla 3.- Lista de contactos para corroborar la afectación por caída de cenizas en zonas o distritos adyacentes al volcán.

Contactos para corroboración de afectación por caída de ceniza			
Localidad	Apellidos	Nombres	Celular

Tabla 4.- Lista de contactos de alcaldes y secretarios técnicos de Defensa Civil.

Contactos de alcaldes y secretarios técnicos de Defensa Civil			
Item	Distritos	Alcaldes/Secretario técnico	celular

8.1 Notificación del Observatorio de Volcanes para la Aviación (VONA)

El Instituto Geofísico del Perú a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), es responsable de proporcionar información oportuna sobre el inicio de una erupción volcánica o desarrollo de un proceso eruptivo, así como, la ocurrencia de nubes de cenizas volcánicas a las dependencias del Centro de Control de Área (ACC), Centro de Avisos de Ceniza Volcánica (VAAC) y a la oficina de Vigilancia Meteorológica de Lima (OVM), según la carta de acuerdo y cooperación firmada entre la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

La información proporcionada deberá ser emitida en conformidad con el formato de Notificación del Observatorio de Volcanes para la Aviación (VONA).

De acuerdo al Manual OACI proporcionado por CORPAC, el formato VONA deber presentar la siguiente estructura (Tabla 5):

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Tabla 5.- Estructura del Formato de Notificación de Actividad Volcánica para la Aviación (VONA).

NOTIFICACIÓN DEL OBSERVATORIO DE VOLCANES PARA LA AVIACIÓN	
Emitido:	(20220505/1408Z)
Volcán:	Volcán Sabancaya N.º 354006
Clave de color aeronáutica actual	RED
Anterior clave de color aeronáutica	Red
Fuente:	Instituto Geofísico del Perú (IGP)
Número de notificación:	0032023
Ubicación del volcán:	S1578 W07185
Área:	PERU
Elevación de la cima:	19 553 ft (5960 m)
Resumen de la actividad volcánica:	Explosión volcánica a las 1408Z (09:08 hora local) con emisiones de ceniza moderadas en el volcán Sabancaya. Actividad eruptiva continúa en estos momentos.
Altura de la nube volcánica:	9842 ft (3000 m) sobre la cima del volcán (Fuente: cámara de monitoreo IGP)
Otra información de nube volcánica:	Emisiones de coloración gris (cenizas). Según lo observado, el material viene siendo dispersado hacia los sectores OESTE y NORESTE del volcán.
Observaciones:	Volcán en proceso eruptivo desde el 6 de noviembre de 2016. Erupción vulcaniana
Contactos:	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Vulcanológico Nacional: cenvul@igp.gob.pe (+5154369212) • José Del Carpio: jdelcarpio@igp.gob.pe (+51940408454)
Próxima Notificación:	Cuando se registren cambios significativos en la dirección y altura de las emisiones.

- **Emitido:** fecha y hora Universal (UTC) (YYYYMMDD/HHMMZ)
- **Volcán:** nombre y número (tomar de la base de datos del Smithsonian en: https://volcano.si.edu/search_volcano.cfm)

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

- **Clave de color aeronáutica actual:** GREEN, YELLOW, ORANGE o RED, en mayúscula estilo negrita
- **Clave de color aeronáutica previa:** en minúsculas, sin negrita.
- **Fuente:** nombre del observatorio de volcanes.
- **Número de notificación:** Crear un número único para cada VONA, que incluya el año
- **Ubicación del volcán:** Latitud, longitud, grados y minutos
- **Área:** Designador Regional
- **Elevación de la cima:** nnnn ft (nnnn m)
- **Resumen de la actividad volcánica:** Informe conciso que describa la actividad del volcán. Especificar la hora de comienzo y la duración (local y UTC) de la actividad eruptiva, si se conoce.
- **Altura de la nube de ceniza volcánica:** Mejor estimación de la cima de la nube de ceniza volcánica en nnnnn ft (nnnn m) por encima de la cumbre. Proporcionar la fuente de los datos de altura (observador en tierra, informe del piloto, etc.). "DESCONOCIDO" si no hay datos disponibles o "NO SE PRODUCE NUBE DE CENIZA VOLCANICA" según corresponda
- **Otra información de nube de ceniza volcánica:** Breve resumen de características relevantes de la nube (color de nube, forma de nube, la dirección del movimiento, etc.) Especificar si la altura de la nube es oscura o se sospecha que es más alto que lo que se observa claramente. "DESCONOCIDO" si no hay datos disponibles o "NO SE HA PRODUCIDO NUBE DE CENIZA VOLCANICA" si corresponde.
- **Observaciones:** Opcional. Breves comentarios sobre temas relacionados (datos de seguimiento, acciones del observatorio, actividad previa del volcán, etc.).
- **Contactos:** Nombres, números de teléfono, direcciones de correo electrónico.
- **Próxima Notificación:** "Un nuevo VONA se publicará si las condiciones cambian significativamente o si cambia el código de color." Incluir la dirección del sitio web donde se publica la última información volcánica.

8.1.1 Código de color de actividad volcánica utilizado en la aviación civil internacional

Para determinar el código de color aeronáutica actual en el caso que se deba emitir un reporte VONA, la aviación dispone de un cuadro de colores que permite clasificar el nivel de alerta de la actividad del volcán (Figura 10).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Este cuadro fue proporcionado por CORPAC en las coordinaciones que sostuvo con el IGP en el año 2014 para la emisión de formatos VONA.

Clave de Colores del nivel de alerta	Descripción de la Actividad Volcánica
Alerta Roja AVIATION COLOR CODE:RED	Erupción volcánica en curso. Notificación de penacho/nube de cenizas sobre el fl 250 o Volcán peligroso, erupción probable, se prevé que el penacho/nube de cenizas se eleve por encima del fl 250.
Alerta Naranja AVIATION COLOR CODE:ORANGE	Erupción volcánica en curso, pero el penacho/nube de cenizas no alcanza o no se prevé que alcance el fl 250 o Volcán peligroso, erupción probable pero no se prevé que el penacho/nube de cenizas alcance el fl 250.
Alerta Amarilla AVIATION COLOR CODE:YELLOW	Volcán reconocidamente activo cada cierto tiempo y aumento reciente significativo de la actividad volcánica, actualmente el volcán no se considera peligroso pero se recomienda precaución o Después de una erupción, es decir, cambio a alerta amarilla de roja o naranja) — disminución significativa de la actividad volcánica, el volcán no se considera actualmente peligroso pero se recomienda precaución.
Alerta Verde AVIATION COLOR CODE:GREEN	Se considera que la actividad volcánica ha cesado y el volcán ha vuelto a su estado normal.

(*) La clave correspondiente al color "amarillo" puede emplearse en caso de que las erupciones volcánicas sean de carácter "regular" o "casi permanentes", pero no llegan normalmente al fl 250 y eso no supone necesariamente un "incremento notable de la actividad volcánica".

Figura 10. Códigos de color de actividad volcánica utilizado por la aviación

El término "fl" significa nivel de vuelo (flight level por sus siglas en inglés) que hace referencia a la altitud que vuela una aeronave. Por lo tanto, un fl 250 equivale a 7600 m ó 25000 ft.

8.1.2 Acciones que se deben considerar para emitir un VONA

Si durante el monitoreo diario de los volcanes ocurre un evento eruptivo (explosión o emisión considerable de ceniza), se debe dar el aviso al Coordinador(a) de CENVUL para emitir un VONA. Para ello, se deben reportar los siguientes datos:

- **Hora de inicio del evento:** la hora en UTC y local
- **Altura de la emisión:** en pies(ft) y metros(m)
- **Clave de color aeronáutica:** Utilizando el cuadro de códigos de color de la aviación, determinar el nivel de alerta del volcán teniendo en cuenta la altura de la columna eruptiva y el tipo de evento. Para el caso de los volcanes en proceso eruptivo como el Sabancaya y Ubinas, se tiene la siguiente clasificación (Tablas 6 y 7):

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Tabla 6.- Nivel de alerta a reportar según la altura de la columna eruptiva y tipo de evento para el caso del volcán Sabancaya.

Tipo de evento	Altura de la columna eruptiva (m)	Código de color
explosión	> = 1600	Rojo
emisiones continuas	< 1600	Naranja
emisiones esporádicas	< 1600	Amarillo
sin emisión	0	Verde

Tabla 7.- Nivel de alerta a reportar según la altura de la columna eruptiva y tipo de evento para el caso del volcán Ubinas.

Tipo de evento	Altura de la columna eruptiva (m)	Código de color
explosión	> = 2000	Rojo
emisiones continuas	< 2000	Naranja
emisiones esporádicas	< 2000	Amarillo
sin emisión	0	Verde

- **Dirección de dispersión de ceniza:** consultar los reportes del SENAMHI y los modelos que se utilizan para emitir las alertas de dispersión de cenizas.
- **Color de la emisión:** según la clasificación que se considera en el procesamiento de las imágenes (gris - ceniza; gris oscuro - ceniza abundante; Blanco - vapor de agua; azul - aerosoles de SO₂).
- Ingresar los datos reportados al formato VONA.
- Enviar el formato completo al coordinador(a) de CENVUL para emitir el VONA a las autoridades e instituciones pertinentes.

IX. CATÁLOGO VISUAL

Los catálogos están conformados por un conjunto de archivos *.csv que contienen los parámetros más importantes, descritos en la Figura 4, que permiten la caracterización y análisis de las emisiones volcánicas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

9.1 Análisis del Catálogo Visual

Ante la ocurrencia de cambios relevantes o el inicio de una explosión volcánica importante de cualquiera de los volcanes activos monitoreados, el analista de turno deberá informar inmediatamente al Coordinador(a) del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 006-2024-IGP

PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

Versión 01

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

MANUAL DE USUARIO MU N° 006-2024-IGP

PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

I. OBJETIVO

Establecer y definir el rol de actividades y procedimientos de cada método de monitoreo volcánico y sus respectivas técnicas con el propósito de generar de manera diaria e ininterrumpidamente información que sirva de insumo para la elaboración de reportes, boletines y alertas vulcanológicas, a fin de contribuir en la prevención y mitigación de los efectos que podrían ocasionar las erupciones volcánicas y sus peligros asociados.

II. BASE LEGAL

- 2.1** Ley N° 31733. Ley del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.2** Ley N° 27806. Transparencia y acceso a la información pública.
- 2.3** Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y sus modificatorias
- 2.4** Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la ley del SINAGERD.
- 2.5** Decreto Supremo N° 001 - 2015 - MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú.
- 2.6** Decreto Supremo N° 017-2018-MINAM. Aprueban los Lineamientos para la incorporación de criterios sobre infraestructura natural y gestión del riesgo en un contexto de cambio climático, en el marco de la reconstrucción con cambios.
- 2.7** Decreto Supremo N° 115 – 2022 - PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Desastres - PLANAGERD 2022-2023.
- 2.8** Resolución Ministerial N° 237-2022-PCM, Aprobar el "Plan Nacional de Operaciones de Emergencia- PNOE"
- 2.9** Resolución de Gerencia General N° 011-IGP/2019. Disponen la creación del Centro Vulcanológico Nacional - CENVUL, que depende del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP.
- 2.10** Resolución de Gerencia General N° 029-IGP/2020, aprueba la directiva DI 001-2020-IGP "Aprobación, Modificación o Derogación de documentos normativos".

III. ALCANCE

Este manual es una herramienta del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL) del Instituto Geofísico del Perú; encargado de realizar el monitoreo volcánico y la evaluación de peligros volcánicos a nivel nacional. Comprende desde la descarga de los datos multiparamétricos, el procesamiento de la información adquirida por

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

la Red Geofísica de Volcanes (RGV), hasta la generación de catálogos, series de tiempo u otros productos que muestren el nivel de actividad dinámica de los volcanes activos.

IV. DISPOSICIONES GENERALES

- 4.1** El personal del Centro Vulcanológico Nacional, es el encargado del uso y cumplimiento del presente Manual de Usuario.
- 4.2** La subdirección de Redes Geofísicas es la responsable de la implementación, mantenimiento y operación de los equipos geofísicos de campo, que hacen parte de la Red Geofísica de Volcanes (RGV). Así como, de la adquisición de datos multiparamétricos.
- 4.3** La Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos es la responsable de dar el soporte informático y tecnológico al CENVUL, desarrollando soluciones informáticas, operación y mantenimiento de software y hardware, así como, administrar el centro de datos multiparamétricos.

V. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 5.1** El o la Coordinador(a) del CENVUL es el encargado de hacer cumplir el manual de procesamiento de datos vulcanológicos en sus distintos métodos y técnicas aplicadas para el monitoreo y la vigilancia de volcanes, así como, en la generación de la información vulcanológica y respuesta en caso de reactivación volcánica y crisis eruptiva.
- 5.2** Los analistas de monitoreo vulcanológico son los responsables de realizar los trabajos de recopilación, procesamiento e interpretación de los datos en el ámbito de sus competencias y reportar los resultados obtenidos diariamente.
- 5.3** Cada analista que integra el equipo de monitoreo está en la obligación de actualizar diariamente los catálogos vulcanológicos de los diferentes métodos de monitoreo y actualizar los sistemas de visualización de la información.

VI. REQUISITOS

- 6.1** Disponer de los datos de las estaciones sismovolcánicas, estaciones de deformación volcánica, cámaras de monitoreo, estaciones para el monitoreo de gases y fuentes termales e información proveniente de sensores remotos satelitales implementados por el IGP en los volcanes activos del Perú.
- 6.2** Los analistas o encargados que efectúen los trabajos de monitoreo deberán tener amplio conocimiento sobre los principios técnicos de los métodos de monitoreo mencionados en el punto anterior.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

VII. ÁREAS DE SOPORTE

7.1 Redes Geofísicas (RG)

La Subdirección de Redes Geofísicas es el órgano responsable de realizar las actividades estratégicas de innovación, desarrollo, implementación y operación del instrumental geofísico indispensable para cumplir con la función de monitoreo volcánico.

7.2 Oficina de la Tecnología de la Información y Datos Geofísicos (OTIDG)

La OTIDG, a través de las unidades que la conforman, está encargada de desarrollar soluciones informáticas bajo un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable en el desarrollo, operación y mantenimiento de software y hardware con la metodología de trabajo basada en la gestión por procesos para la realización de sus actividades.

Administra un Data Center, conocido también como Centro de Datos, es el lugar donde están todos los equipos destinados para el procesamiento, almacenamiento de datos, procesamiento primario, procesamiento automático, entre otros. En este caso resaltan los Servidores y Equipos de Almacenamiento (SAN y NAS) utilizados para recepcionar y procesar la data vulcanológica.

VIII. PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS

8.1 Elementos de entrada

La información multiparamétrica (Rawdata) adquirida desde la RGV, es recepcionada y preprocesada por el Centro de Datos y almacenada en el sistema NAS. En dicho sistema, los datos sismovolcánicos, de deformación volcánica, visuales, geoquímicos y satelitales son categorizados y ordenados en un árbol de directorios dividido por método de monitoreo, instrumento, volcán, año, mes y día.

Previo al inicio del análisis y procesamiento de los datos vulcanológicos, cada analista o encargado de monitoreo deberá revisar la operatividad diaria de los instrumentos cuya información será empleada (Anexo I, Control de operatividad del CENVUL).

8.2 Clasificación, caracterización, procesamiento y análisis de datos vulcanológicos

Los datos vulcanológicos consisten en datos sismovolcánicos, de deformación volcánica, sensores remotos superficiales y satelitales, así como, datos de gases y fuentes termales. Cada tipo de dato tiene un personal responsable de su análisis, es denominado como analista. Los tipos de datos son descritos a continuación:

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Los datos sismovolcánicos diariamente son acondicionados en trazas de una hora y convertidas en formato miniseed para su posterior lectura, análisis y clasificación por el software “Analiza_vs”. Asimismo, se realiza la localización sísmica y obtención de parámetros hipocentrales (ver MU 004-2024-IGP, manual de Monitoreo Sismovolcánico).

Los datos de deformación volcánica, que involucra a las estaciones GNSS, inclinómetros e imágenes de radar, son almacenadas en su formato original y posteriormente procesados hasta obtener series de tiempo de deformación volcánica (ver MU 002-2024-IGP, manual de Monitoreo de Deformación Volcánica).

La información de sensores remotos superficiales, específicamente de tipo visual, que corresponde a las imágenes adquiridas por las cámaras de monitoreo, son almacenadas en formato *.jpg para su posterior lectura mediante el software “VulCAM”; que permite caracterizar diariamente las emisiones volcánicas observadas y obtener el catálogo visual (ver MU 005-2024-IGP, manual de Monitoreo Visual mediante Sensores Remotos Superficiales).

Los datos del monitoreo de gases y fuentes termales procedentes del MultiGas, DOAS y estación multiparámetro son guardados en archivos con formato *.csv para su posterior procesamiento con softwares especializados que finaliza con la obtención de series de tiempo por cada parámetro o variable geoquímica (ver MU 001-2024-IGP, manual de Monitoreo de Gases y Fuentes Termales).

Asimismo, los datos correspondientes al monitoreo mediante sensores remotos satelitales, se almacenan en diferentes formatos, como son: bases de datos, *.jpg, series de tiempo, etc. Posteriormente, pueden ser analizados mediante el uso de gráficos estadísticos, series de tiempo, entre otros, los mismos que alimentan series de tiempo con cada variable obtenida (ver MU 0003-2024-IGP, manual de Monitoreo mediante Sensores Remotos Satelitales).

8.3 Generación del catálogo de parámetros de monitoreo volcánico

El resultado final del procesamiento de datos vulcanológicos, detallado en los manuales de usuario para cada método de monitoreo, comprende la elaboración y culminación de las listas de clasificación, caracterización, series de tiempo, entre otros datos almacenados diariamente en el sistema NAS.

La generación del catálogo como tal, es el resultado de la compilación de un número determinado de listas dentro de un periodo de tiempo establecido por los reportes diarios (24 horas) y los boletines vulcanológicos, cuya publicación está en función del nivel de alerta volcánica (diaria, semanal, quincenal y mensual).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

IX. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA

9.1 Análisis y correlación de datos vulcanológicos

Para realizar el análisis de los datos multiparamétricos de cada volcán monitoreado, el insumo principal a utilizarse son los catálogos sismovulcánicos, catálogo del monitoreo visual, catálogo de deformación volcánica, gases y fuentes termales, series de tiempo provenientes del monitoreo satelital, entre otros. La observación de dicha información se realiza en el dashboard de monitoreo (Figura 1), en donde está disponible en forma de tablas y gráficas estadísticas que permiten correlacionar los datos de un determinado periodo de tiempo para su posterior interpretación. La correlación e interpretación de la información multiparamétrica es desarrollada por el responsable de turno, que es asignado mensualmente en el cronograma de monitoreo (Anexo III).

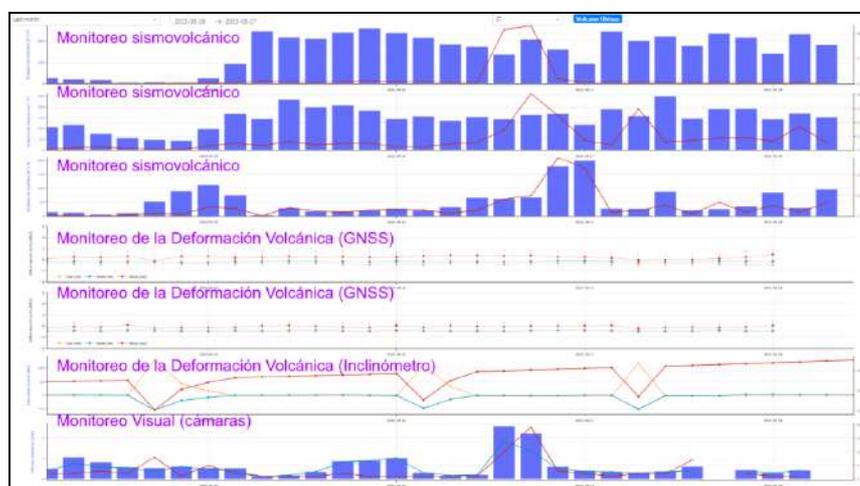


Figura 1.- Dashboard de monitoreo del CENVUL: datos multiparamétricos del volcán Ubinas, utilizados para el análisis de la información, correlación y posterior interpretación.

9.2 Evaluación del nivel de alerta volcánica

La evaluación del nivel de alerta está relacionada con el nivel de actividad volcánica que presenta un determinado volcán en un periodo de tiempo dado, utilizando los métodos de monitoreo descritos en el “Procesamiento de Datos Vulcanológicos”.

Se consideran los siguientes cuatro niveles de peligro por actividad volcánica:

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Tabla N° 1.- Niveles de Peligro y Semaforización de la alerta.

Nivel de Peligro	Semáforo	Código de color RGV
Bajo	Verde	0,153,0
Medio	Amarillo	255,221,0
Alto	Naranja	255,101,0
Muy Alto	Rojo	226,0,0

9.2.1 Interpretación y definición del nivel de alerta volcánica

La información o data utilizada para identificar o definir los niveles de actividad volcánica son cinco (5), los que se mencionan a continuación:

- 9.2.1.1 Sismología Volcánica.
- 9.2.1.2 Deformación Volcánica.
- 9.2.1.3 Monitoreo Visual (Sensores Remotos Superficiales).
- 9.2.1.4 Gases y Fuentes Termales.
- 9.2.1.5 Sensores Remotos Satelitales.

Dados los diferentes métodos de monitoreo descritos anteriormente y el nivel de peligro (Tabla 2), se caracterizan aspectos referenciales a la actividad volcánica, los que son diferenciados por cada volcán en el momento de definir su nivel de alerta.

La interpretación del nivel de alerta volcánica está sujeta al conocimiento del estado de la dinámica interna y externa de cada volcán activo. En periodos de reposo se establece un background o línea base de actividad, es decir, un nivel de actividad mínima que corresponde a un nivel de alerta verde.

Además, la interpretación del nivel de alerta toma como referencia la interpretación vulcanológica de los datos multiparamétricos del periodo evaluado en correlación con el nivel base establecida previamente.

La definición del nivel de alerta volcánica es función de un comité evaluador, convocado por el o la Coordinador(a) del CENVUL, que está conformado por el grupo de investigadores del OVS y personal de monitoreo del CENVUL. Dicho comité, luego de evaluar la información establece el nivel de alerta volcánica, firmando un ACTA (Anexo II) como conformidad de los acuerdos.

Tabla 2.- Niveles de alerta del semáforo volcánico establecidos de acuerdo al registro de diversos parámetros de actividad volcánica y su relación con la periodicidad de emisión de boletines vulcanológicos.

Periodicidad del Boletín	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Parámetros de actividad volcánica	Mensual	Quincenal	Semanal	Diario
Deformación Superficial	Sin deformación de la superficie por actividad volcánica.	Posible deformación de la superficie mayor a un centímetro por año debido a intrusión magmática.	Posible deformación de la superficie debido a intrusión magmática (>3cm/año) y/o fuentes superficiales.	Deformación crítica de la superficie debido a intrusión magmática y/o fuentes superficiales.
Sismología Volcánica	Registro promedio diario* de sismos volcánicos durante periodos de calma o reposo. (*basado en años de registros instrumentales)	Incremento sostenido mayor del 50% sobre el promedio diario de sismos volcánicos. Sismicidad asociada al fracturamiento de rocas por intrusión magmática y por la dinámica de los fluidos volcánicos.	Incremento sostenido mayor del 100% sobre el promedio diario de sismos volcánicos. Sismicidad asociada al fracturamiento de rocas por intrusión magmática, dinámica de los fluidos volcánicos y actividad superficial.	Registro crítico (>200%) de sismicidad volcánica asociada al fracturamiento de rocas por migración y extrusión de magma, dinámica de los fluidos volcánicos y procesos superficiales.
Sensores Acústicos:	No se percibe energía acústica por actividad volcánica.	Eventualmente se registra energía acústica mayor a 0.1 MJ por explosiones freáticas.	Energía acústica mayor a 4 MJ/día debido a explosiones volcánicas.	Energía acústica mayor a 40 MJ/día debido a procesos volcánicos superficiales.
Geoquímica de fluidos:	Flujo de SO ₂ menor a 1000 Ton/d. Presencia de gases CO ₂ , SO ₂ , H ₂ O y H ₂ S. Relación SO ₂ /CO ₂ mayor a 20 ppm. Sin variación de parámetros físico-químicos de aguas termales y fumarolas.	Flujo de SO ₂ entre 1000 y 5000 Ton/d. Incremento de la concentración de gases CO ₂ , SO ₂ y H ₂ S. Relación SO ₂ /CO ₂ entre 10 y 20 ppm. Incremento de parámetros físico-químicos de aguas termales y fumarolas. Incremento en el pH.	Flujo de SO ₂ entre 5000 a 10000 Ton/d. Incremento de la concentración de gases CO ₂ , SO ₂ y H ₂ S. Relación SO ₂ /CO ₂ entre 1 y 10 ppm. Incremento en parámetros físico-químicos de aguas termales y fumarolas. Incremento en el pH.	Flujo extraordinario de SO ₂ , mayor a 10000. Relación SO ₂ /CO ₂ menor a 1 ppm. Incremento crítico de parámetros físico-químicos de aguas termales y fumarolas. Incremento en el pH.
Monitoreo visual (sensores remotos superficiales)	Emissiones de gases con alturas menores a 500 m. Campos fumarólicos reducidos, con emisiones casi imperceptibles. No se observan anomalías térmicas.	Se registra incremento en la cantidad y altura de las emisiones fumarólicas. Eventual contenido de ceniza. Presencia de anomalías térmicas, VRP < 10 MW.	Se registra emisión de ceniza y columnas eruptivas con alturas mayores a 3000 metros. Presencia de anomalías térmicas, VRP < 100 MW. Cambios morfológicos en el cráter. Posible formación de domos de lava y de grietas.	Se registra emisión de ceniza y columnas eruptivas con alturas mayores a 6000 metros. Presencia de anomalías térmicas, VRP > 100 MW. Cambios morfológicos en el cráter. Posible formación de domos de lava y de grietas. Posible ocurrencia de flujos piroclásticos.
Sensores remotos satelitales	No se observan anomalías térmicas.	Emisión de algunos bloques balísticos (fragmentos rocosos) de menor tamaño con alcance menor a 1 km. Caída leve de ceniza en un radio menor a 10 km. Ocurrencia de lahares secundarios de alcance proximal. Volumen de magma intruido > 0.5 Mm ³ .	Frecuente emisión de bloques balísticos (fragmentos de rocas), con alcance menor a 3 km. Caída de ceniza en un radio menor a 50 km. Probable emplazamiento de flujos piroclásticos que pueden alcanzar distancias menores a 5 km. Ocurrencia de lahares. Volumen de magma intruido > 1 Mm ³ .	Caída de tefra en un radio mayor a 50 km. Emisión constante de ceniza y piroclastos de un diámetro mayor de 10 cm, que caen en áreas cercanas al volcán. Emisión de flujos de lavas que pueden alcanzar hasta los 6 km de distancia. Ocurrencia de lahares de gran volumen. Flujos piroclásticos que pueden alcanzar distancias mayores de 5 km. Volumen crítico de magma intruido

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

9.3 Escenarios eruptivos

Cada volcán es único en su comportamiento, su historia eruptiva, morfología, estructura interna, peligros volcánicos de mayor recurrencia, entre otros. El reconocimiento de una mayor cantidad de variables vulcanológicas sobre el comportamiento pasado de un volcán puede prever su comportamiento en el futuro. En ese sentido, para la elaboración de los escenarios eruptivos de un volcán activo, se han tomado en consideración los siguientes aspectos:

- Los dinamismos eruptivos, es decir, los tipos de erupciones que podrían darse.
- La magnitud y frecuencia de las erupciones pasadas, establecida en función del trabajo de campo, y de la edad y la distribución de los productos volcánicos.
- El comportamiento de otros volcanes peruanos, considerados como «análogos» al volcán evaluado, debido a que han presentado erupciones similares en el pasado, tales como el Ubinas, Huaynaputina, Sabancaya y Ticsani (Thouret et al., 1999; Rivera, 1998; Mariño, 2002; Mariño et al., 2012; Thouret et al., 1994; Thouret et al., 2005; Rivera et al., 2023).
- Modelos teóricos existentes sobre alcance de flujos piroclásticos, dispersión de tefras, emplazamiento de flujos de lava, lahares y avalanchas de escombros.

Los escenarios eruptivos deben indicar el comportamiento dinámico interno y superficial de un volcán que puede ocurrir en una ventana de tiempo que considere días o semanas. De la misma forma que en la evaluación del nivel de alerta, esta actividad es realizada por el comité.

9.4 Documentos de información vulcanológica

El CENVUL divulga los resultados del monitoreo volcánico por varios canales, los referidos a documentos técnicos-científicos corresponden a reportes, boletines y alertas vulcanológicas. La elaboración de dichos documentos es responsabilidad del responsable de turno, mientras que el control de calidad es función del coordinador(a), quien recibe observaciones del analista de comunicaciones asignado. Los tipos de documentos emitidos por el CENVUL son detallados a continuación.

9.4.1 Reporte Vulcanológico diario

Documento único que compila información de todos los volcanes monitoreados. Este se emite diariamente con información precisa que describe las características de la actividad volcánica ocurrida en los volcanes activos, además de proporcionar el nivel de alerta, el alcance de los productos volcánicos (si hubiese) y las

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

recomendaciones que deben adoptar las autoridades y población. Con los datos actualizados y disponibles en las últimas 24 horas, de tipo sismovolcánico, de deformación volcánica, sensores remotos superficiales (visual), sensores remotos satelitales y de gases y fuentes termales, se elabora este tipo de documentos. Se consigna la siguiente información:

- **Monitoreo Sismovolcánico:** número y tipo de señales sísmicas. En caso se registren sismos importantes se brindan los parámetros hipocentrales del evento localizado más representativo de las últimas 24 horas.
- **Monitoreo de Deformación Volcánica:** se indica la deformación registrada en milímetros o centímetros (desplazamiento), detectada por las estaciones GNSS o en los inclinómetros disponibles de cada volcán.
- **Monitoreo Visual (actividad superficial):** se señala la altura máxima de emisiones fumarólicas (m o km), dirección de dispersión de dichas emisiones, reporte de caída de ceniza (si hubiese) y distritos con probabilidad de afectación.
- **Monitoreo por Sensores Remotos Satelitales:** se indican el total de detecciones térmicas y/o flujos de SO₂ de las últimas 24 horas, de los volcanes que presenten actividad pre-eruptiva o eruptiva.

9.4.2 Boletines Vulcanológicos

Los boletines son documentos que presentan información sobre la actividad dinámica interna y externa de cada volcán monitoreado, en base al análisis y correlación de datos de las técnicas de monitoreo empleadas. Estos pueden ser emitidos de forma diaria, semanal, quincenal o mensual. Dicha periodicidad depende del nivel de actividad de cada volcán referido al semáforo de alerta volcánica (Punto 9.2).

Los siguientes puntos describen la estructura que componen los boletines vulcanológicos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS



Figura 2.- Boletín Vulcanológico del volcán Sabancaya.

9.4.2.1 Resumen del Boletín Vulcanológico

Resume las principales características sobre la actividad dinámica interna y externa que presentan cada volcán monitoreado durante un periodo de monitoreo evaluado. La información es redactada con base en la interpretación de la información de todos los métodos de monitoreo disponibles, en un lenguaje sencillo, evitando, en lo posible, la utilización de términos técnicos.

9.4.2.2 Cuerpo del Boletín Vulcanológico

Consigna información relevante de los distintos parámetros de monitoreo volcánico, similar al contenido de los reportes vulcanológicos.

9.4.2.3 Perspectivas del Boletín Vulcanológico

Están referidas a los escenarios futuros o pronósticos a corto o mediano plazo, sobre el comportamiento dinámico que podrían presentar los volcanes en base a probabilidades, de acuerdo a los parámetros de actividad analizados.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

9.4.2.4 Recomendaciones del Boletín Vulcanológico

Se brindan recomendaciones con el objetivo de prevenir a la población y a las autoridades sobre los efectos de la actividad eruptiva de un volcán en particular y evitar su exposición a los peligros volcánicos asociados a la misma.

Algunas de las recomendaciones emitidas corresponden a la probabilidad de caída de ceniza, radios de afectación por peligros volcánicos, restricción de acercamiento a los cauces de ríos y quebradas ante la generación de lahares, flujos piroclásticos u otros. Ver punto 9.4.5.

9.4.3 Alertas vulcanológicas

Un volcán en reposo, erupción o proceso eruptivo puede generar diferentes tipos de peligros asociados, ante ello se emiten alertas de dispersión de cenizas y alerta de descenso de lahares.

Las alertas de dispersión de ceniza contienen información de la dirección y el radio de dispersión de los materiales expulsados. También, una lista de los pueblos o zonas a ser afectadas, la fecha y hora del evento, observaciones y recomendaciones. A continuación, se muestra el formato de reporte en vigencia para la emisión de alertas ante la dispersión de ceniza (Figura 3).



Figura 3.- Formato de alerta por dispersión de ceniza.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Así también, el CENVUL emite alertas por descenso de lahares o flujos de lodo (Figura 4). Estos flujos ocurren principalmente en periodo de lluvias (diciembre-marzo). Las redes sísmicas, actualmente instaladas en los volcanes (Misti, Ubinas, Huaynaputina, etc.), son capaces de detectar el descenso de lahares debido a que estos flujos generan vibraciones sísmicas en la superficie. Se estima que la velocidad de desplazamiento de los lahares oscila entre 8 y 10 km/h (calculado en el Misti). Estos eventos pueden ser constatados al observar el retardo en la llegada de los primeros registros sísmicos para estaciones de monitoreo distantes sobre el volcán. Se debe emitir una alerta inmediatamente, determinando, si es posible, el área de influencia del fenómeno y el tiempo de arribo del flujo a la población.

9.4.4 Notificación para el Observatorio de Volcanes para la Aviación (VONA)

Desde el 2020, CORPAC y el IGP firmaron una carta de acuerdo con el objetivo de “garantizar el suministro de información específica sobre la actividad volcánica previa a una erupción, de una erupción y de las nubes de cenizas volcánicas requerida para la navegación aérea civil”. En ese sentido, en caso de un incremento de intranquilidad precursora, inicio de una erupción, emisión significativa de ceniza y/o cese de la erupción el CENVUL emite los formatos VONA. El manual MU 005-2024-IGP, explica en detalle el procedimiento realizado para la emisión de este tipo de alertas.

9.4.5 Recomendaciones a las autoridades y población

A continuación, se detalla una serie de recomendaciones dirigida a las autoridades y población para cada nivel de alerta volcánica.

Tabla 3.- Recomendaciones del CENVUL dirigidas a autoridades y población de acuerdo con el nivel de alerta volcánica

Nivel de Alerta	Recomendaciones a autoridades y población
1	<ul style="list-style-type: none"> • Practicar acciones de prevención ante una eventual erupción volcánica. • Mantenerse informado sobre el comportamiento dinámico del volcán mediante los boletines emitidos por el IGP: https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional
2	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el asesoramiento técnico a las autoridades competentes en la gestión del riesgo volcánico. • Implementar las acciones previamente establecidos en el plan de contingencia dentro de un nivel de alerta amarillo. • Adoptar medidas de preparación ante un probable proceso de reactivación volcánica en los distritos próximos al volcán. • No acercarse al volcán, los ascensos al cráter son considerados de

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

	alto riesgo. <ul style="list-style-type: none"> • Ante la caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el asesoramiento técnico a las autoridades competentes en la gestión del riesgo volcánico. • No acercarse en un radio determinado del volcán de acuerdo al grado de exposición de los peligros volcánicos descritos en los escenarios eruptivos pasados. Los ascensos al cráter son considerados de alto riesgo. • En caso de caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas. • Mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del volcán en erupción mediante los boletines emitidos por el IGP: https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/ • Continuar implementando los planes de contingencia previamente establecidos dentro de un nivel de alerta naranja. • Se recomienda a las autoridades evacuar a los poblados considerados dentro de los planes de contingencia previamente establecidos. • Evitar refugiarse bajo los techos de material precario por peligro de colapso debido a la acumulación de cenizas. • Estar preparados ante un eventual incremento del nivel de alerta de naranja a rojo
4	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el asesoramiento técnico a las autoridades competentes en la gestión del riesgo volcánico. • No acercarse en un radio determinado del volcán de acuerdo al grado de exposición de los peligros volcánicos descritos en los escenarios eruptivos pasados. Los ascensos al cráter son considerados de alto riesgo • En caso de caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas. • Mantenerse informado en todo momento sobre la actividad volcánica del volcán en erupción mediante los boletines emitidos por el IGP: https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/ • Continuar implementando los planes de contingencia previamente establecidos dentro de un nivel de alerta naranja. • Se exhorta a las autoridades evacuar a los poblados considerados dentro de los planes de contingencia previamente establecidos. • Mantenerse en los albergues establecidos por las autoridades. • Evitar refugiarse bajo los techos de material precario por peligro de colapso debido a la acumulación de cenizas
Peligros asociados	<ul style="list-style-type: none"> • Ante el descenso de lahares evitar transitar por quebradas, lechos de ríos y sus proximidades.

9.5 Generación de información vulcanológica

Previamente se han establecido los niveles de alerta volcánica y la periodicidad de difusión de los boletines vulcanológicos. Asimismo, los reportes vulcanológicos se emiten diariamente, independientemente de dicho nivel de alerta y en un documento consolidado que resume la actividad volcánica de las últimas 24 horas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Para un volcán seleccionado se realiza la recopilación de la información vulcanológica disponible (sísmica, deformación, visual, gases, etc.), insumos que serán consolidadas dentro de los boletines y reportes sobre un formato (*.docx, *.pdf, etc.) previamente establecido.

Cada Boletín Vulcanológico es elaborado por el responsable de monitoreo sismovolcánico de cada volcán, establecido en el “cronograma mensual de monitoreo del Centro Vulcanológico Nacional” (ver Anexo III). Así también, para la elaboración del Reporte Vulcanológico, cada personal encargado del método de monitoreo debe entregar insumos sobre sus actividades de monitoreo establecidas en dicho cronograma al Coordinador(a) del CENVUL o al personal que lo reemplace en funciones en caso de ausencia.

9.5.1 Control de calidad de los productos de información vulcanológica

Con el propósito de minimizar los errores en la generación de la información vulcanológica se han establecido una serie de revisiones y filtros que permiten entregar productos de calidad a los usuarios de la información. El control de calidad contiene una serie de variables determinadas en base al cuerpo y formato de los boletines y reportes (Anexo IV). Asimismo, la revisión del contenido técnico-científico está a cargo del Coordinador(a) del CENVUL o del personal que lo reemplace en funciones en caso de ausencia. Las observaciones y comentarios pueden ser efectuadas por el Director del OVS y por el personal designado por la Unidad Funcional de Comunicaciones (UFC).

9.5.2 Publicación de la información vulcanológica

Contempla las actividades de revisión y edición de ortografía, adecuar el formato, entre otros, de la información vulcanológica (Anexo V), así como, su inmediata difusión a los usuarios primarios de la información mediante el correo oficial del CENVUL y la difusión a público general, mediante la utilización del aplicativo móvil y redes sociales disponibles. Esta labor es realizada por el personal designado por la UFC (asistente de comunicaciones).

X. GENERACIÓN DE LA INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

El CENVUL, en base al conocimiento científico que tiene sobre los volcanes, y con base al trabajo de monitoreo volcánico permanente que realiza, está en la capacidad de brindar pronósticos sobre erupciones volcánicas y el desarrollo de peligros asociados a la actividad volcánica. En ese sentido, ante un proceso de reactivación volcánica, se realiza la evaluación del cambio del nivel de alerta (Punto 9.2), que es el punto de partida para la generación de información vulcanológica. Ello se da cuando el responsable de monitoreo de turno, de

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

acuerdo al cronograma mensual de monitoreo del CENVUL, identifica, luego del análisis y correlación de la información vulcanológica, un comportamiento dinámico atípico, situación que debe ser informada al Coordinador(a) del CENVUL o al personal que lo reemplace en funciones en caso de ausencia, quien a su vez convoca al comité evaluador.

Así también, se programa comisiones de campo para reforzar el sistema de monitoreo, mediante la instalación de Redes Geofísicas Temporales (RGT) y la adquisición de mayor diversidad de datos mediante técnicas no operativas en la RGV (cámara FLIR, cámara UV, Estación Total, etc.).

Tabla 4.- Acciones que debe cumplir el analista de monitoreo y el Coordinador(a) del CENVUL ante la identificación de comportamiento dinámicos atípicos por actividad volcánica.

Nivel de Alerta	Acciones
1	<ul style="list-style-type: none"> Mantener el monitoreo constante. Cualquier señal anómala deberá ser consultada con el coordinador(a) del CENVUL.
2	<ul style="list-style-type: none"> De confirmar la actividad anómala, el Coordinador(a) convocará al Comité Evaluador.
3	<ul style="list-style-type: none"> Emitir un boletín vulcanológico extraordinario que establezca el cambio de nivel de alerta e informando sobre la intranquilidad o anomalía.
4	<ul style="list-style-type: none"> Mantener el monitoreo constante.

10.1 Elaboración y aprobación de programas de trabajo de comisiones de servicio

En la etapa de una probable reactivación, es decir, antes de la erupción volcánica, así como también, durante el desarrollo de la misma, se precisa la adquisición de una mayor cantidad de datos de monitoreo y el incremento en la frecuencia de visitas de campo o comisiones de servicio a la zona de emergencia, ello con el objetivo de proveer información con mayor periodicidad, que complementen y optimicen la información brindada por la RGV.

En base a la disponibilidad de instrumentación adicional almacenada en el OVS para el despliegue de una Red Geofísica Temporal (RGT), se elabora el programa de trabajo que define la implementación de dicha red dentro de una primera comisión de servicio (Anexo VI), el mismo que debe estar completado en 1 hora y ejecutado en las próximas 24 horas. Las acciones que se definen en el programa de trabajo son: periodo y duración de la comisión de servicio, el personal involucrado, el detalle de las labores que se realizarán y los instrumentos a ser desplegados como una RGT, la localización de dichos equipos y la necesidad de transmisión de datos en tiempo real, así como, el presupuesto requerido para la ejecución de dicho programa. Una RGT puede estar conformada por la instalación temporal de estaciones GNSS, sismómetros, equipos DOAS, infrasonidos, entre otros (Figura 4).

Asimismo, el coordinador del CENVUL con apoyo del Comité Evaluador, debe realizar una programación de comisiones de servicio a la zona del

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

volcán en emergencia mediante la presentación de un consolidado de programas de trabajo para un periodo no menor a 30 días (Anexo VII). Dicho consolidado se envía al director del OVS para la aprobación presupuestaria y ejecución programada.

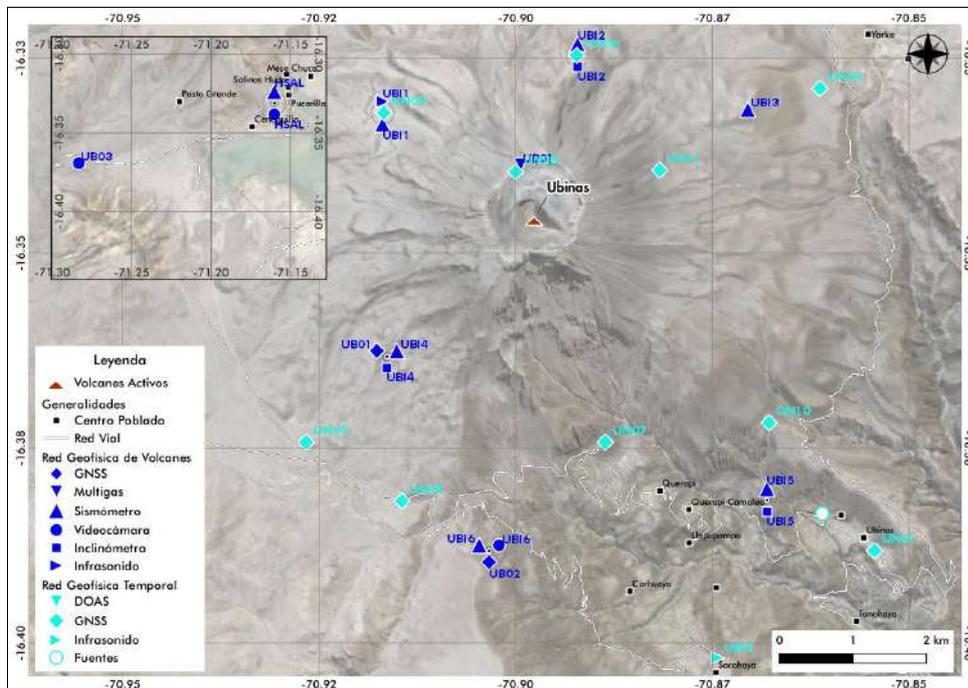


Figura 4.- Ejemplo de Red Geofísica Temporal (símbolos celestes) desplegada en el volcán Ubinas para la crisis eruptiva de 2023.

10.2 Monitoreo volcánico a través de comisiones de servicio

Luego de la implementación de la RGT por medio de la primera comisión de servicios, se realiza la ejecución de los programas de trabajo siguientes planificados a lo largo del primer mes (puede existir prolongación). Dichas comisiones estarán a cargo de un responsable de Comisión, quien liderará el grupo de trabajo y velará por el cumplimiento de las actividades programadas. Como resultado de cada comisión de servicio, el responsable y su grupo de trabajo elaborarán un Informe de Campo describiendo las acciones y datos recolectados en el volcán en crisis, así como, los resultados y logros obtenidos.

Finalmente, la información validada de dicho informe integrará y reforzará la información presentada en los boletines vulcanológicos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Mariño, J. (2002). *Estudio geológico vulcanológico y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú)*. Tesis pre-grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Mariño, J. (2012). *Escenarios eruptivos y mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya*. Tesis de maestría, Universidad de Nice, Nice.
- Rivera, M., Samaniego, P., Nauret, F., Mariño, J., & Liorzou, C. (2023). Petrological and geochemical constraints on the magmatic evolution at the Ampato-Sabancaya compound volcano (Peru). *LITHOS*, 458-459.
- Rivera, M., Thouret, J., & Gourgaud, A. (1998). Ubinas, el volcán más activo del Perú desde 1550: geología y evaluación de las amenazas volcánicas. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 88, 53-71.
- Thouret, J., Davila, J., & Eissen, J. (1999). Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano, AD 1600, southern Peru. *Geology*, 27(5), 435-438.
- Thouret, J., Guillande, R., Huaman, D., Gourgaud, A., Salas, G., & Chorowicz, J. (1994). L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud Pérou): reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques. *Bull. Soc. géol. France*, 165(1), 49-63.
- Thouret, J., Rivera, M., Wörner, G., Gerbe, M., Finizola, A., Fornari, M., & Gonzales, K. (2005). Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Perú. *Bulletin of Volcanology*, 67, 557-589.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXOS

Anexo I.- Control de operatividad del CENVUL

Anexo II.- Modelo de acta de acuerdo de cambio de alerta volcánica

Anexo III.- Cronograma mensual de turnos de monitoreo

Anexo IV.- Control de calidad para la generación de información vulcanológica

Anexo V.- Checklist para la edición de boletines vulcanológicos.

Anexo VI.- Programa de Trabajo para la implementación de la RGT

Anexo VII.- Formato de comisiones de servicio

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO I: CONTROL DE OPERATIVIDAD DEL CENVUL



CONTROL DE OPERATIVIDAD

CENVUL/DDV-2024-02

CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL - CENVUL

Fecha de Inspección:	1/03/2024	Total
Responsable del Registro:	CENVUL	0.00%
Periodicidad de Verificación:	Diario	

(Marcar con **SI** si esta Operativo, **NO** si no esta Operativo y **NA** si la estación ha sido retirada)

	CENVUL	Periodo	Febrero-2024																												
			Dias																												
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
I. EST. SISMICAS																															
1	Auguihuato 1 (AUQ1)																														
2	Casiri 1 (CASI)																														
3	Chachani 1 (CHCH)																														
4	Coropuna 1 (COR1)																														
5	Coropuna 2 (COR2)																														
6	Coropuna 3 (COR3)																														
7	Coropuna 4 (COR4)																														
8	Solimana (SOLI)																														
9	Huaynaputina 1 (HNP1)																														
10	Huaynaputina 2 (HNP2)																														
11	Huaynaputina 3 (HNP3)																														
12	Misti 1 (MISA)																														
13	Misti 3 (CMIS)																														
14	Misti 4 (DMIS)																														
15	Misti 5 (EMIS)																														
16	Misti 6 (FMIS)																														
17	Misti 7 (GMIS)																														
18	Cajamarca (CAJA)																														
19	Patapampa (PATA)																														
20	Sabancaya (SABA)																														
21	Hualca Hualca (HLCA)																														
22	Mucurca (MRCA)																														
23	Pinchollo (PNCH)																														
24	SaraSara 1 (SRA1)																														
25	SaraSara 2 (SRA2)																														
26	Ticsani 1 (TCN1)																														
27	Ticsani 2 (TCN2)																														
28	Muyllaque (MUYQ)																														
29	Huaytire (HYTR)																														
30	San Pedro (SPDR)																														
31	Tutupaca 1 (TUT1)																														
32	Tutupaca 2 (TUT2)																														
33	Tutupaca 3 (TUT3)																														
34	Ubinas 1 (UBI1)																														
35	Ubinas 2 (UBI2)																														
36	Ubinas 3 (UBI3)																														
37	Ubinas 4 (UBI4)																														
38	Ubinas 5 (UBI5)																														
39	Ubinas 6 (UBI6)																														
40	Salinas Huito (HSAL)																														
41	Purupuruni (PURI)																														
42	Yucamane 1 (YCA1)																														
43	Yucamane 2 (YCA2)																														
44	Yucamane 3 (YCA3)																														
II. EST. GNSS																															
45	Misti 1 (MS01)																														
46	Sabancaya 1 (SB01)																														
47	Sabancaya (SB02)																														
48	Ubinas 1 (UB01)																														
49	Ubinas 2 (UB02)																														
III. INCLINÓMETROS																															
50	Auguihuato 1 (AUQ1)																														
51	Casiri 1 (CAS1)																														
52	Chachani 1 (CHA1)																														
53	Coropuna 3 (COR3)																														

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO II: MODELO DE ACTA DE EVALUACIÓN Y ACUERDO DE CAMBIO DE ALERTA VOLCÁNICA

EQUIPO TÉCNICO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD

FECHA	N° DE ACTA	HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO	DURACIÓN
				0.00.00
CONVOCA:	COORDINADOR(A) DEL CENVUL			
ALCANCE :				
LUGAR:	SALA DE REUNIONES 3ER PISO-OVS			
ANTECEDENTES:				
1. AGENDA				
EVALUAR EL CAMBIO DE NIVEL DE ALERTA VOLCÁNICA VERDE A AMARILLO DEL VOLCÁN UBINAS				
2. DESARROLLO DE LA AGENDA				
3. ACUERDOS				
ACTIVIDADES	RESPONSABLE	PLAZO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	
4. MIEMBROS DEL EQUIPO DE TRABAJO				
Nombre y Apellidos		Cargo		

ANEXO III: CRONOGRAMA MENSUAL DE TURNOS DE MONITOREO



Cronograma de monitoreo del Centro Vulcanológico Nacional Octubre 2023

Volumen	Método de Monitoreo	Técnica	Cronogramas de Responsabilidades											
			REGION AREQUIPA			REGION BUENOS AIRES			REGION TACNA			REGION TUMBES		
			AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

Área de Responsabilidades		Nombre	Turno
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA
AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA	AREQUIPA

Dra. Liliana Vargas Vique
 Coordinadora CENVOL

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO VI: PROGRAMA DE TRABAJO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RGT

	PLAN PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GEOFÍSICA TEMPORAL (RGT)	Código: RGT 01-2023
---	---	-------------------------------

DATOS DE LA COMISIÓN Y VOLCANES INTERVENIDOS.

RESPONSABLE DE LA COMISIÓN: • INTEGRANTES DE LA COMISIÓN: • • • FECHA DE PRESENTACIÓN: Haga clic aquí para escribir una fecha.	FECHA DE INICIO: Haga clic aquí para escribir una fecha. FECHA DE TÉRMINO: Haga clic aquí para escribir una fecha. AUTORIZADO POR: FIRMA:
--	--

DATOS DEL VEHÍCULO ASIGNADO	
Nombre del conductor:	se requiere camioneta 4x4.

VOLCÁN A INTERVENIR

N	DESTINO	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
1				

TRABAJOS A REALIZAR:

- 1. OBJETIVO**
 - Realizar trabajos de monitoreo
- 2. OBJETIVO ESPECÍFICOS**
 - Realizar trabajos de monitoreo.....
 - Realizar.....
 - Realizar.....
 - Realizar.....

3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE TRABAJO

3.1. Descripción de tareas

DÍAS	RUTA A SEGUIR	ACTIVIDADES
		-
		-
		-

3.2. Equipos que conforman la RGT

BIENES	DESCRIPCIÓN	S/N	CONDICIÓN	QTY	LONGITUD	LATITUD

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

	PLAN PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GEOFÍSICA TEMPORAL (RGT)	Código: RGT 01-2023
---	---	-------------------------------

3.3. Presupuesto

COMPONENTE/PARTIDA			P.U.	DÍAS	TOTAL
DETALLE	DESCRIPCIÓN	FECHA INICIO			
TOTAL (1)					S/

3.4. Materiales

N	Descripción	Medida	Cantidad	Precio Unidad	Sub Total
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
TOTAL (2)					S/

TOTAL 1 Y 2 =	S/
----------------------	-----------

4. MAPA DE UBICACIÓN DE LA RGT

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO VII: PROGRAMA DE TRABAJO PARA COMISIONES DE CAMPO

	PROGRAMA DE TRABAJO PARA COMISIONES DE CAMPO	Código: PT 01-2023
---	---	------------------------------

DATOS DE LA COMISIÓN Y VOLCANES INTERVENIDOS.

RESPONSABLE DE LA COMISIÓN: • INTEGRANTES DE LA COMISIÓN: • • • FECHA DE PRESENTACIÓN: • Haga clic aquí para escribir una fecha.	FECHA DE INICIO: Haga clic aquí para escribir una fecha. FECHA DE TÉRMINO: Haga clic aquí para escribir una fecha. AUTORIZADO POR: FIRMA:
--	--

DATOS DEL VEHÍCULO ASIGNADO	
Nombre del conductor:	se requiere camioneta 4x4.

LISTA DE VOLCANES INCLUIDOS EN EL TRABAJO

N	DESTINO	MÉTODOS DE MONITOREO	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
1		•			

TRABAJOS A REALIZAR:	
1.	OBJETIVO • Realizar trabajos de monitoreo
2.	OBJETIVO ESPECÍFICOS • Realizar trabajos de monitoreo..... • Realizar..... • Realizar..... • Realizar.....

3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE TRABAJO

3.1. Descripción de tareas

DÍAS	RUTA A SEGUIR	ACTIVIDADES
		-
		-
		-

3.2. Equipos, herramientas y materiales

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	S/N	CONDICIÓN	QTY

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS, GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA Y RESPUESTA EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: MU N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

	PROGRAMA DE TRABAJO	Código: 01-2023
---	----------------------------	---------------------------

3.3. Presupuesto

COMPONENTE/PARTIDA			P.U.	DÍAS	TOTAL
DETALLE	DESCRIPCIÓN	FECHA INICIO			
TOTAL (1)					5/

3.4. Materiales

N	Descripción	Medida	Cantidad	Precio Unidad	Sub Total
TOTAL (2)					5/

TOTAL 1 Y 2 =	5/
----------------------	-----------

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 005-2024-IGP

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

Versión 01

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE LA REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 005-2024-IGP

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN CASO DE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA

I. FICHA DE PROCESO

	INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ				
	FICHA TECNICA DEL PROCESO MULTINIVEL (ÚLTIMO NIVEL)				
DATOS DEL PROCESO					
Código	M 04.02.02.02	Tipo del proceso	Misional		
Nombre del proceso	Generación de información ante la reactivación volcánica y crisis eruptiva.	Dueño del proceso	Coordinador de CENVUL		
Objetivo del proceso	Asegurar la oportuna emisión de boletines vulcanológicos ante la reactivación volcánica y crisis eruptiva.	Versión	01		
Indicador de desempeño	Porcentaje de información vulcanológica adquirida oportunamente.	Controles	Revisar programa de trabajo		
RECURSOS					
Recursos Humanos	Responsable de turno, comité evaluador, Director de Observatorio Vulcanológico del Sur, Responsable de la comisión de Servicio, Integrantes de comisión de servicio.				
Instalaciones	Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS).				
Sistemas Informáticos	Excel, Word, Sistema de Trámite Documentario (STD), GAMIT, RATIOCLAC, SPECSCAN, RTVIEW, REFTEK IRTF				
Equipos	Sismómetro, GPS, ultrasonido, DOAS, multigas, cámara FLIR, cámara UV, termómetros, equipo multiparametro, cámaras fotográficas y video.				
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES					
Nombre de las Actividades	Código de Actividad	Nombre del Puesto Ejecutor/Rol	Tiempo Estándar	Órgano y Unidad orgánica del ejecutor	Registro de ejecución
Inicio: Acta Elaborar boletín extraordinario	01	Analista de monitoreo	20 minutos	Centro Vulcanológico Nacional	Boletín

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE LA REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

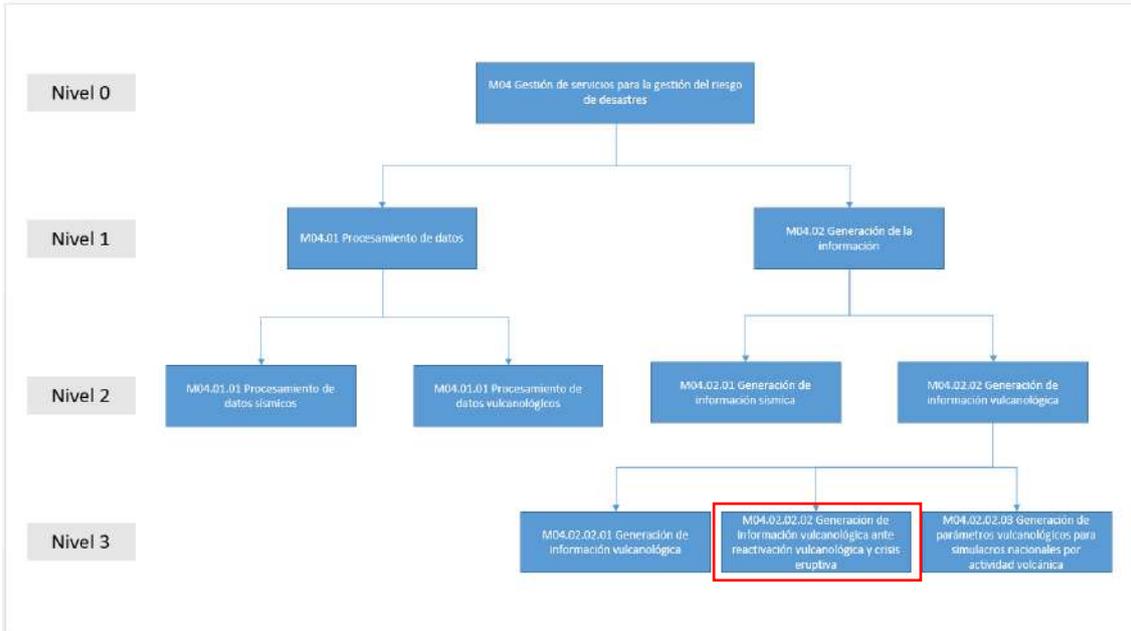
a) Recopilar información sismovolcánica, deformación superficial y visual del volcán con comportamiento anómalo b) Correlacionar información sismovolcánica, deformación superficial y visual. c) Redactar boletín					
Elaborar Programa de Trabajo de comisión de Servicio a) Definir objetivos del plan de trabajo. b) Definir a los integrantes de la comisión y su responsable. c) Definir fecha de inicio y termino de comisión d) Definir métodos de monitoreo a emplear. e) Definir tareas a realizar para las actividades de monitoreo. f) Definir lista de equipos, herramientas y maquinas a emplear. g) Definir presupuesto a requerir.	02	Comité evaluador	60 minutos	Observatorio Vulcanológico del Sur	Programa de Trabajo de Comisión de Servicio
Aprobar Programa de Trabajo de comisión de Servicio. a) Revisar programa de trabajo b) Aprobar programa de trabajo	03	Director de Observatorio Vulcanológico del Sur	120 minutos	Observatorio Vulcanológico del Sur	Correo electrónico
Realizar trabajos de monitoreo a través de la comisión de servicio a) Liderar el programa de trabajo.	04	Responsable de la comisión de servicio	2 días hábiles	Observatorio Vulcanológico del Sur	-

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE LA REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

Elaborar Informe de campo Producto final: Informe de campo	05	Responsable de la comisión de Servicio	1 día hábil	Observatorio Vulcanológico del Sur	Informe de Campo
---	----	--	-------------	------------------------------------	------------------

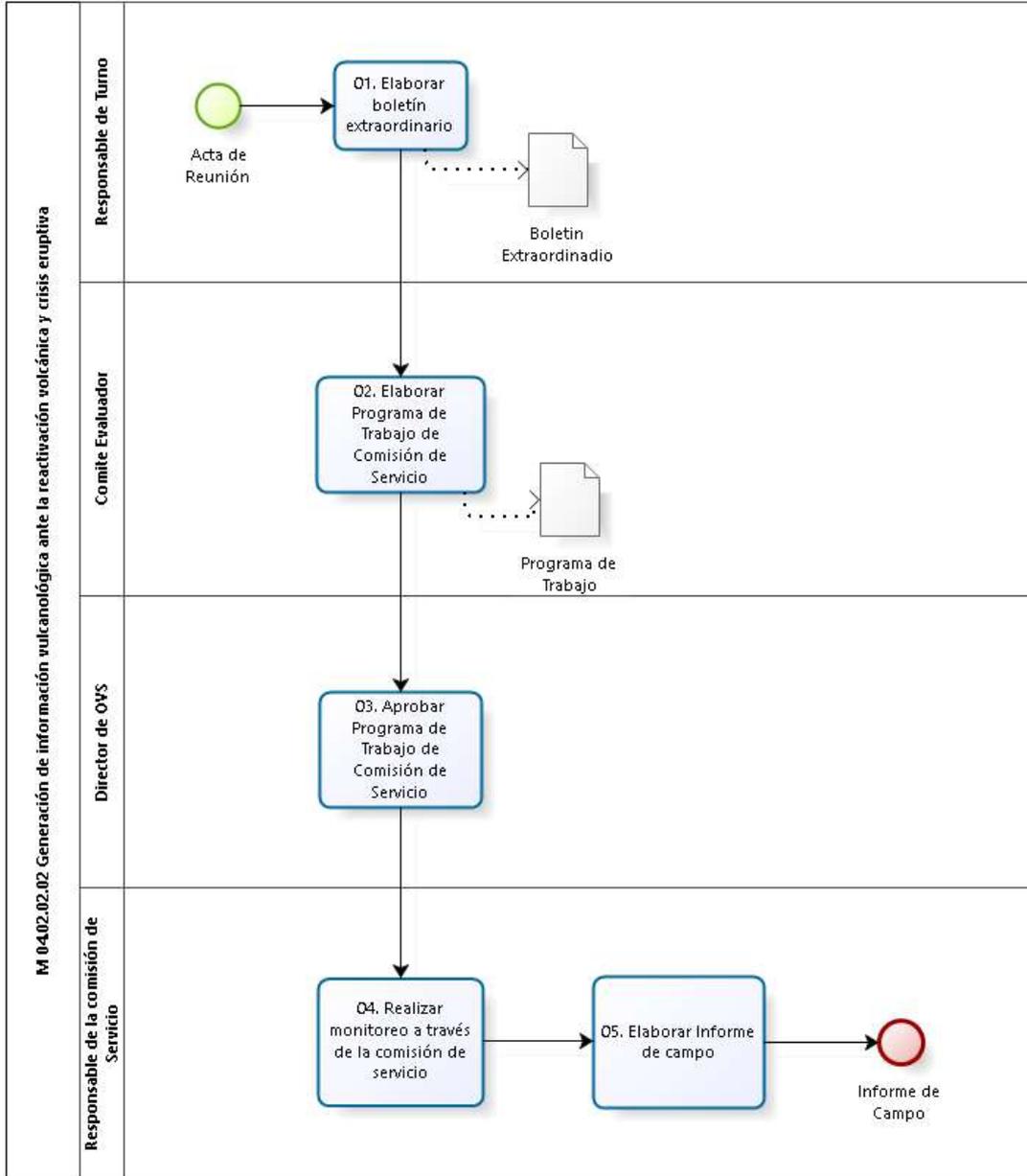
	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

II. DIAGRAMA DE BLOQUES



	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

III. DIAGRAMA DE PROCESOS



	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN ANTE REACTIVACIÓN VOLCÁNICA Y CRISIS ERUPTIVA	Código: PC N° 005-2024-IGP Sigla de Área: OVS

IV. ANEXO

ANEXO 1

FICHA DE INDICADOR

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ					
FICHA DE INDICADOR DE DESEMPEÑO					
CÓDIGO DEL PROCESO	M 04.02.02.02	NOMBRE DEL PROCESO	Generación de información ante la reactivación volcánica y crisis eruptiva.	OBJETIVO DEL PROCESO	Asegurar la oportuna emisión de boletines vulcanológicos la reactivación volcánica y crisis eruptiva.
INDICADOR	Porcentaje de información vulcanológica adquirida oportunamente.	FINALIDAD DEL INDICADOR	Entrega oportuna de reportes / boletines a las partes interesadas.	ÁREA RESPONSABLE	Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)
FORMULA	$\frac{\# \text{ de métodos vulcanológicos aplicados de acuerdo a programa de trabajo } \times 100\%}{\# \text{ de métodos vulcanológicos planteados en programa de trabajo}}$				
UNIDAD DE MEDIDA	Porcentaje	FRECUENCIA	Anual	OPORTUNIDAD DE MEDIDA	Mensual
LÍNEA DE BASE	-	META	95%	FUENTE DE DATOS	Informe del Programa de trabajo.
VALOR LIMITE (*)					
LCS MÁXIMO	95%	LCI MÍNIMO	85%		

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 006-2024-IGP

GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Versión 01

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 006-2024-IGP

GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	06/02/2024	1. Documento Inicial
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO OFICINA DE ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006- 2024-IGP Sigla de Área: OVS

GENERACIÓN DE PARAMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

I. Ficha técnica del proceso

	INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ FICHA TÉCNICA DEL PROCESO MULTINIVEL (ULTIMO NIVEL)		
	DATOS DEL PROCESO		
Código	M04.02.02.03	Tipo del proceso	Misional
Nombre del proceso	Generación de Parámetros Vulcanológicos para Simulacros Nacionales por Actividad Volcánica	Dueño del proceso	Coordinador(a) del CENVUL
Objetivo del proceso	Brindar información vulcanológica oficial y escenarios eruptivos para la ejecución de simulacros por erupción volcánica.	Versión	01
Indicador de desempeño	% de boletines vulcanológicos emitidos en el marco del simulacro.	Controles	Efectuar control de calidad previo a la emisión de boletines vulcanológicos de simulacro
RECURSOS			
Recursos Humanos	Asistente de Comunicaciones, Coordinador(a) del CENVUL, responsable de Turno, Comité Evaluador, Analista de Turno.		
Instalaciones	Instalaciones de CENVUL, Sala de Reuniones OVS		
Sistemas Informáticos	Office (Excel, Word); Dashboard		
Equipos	Servidores , computadoras, medios de almacenamiento masivo, laptop		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

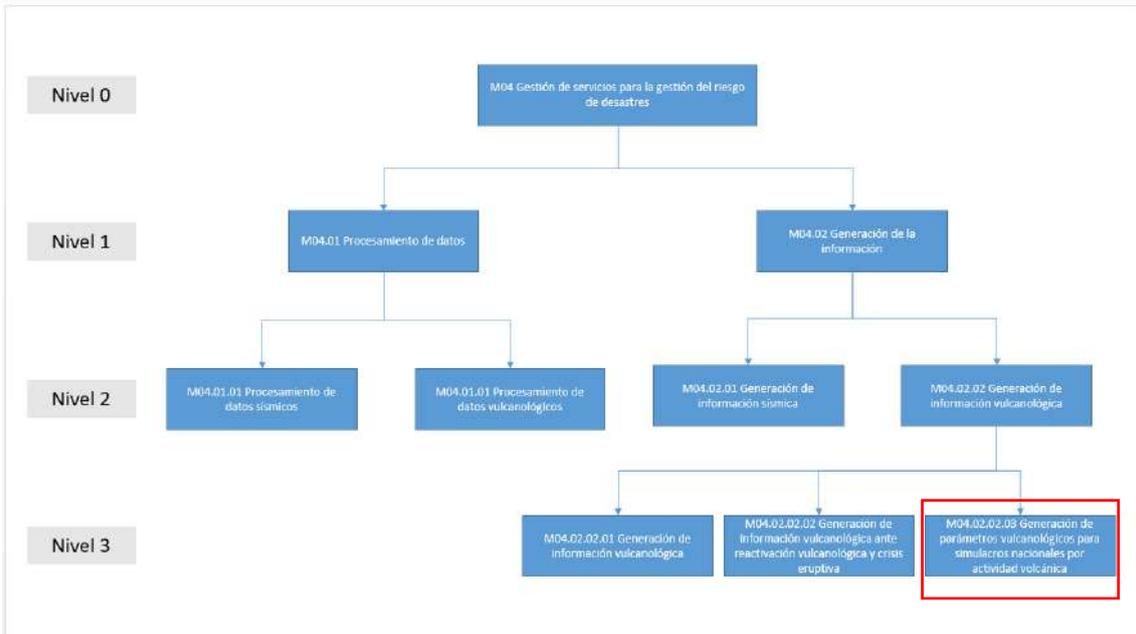
Nombre de las Actividades	Código de Actividad	Nombre del Puesto Ejecutor/Rol	Tiempo Estándar	Órgano y Unidad orgánica del ejecutor	Registro de ejecución
Inicio: Elección del volcán objetivo del simulacro Evaluar nivel de alerta a) Simular un nivel de actividad volcánica en ascenso b) Establecer nivel simulado de actividad volcánica de acuerdo a Tabla 2 de MU 002-2023-IGP c) Establecer escenario eruptivo para simulacro d) Establecer recomendaciones de acuerdo a Tabla 3 de MU 002-2024-IGP e) Elaborar acta	01	Comité Evaluador	60 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Acta
Elaborar boletín vulcanológico de simulacro a) Recopilar nivel simulado de actividad de volcán con información sismovolcánica, deformación volcánica y visual. b) Elaborar boletín vulcanológico para simulacro.	02	Responsable de Turno	30 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Boletín de simulacro
Efectuar Control de Calidad Revisión de contenido de acuerdo a Check List.	03	Coordinador de CENVUL	15 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Formato de Check List
Editar boletín vulcanológico de simulacro a) Editar ortografía de boletín. b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código). c) Generar archivo PDF. d) Realizar Check List Observación: El boletín se publica por tres canales distintos: web, aplicativo móvil y correo electrónico.	04	Asistente de Comunicaciones	10 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Formato de Check List
Publicar boletín simulacro web a) Editar ortografía de boletín	05	Asistente de Comunicaciones	10 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Página web

	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código) c) Generar archivo PDF d) Subir archivo PDF a página web					
Publicar boletín simulacro en aplicativo móvil a) Editar ortografía de boletín b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código y del sello de agua indicando simulacro) c) Generar archivo PDF d) Subir archivo PDF a aplicativo móvil.	06	Asistente de Comunicaciones	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Aplicativo móvil – Volcanes Perú
Difusión por correo electrónico a) Seleccionar formato por volcán b) Seleccionar lista de destinatarios c) Enviar correo electrónico. Producto final: Boletín simulacro publicado y difundido	07	Asistente de Comunicaciones	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Correo electrónico

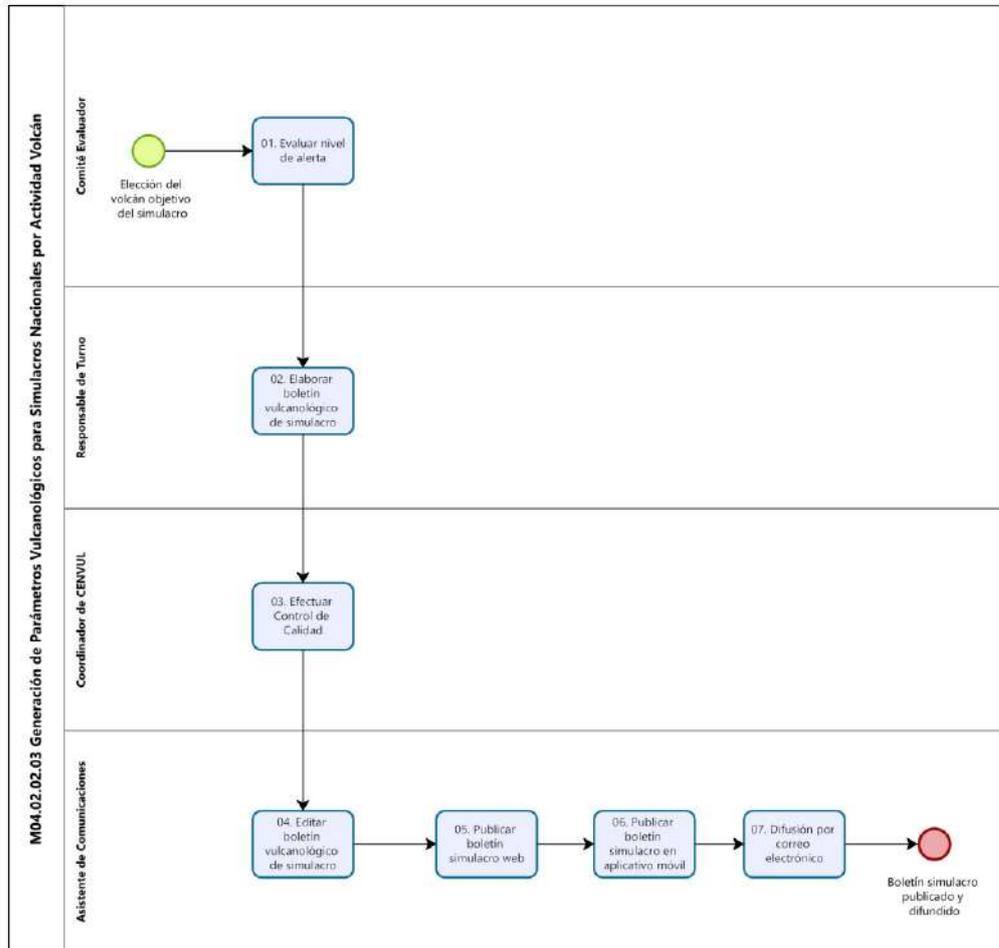
	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

II. Diagrama de bloques



	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

III. Diagrama de procesos



	PROCESO	Versión: 01
	GENERACIÓN DE PARÁMETROS VULCANOLÓGICOS PARA SIMULACROS NACIONALES POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Código: PC N° 006-2024-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO 1

FICHA DE INDICADOR

 INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ					
FICHA DE INDICADOR DE DESEMPEÑO					
CÓDIGO DEL PROCESO	M04.01.02	NOMBRE DEL PROCESO	Generación de Parámetros Vulcanológicos para Simulacros Nacionales por Actividad Volcánica	OBJETIVO DEL PROCESO	Brindar la información vulcanológica oficial y escenarios eruptivos para la ejecución de simulacros por erupción volcánica
INDICADOR	% de boletines vulcanológicos emitidos en el marco del simulacro	FINALIDAD DEL INDICADOR	Entrega oportuna de boletines simulacro a las partes interesadas.	ÁREA RESPONSABLE	Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)
FORMULA	$\frac{\# \text{ boletines simulacro emitidos en la periodicidad establecida de acuerdo al nivel de alerta } \times 100\%}{\# \text{ de boletines simulacro programados}}$				
UNIDAD DE MEDIDA	Porcentaje	FRECUENCIA	Anual	OPORTUNIDAD DE MEDIDA	Anual
LÍNEA DE BASE	-	META	95%	FUENTE DE DATOS	Repositorio de boletines de simulacro
VALOR LIMITE (*)					
LCS MÁXIMO	95%	LCI MÍNIMO		85%	

	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 008-2023-IGP

PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS

Versión 02

	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 008-2023-IGP

PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01 02	13/06/2023 06/02/2024	1. Documento Inicial 2. Actualización de codificación del proceso en ficha de proceso, diagrama de bloques y diagrama de proceso.
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO OFICINA DE ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

 IGP <small>Instituto Geofísico del Perú</small>	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS

I. Ficha técnica del proceso

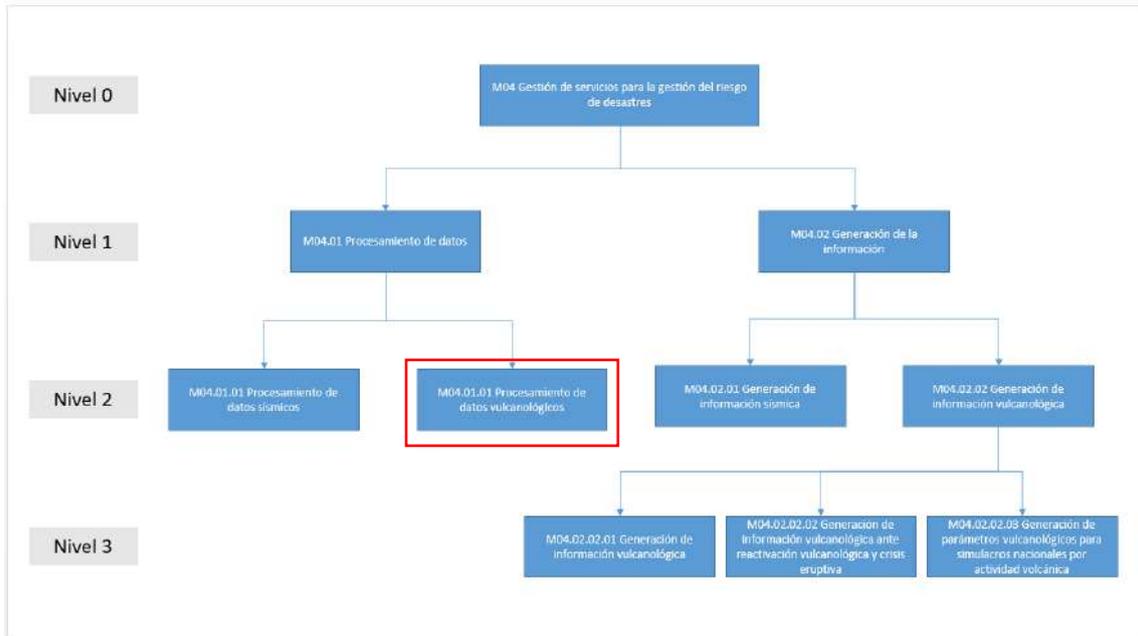
 IGP <small>Instituto Geofísico del Perú</small>	INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ FICHA TÉCNICA DEL PROCESO MULTINIVEL (ULTIMO NIVEL)		
	DATOS DEL PROCESO		
Código	M04.01.02	Tipo del proceso	Misional
Nombre del proceso	Procesamiento de Datos Vulcanológicos	Dueño del proceso	Coordinador de CENVUL
Objetivo del proceso	Mantener actualizado oportunamente los catálogos de actividad volcánica.	Versión	01
Indicador de desempeño	% de catálogos actualizados en el día.	Controles	Validar la disponibilidad de datos sísmicos, deformación y visual.
RECURSOS			
Recursos Humanos	Analista de Procesamiento de Datos Sismovolcánicos, Analista de Deformación Volcánica, Analista de Procesamiento de sensores remotos superficiales.		
Instalaciones	Instalaciones de CENVUL		
Sistemas Informáticos	MATLAB, WINSTON, SCRIPT DOWNLOADER-IGP, ANALIZA, SEISAN, SAC, HYPOELLIPSE, EXCEL, SQL, GAMIT-GLOBK, TRIMBLE BUSSINES CENTER (TBC), Scrip para procesamiento de datos de inclinómetros, GMT, VULCAM. Script de carga de catálogos, script de descarga de datos de deformación		
Equipos	Servidores , computadoras, medios de almacenamiento masivo, laptop		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			

Nombre de las Actividades	Código de Actividad	Nombre del Puesto Ejecutor/Rol	Tiempo Estándar	Órgano y Unidad orgánica del ejecutor	Registro de ejecución
<p>Elemento de entrada: Raw Data (sismovolcánico, deformación volcánica y visual)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si es Procesamiento de Datos Sismovolcánicos, ir a actividad 01. • Si es Procesamiento de Datos de Deformación volcánica, ir a actividad 04. • Si es Procesamiento de Datos de monitoreo Visual, ir a actividad 06. <p>Clasificar señales Sismovolcánicas</p> <ol style="list-style-type: none"> Seleccionar volcán Descargar datos sismovolcánicos Leer formas de onda Seleccionar eventos sismovolcánicos Caracterizar los eventos en el dominio del tiempo y frecuencia Clasificar la señal sismovolcánica caracterizada Almacenar información en sistema de archivos de la NAS. 	01	Analista de Procesamiento de Datos Sismovolcánicos	3 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Sistemas de archivos de la NAS
<p>Calcular parámetros Hipocentrales y estimación de magnitud</p> <ol style="list-style-type: none"> Seleccionar la señal sismovolcánica con características localizables. Determinar las fases P y S. Estimar los parámetros Hipocentrales y Magnitud. Efectuar control de calidad. Almacenar información en sistema de archivos de la NAS. 	02	Analista de Procesamiento de Datos Sismovolcánicos	3 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Sistemas de archivos de la NAS

<p>Generar catálogos Sismovolcánicos a) Definir periodo de análisis. b) Seleccionar tipos de eventos sismovolcánicos. c) Seleccionar parámetros a analizar. d) Generar catalogo Producto final: Catálogo Sismovolcánico de Volcán.</p>	03	Analista de Procesamiento de Datos Sismovolcánicos	1 hora / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Base de datos
<p>Procesar datos de deformación volcánica a) Seleccionar volcán b) Descargar datos c) Conversión de formatos de datos. d) Procesar datos de deformación volcánica</p>	04	Analista de Deformación Volcánica	3 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Datos con nuevo formato
<p>Generar series de tiempo de deformación volcánica a) Definir periodo de análisis b) Actualizar base de datos con soluciones de procesamiento c) Generar serie de tiempo del volcán seleccionado. Producto final: Catálogo de deformación volcánica.</p>	05	Analista de Deformación Volcánica	1 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Sistemas de archivos de la NAS
<p>Procesar Datos de Monitoreo Visual a) Seleccionar volcán b) Descargar imágenes videocámaras c) Identificar y caracterizar la emisión (inicio y final, altura máxima, tipo, dirección, coloración)</p>	06	Analista de Procesamiento de sensores remotos superficiales	3 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Sistemas de archivos de la NAS
<p>Generar catalogo visual a) Definir periodo de análisis. b) Seleccionar tipos de emisión volcánica. c) Seleccionar los parámetros a analizar. d) Generar catálogo Producto final: Catálogo Visual.</p>	07	Analista de Procesamiento de sensores remotos superficiales	1 horas / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Base de datos SQL-Dashboard

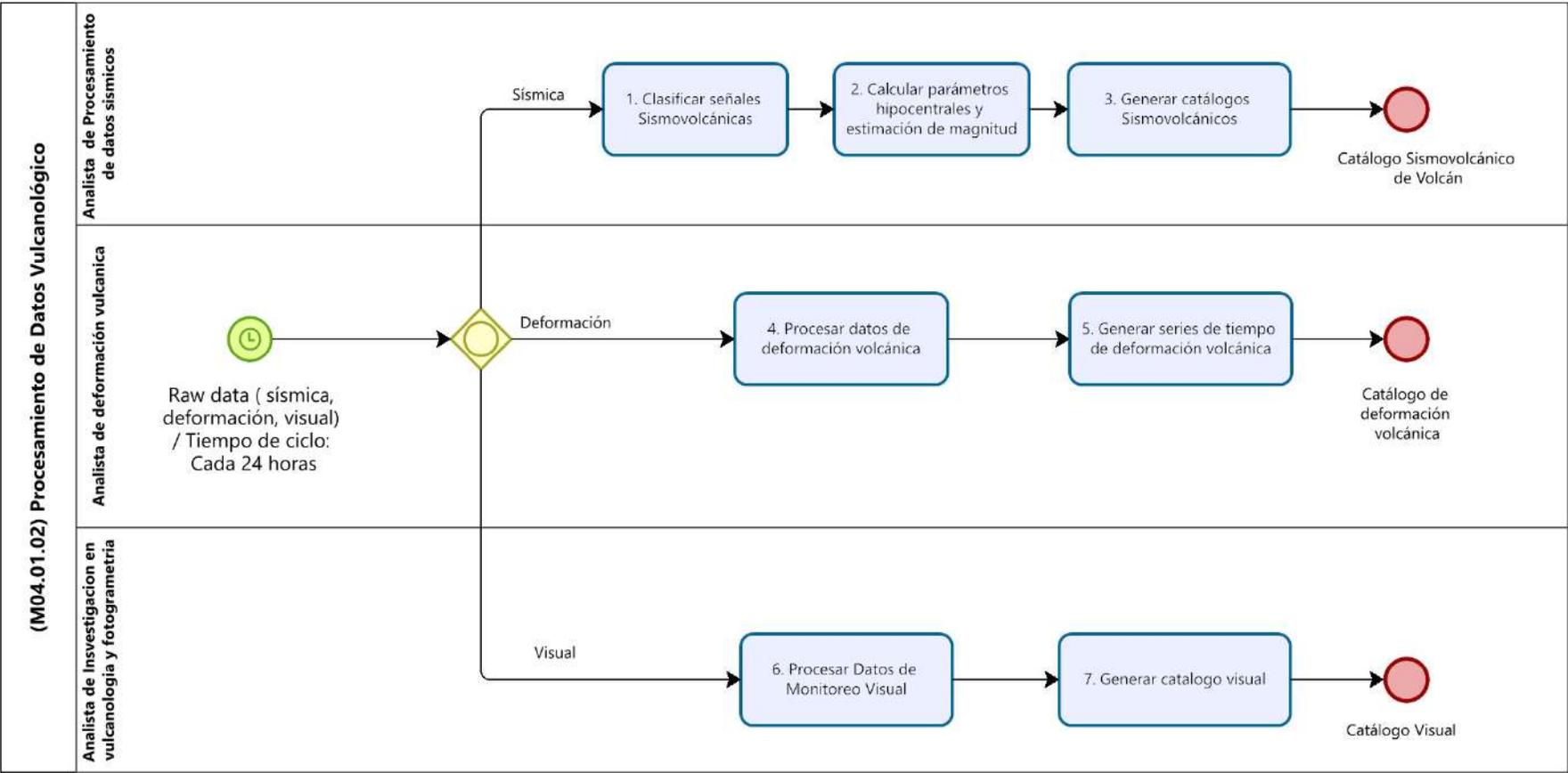
	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

II. Diagrama de bloques



 IGP Instituto Geofísico del Perú	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

III. Diagrama de procesos



 IGP <small>Instituto Geofísico del Perú</small>	PROCESO	Versión: 01
	PROCESAMIENTO DE DATOS VULCANOLÓGICOS	Código: PC N° 008-2023-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO 1

FICHA DE INDICADOR

 IGP <small>Instituto Geofísico del Perú</small>	INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ				
	FICHA DE INDICADOR DE DESEMPEÑO				
CÓDIGO DEL PROCESO	M04.01.02	NOMBRE DEL PROCESO	Procesamiento de Datos Vulcanológicos	OBJETIVO DEL PROCESO	Mantener actualizado oportunamente los catálogos de actividad volcánica.
INDICADOR	% de catálogos actualizados en el día	FINALIDAD DEL INDICADOR	Entregar de manera oportuna los catálogos.	ÁREA RESPONSABLE	Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)
FORMULA	$\frac{\Sigma \text{ de catálogos actualizados en el día (sismovolcánico, deformación volcánica y visual)}}{3 \times \# \text{ de días del mes}} \times 100\%$				
UNIDAD DE MEDIDA	Porcentaje	FRECUENCIA	Anual	OPORTUNIDAD DE MEDIDA	Mensual
LÍNEA DE BASE	-	META	95%	FUENTE DE DATOS	Repositorio de catálogos
VALOR LIMITE (*)					
LCS MÁXIMO	95%	LCI MÍNIMO	85%		

	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 009-2023-IGP

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA

Versión 02

	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

PROCESO PC N° 009-2023-IGP

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	09/06/2023	1. Documento Inicial
02	06/02/2024	2. Actualización en datos del proceso, secuencia de actividades (03), diagrama de bloques y diagrama de proceso.
FORMULADO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL SUR	REVISADO Y VISADO DIRECCIÓN CIENTIFICA	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
REVISADO Y VISADO OFICINA DE ASESORIA JURIDICA	APROBADO GERENCIA GENERAL	

	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

I. FICHA TÉCNICA DEL PROCESO

	INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ FICHA TÉCNICA DEL PROCESO MULTINIVEL (ULTIMO NIVEL)		
	DATOS DEL PROCESO		
Código	M04.02.02.01	Tipo del proceso	Misional
Nombre del proceso	Generación de Información Vulcanológica	Dueño del proceso	Coordinador de CENVUL
Objetivo del proceso	Asegurar la oportuna emisión de reportes/boletines vulcanológicos.	Versión	02
Indicador de desempeño	% de reportes / boletines emitidos en la periodicidad establecida de acuerdo al nivel de alerta	Controles	Efectuar control de calidad previo a la emisión de reportes y boletines vulcanológicos
RECURSOS			
Recursos Humanos	Asistente de Comunicaciones, Coordinador de CENVUL, Responsable de Turno, Comité Evaluador, Analista de Turno		
Instalaciones	Instalaciones de CENVUL, Sala de Reuniones OVS		
Sistemas Informáticos	Office (Excel, Word); Dashboard		
Equipos	Servidores, computadoras, medios de almacenamiento masivo, laptop		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES			

Nombre de las Actividades	Código de Actividad	Nombre del Puesto Ejecutor/Rol	Tiempo Estándar	Órgano y Unidad orgánica del ejecutor	Registro de ejecución
<p>Inicio: Catálogo sísmovolcánico, catálogo de deformación volcánica, Catalogo Visual.</p> <p>Analizar y correlacionar datos</p> <p>a) Seleccionar volcán.</p> <p>b) Observar y analizar datos sísmovolcánicos, deformación volcánica y visual.</p> <p>c) Correlacionar datos sísmovolcánico, deformación volcánica y visual registrados en el dashboard.</p> <p>Observación: Si se requiere desarrollar boletines vulcanológicos, ir actividad 02. En caso se requiere desarrollar Reportes Vulcanológicos ir actividad 11.</p>	01	Responsable de Turno	20 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Screen shot - Dashboard
<p>Evaluar nivel de alerta</p> <p>a) Seleccionar volcán</p> <p>b) Interpretar nivel de actividad volcánica en base a datos sísmovolcánicos, deformación volcánica y visual.</p> <p>c) Definir nivel de actividad volcánica</p> <p>d) Establecer escenario a corto, mediano o largo plazo</p> <p>e) Establecer recomendaciones</p> <p>f) Elaborar acta</p> <p>¿Requiere ir a campo?</p> <p>Si es si, ir a actividad 03, caso contrario ir a actividad 04.</p>	02	Comité Evaluador	60 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Acta
<p>M 04.02.02.02 Generación de información vulcanológica ante la reactivación volcánica y crisis eruptiva</p>	03	-	-	Observatorio Vulcanológico del Sur	Informe de campo
<p>Elaborar boletín vulcanológico</p> <p>a) Seleccionar volcán</p> <p>b) Recopilar información sísmovolcánica, deformación volcánica y visual.</p> <p>c) Elaborar boletín.</p>	04	Responsable de Turno	30 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Boletín

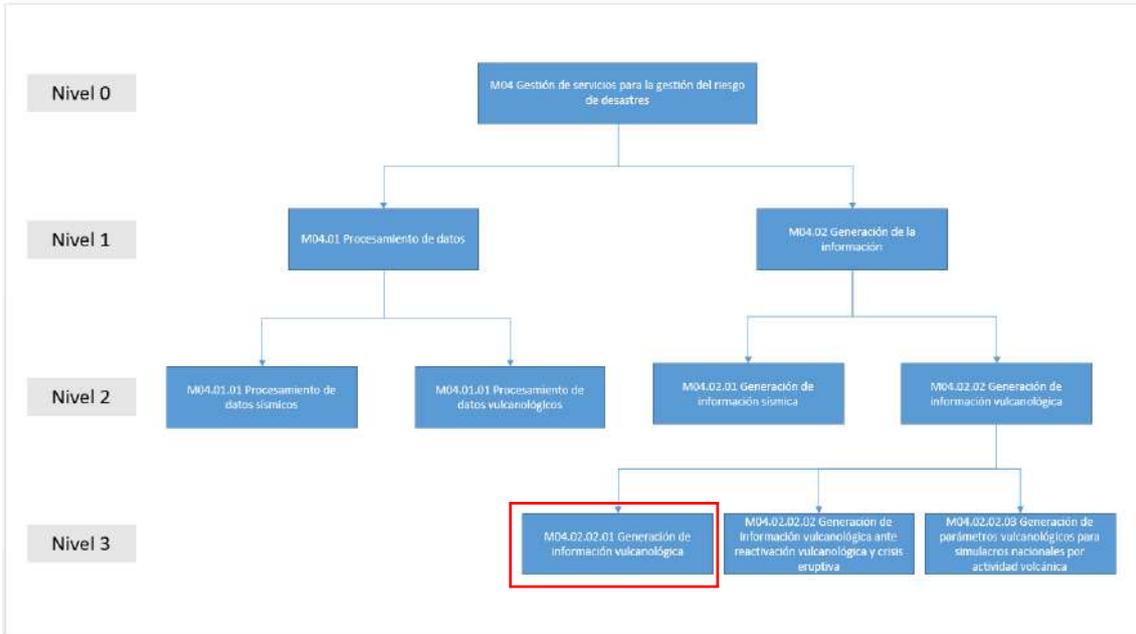
<p>Efectuar Control de Calidad a) Revisión de contenido de acuerdo a Check List.</p>	05	Coordinador de CENVUL	15 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Formato de Check List
<p>Editar boletín a) Editar ortografía de boletín. b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código). c) Generar archivo PDF. d) Realizar Check List Observación: El boletín se publica por tres canales distintos: web, aplicativo móvil y correo electrónico.</p>	06	Asistente de Comunicaciones	10 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Formato de Check List
<p>Publicar boletín web a) Editar ortografía de boletín b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código) c) Generar archivo PDF d) Subir archivo PDF a página web</p>	07	Asistente de Comunicaciones	10 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Página web
<p>Publicar boletín en aplicativo móvil a) Editar ortografía de boletín b) Revisar formato de boletín (incluye verificación de código) c) Generar archivo PDF d) Subir archivo PDF a aplicativo móvil.</p>	08	Asistente de Comunicaciones	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Aplicativo móvil – Volcanes Perú
<p>Difusión por correo electrónico a) Seleccionar formato por volcán b) Seleccionar lista de destinatarios c) Enviar correo electrónico. Producto final: Boletín publicado y difundido</p>	09	Asistente de Comunicaciones	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Correo electrónico
<p>Consolidar información para Reporte Vulcanológico a) Recopilar datos sísmovolcánicos, deformación volcánica y visual de los volcanes monitoreados o vigilados con información registrada en dashboard</p>	10	Responsable de Turno	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Dashboard

	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

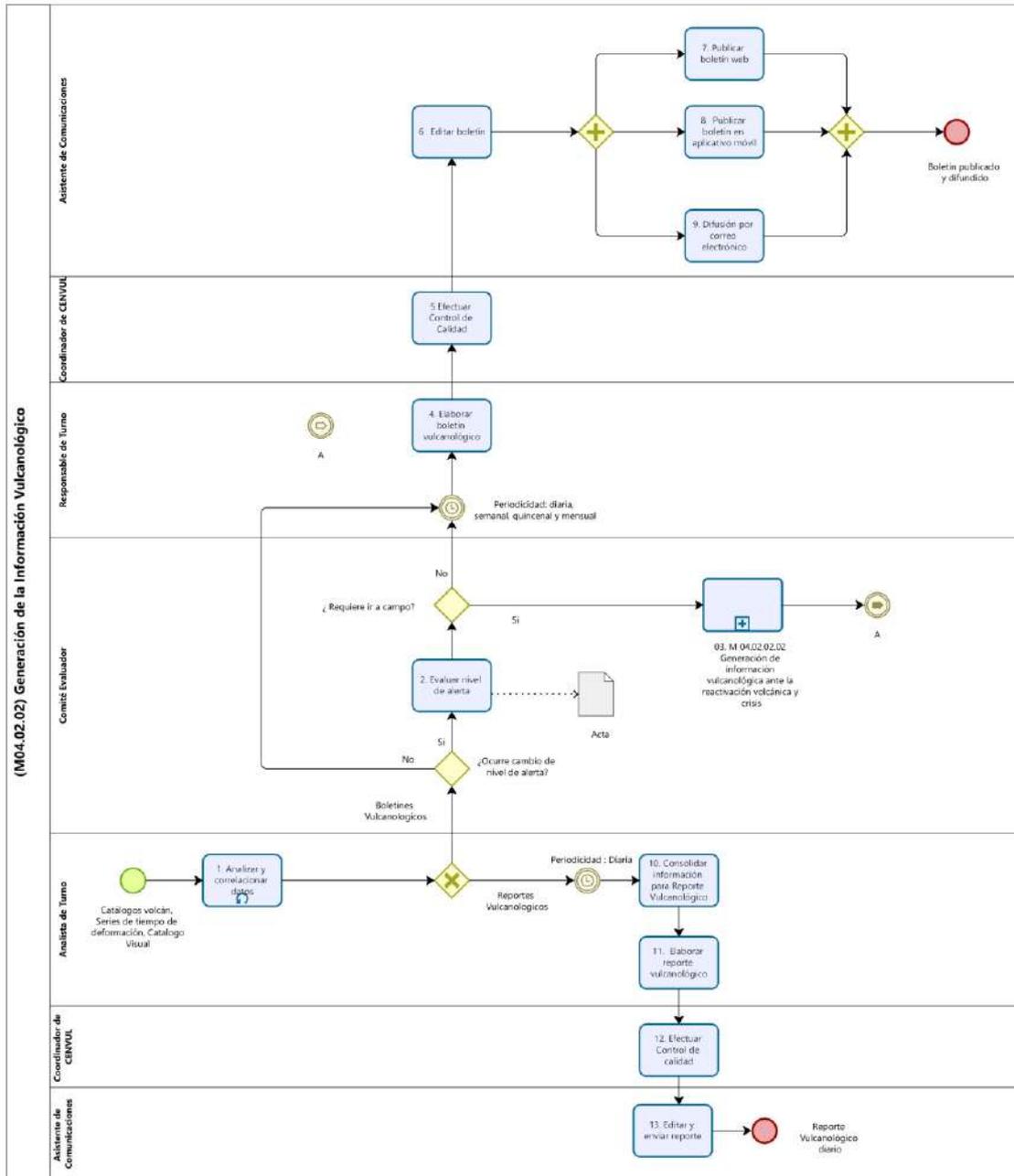
Elaborar reporte vulcanológico a) Redactar reporte b) Efectuar revisión de acuerdo a formato	11	Responsable de Turno	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Reporte
Efectuar Control de calidad a) Revisión de contenido de acuerdo a Check List. b) Registro de revisión en Check List	12	Coordinador de CENVUL	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Formato de Check List
Editar y enviar reporte a) Editar ortografía de reporte b) Revisar formato (incluye verificación de código) c) Generar archivo PDF d) Enviar a COEN y COER REGIONALES (Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna) Producto final: Reporte Vulcanológico diario	13	asistente de comunicaciones	5 minutos / volcán	Observatorio Vulcanológico del Sur	Correo electrónico

	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

II. DIAGRAMA DE BLOQUES



III. DIAGRAMA DE PROCESOS



	PROCESO	Versión: 02
	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN VULCANOLÓGICA	Código: PC N° 009-2023-IGP Sigla de Área: OVS

ANEXO 1

FICHA DE INDICADOR

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ					
FICHA DE INDICADOR DE DESEMPEÑO					
CÓDIGO DEL PROCESO	M04.02.02.01	NOMBRE DEL PROCESO	Generación de Información Vulcanológica.	OBJETIVO DEL PROCESO	Asegurar la oportuna emisión de reportes/boletines vulcanológicos
INDICADOR	% de reportes / boletines emitidos en la periodicidad establecida de acuerdo al nivel de alerta.	FINALIDAD DEL INDICADOR	Entrega oportuna de reportes / boletines a las partes interesadas.	ÁREA RESPONSABLE	Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)
FORMULA	$\frac{\# \text{ de reportes / boletines emitidos en la periodicidad establecida de acuerdo al nivel de alerta} \times 100\%}{\# \text{ de reportes / boletines programados}}$				
UNIDAD DE MEDIDA	Porcentaje	FRECUENCIA	Anual	OPORTUNIDAD DE MEDIDA	Mensual
LÍNEA DE BASE	-	META	95%	FUENTE DE DATOS	Repositorio de boletines / reportes
VALOR LIMITE (*)					
LCS MÁXIMO	95%	LCI MÍNIMO	85%		