



INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Resolución de Gerencia General

N° 087-IGP/2025

Lima, 4 de diciembre del 2025

VISTOS:

El Informe Legal N° 00168-2025-IGP/GG-OAJ, el Informe N° 241-2025-IGP/GG-OPPM y el Informe N° 0036-2025-IGP/JI-DCTS; 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 el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM, se aprobó la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú (IGP);

Que, la Directiva DI N° 002-2025-IGP Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos, en el punto 7.2.2.11, señala:

"Manual de Usuario: Documento de comunicación técnica que proporciona instrucciones claras y detalladas para comprender el funcionamiento, uso adecuado y mantenimiento de equipos, herramientas tecnológicas, aplicaciones, sistemas u otros soportes digitales o físicos utilizados por la entidad. Su propósito es facilitar la correcta operatividad y reducir errores en el uso por parte del personal usuario".

Aprobación del acto administrativo

El Gerente General gestiona la aprobación / modificación / derogación del documento normativo en función al tipo de documento, de conformidad al siguiente detalle:

Gráfico N° 03 Tipo de Documento

Tipo de Documento	Nivel de Aprobación	Acto Administrativo
Política	Jefatura Institucional	RJI
Norma Técnica	Jefatura Institucional	RJI
Directiva	Gerencia General	RGG
Reglamento	Jefatura Institucional	RJI
Protocolo	Jefatura Institucional	RJI
Manual de Procesos	Gerencia General	RGG
Mapa de Procesos Institucional	Gerencia General	RGG
Ficha de Producto y proceso (*)	Dueño de Proceso	ACTA
Ficha de Indicador de producto o proceso (*)	Dueño de Proceso	ACTA
Procedimiento (*)	Dueño de Proceso	ACTA
Manual de Usuario	Gerencia General	RGG
Instructivo	Gerencia General	RGG
Lineamiento	Gerencia General	RGG

* La aprobación será efectuada de acuerdo con lo señalado en la NT 002-2025-SGP

Nota: RJI: Resolución de Jefatura Institucional / RGG: Resolución de Gerencia General

Activar Windows
Vea a Configuración

Que, según el Gráfico N° 3 Tipo de Documento, corresponde que los manuales de usuario sean modificados mediante Resolución de Gerencia General;

Que, el área proponente a través del Informe N° 0036-2025-IGP/JI-DCTS ha sustentado la modificación de los manuales de usuario señalando lo siguiente:

"c) Manuales de Monitoreo del CENVUL

- Mantener actualizados los procedimientos operativos, asegurando que reflejen las prácticas vigentes de monitoreo implementadas por el CENVUL.
- Estandarizar las actividades técnicas del personal, garantizando uniformidad en la adquisición, procesamiento y validación de los datos volcánicos.
- Fortalecer la calidad y confiabilidad de la información generada, mejorando la trazabilidad de los registros y productos derivados.
- Optimizar la transferencia de conocimiento técnico, facilitando la capacitación y adaptación del personal nuevo o en rotación.
- Asegurar la coherencia y compatibilidad entre los distintos métodos de monitoreo y los procesos misionales del CENVUL, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC).
- La modificación de los Manuales de Monitoreo del CENVUL no implica cambios en su código ni denominación, sino la incorporación de ajustes técnicos y operativos que actualizan los procedimientos de trabajo diario.

Cada manual mantiene su tipología como documento normativo técnico (MU) dentro del Sistema de Gestión de la Calidad, en el ámbito de la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida.

- *Estas actualizaciones responden a la necesidad de alinear los procedimientos de monitoreo con los avances tecnológicos y metodológicos recientes, fortaleciendo la capacidad operativa y la calidad de los productos vulcanológicos generados”.*

Que, mediante el Informe N° 0241-2025-IGP/GG-OPPM, la Oficina de Planeamiento y Presupuesto, ha concluido:

“ Por lo expuesto en el análisis del presente informe y conforme a lo señalado en la Directiva N° 002-2025-IGP “Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos”, la oficina a mí cargo emite Opinión Técnica Favorable respecto a la modificación de los MU N°001-2024-IGP Manual de Monitoreo de gases y fuentes termales, MU N°002-2024-IGP Manual de Monitoreo de la Deformación Volcánica, MU N°003-2024-IGP Manual de monitoreo mediante sensores remotos satelitales, MU N° 004-2024-IGP Manual de Monitoreo sismo volcánico, MU N° 005-2024-IGP Manual de Monitoreo visual mediante sensores remotos superficiales y MU N° 006-2024-IGP Manual de Procesamiento de datos crisis eruptiva.

5.2 La modificación a los manuales antes mencionados se encuentran sólidamente alineados con la Ley N.° 31733 y con las funciones asignadas a la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida en el ROF del IGP, al traducir el mandato de investigar, monitorear y generar información geofísica sobre la dinámica interna y externa de la Tierra en procedimientos técnico-operativos estandarizados para el monitoreo y análisis de la actividad volcánica.

5.3 Además guardan coherencia con la Política Institucional y con el PEI 2025-2030 del IGP, en la medida en que viabilizan los objetivos estratégicos relacionados con la producción de conocimiento, la innovación tecnológica, la consolidación de sistemas de monitoreo geofísico y la mejora del acceso a información científico-técnica para la toma de decisiones, reforzando la capacidad institucional para cumplir su misión en materia de vigilancia de peligros volcánicos y gestión del riesgo de desastres”;

Que, a través del Informe Legal N° 00168-2025-IGP/GG-OAJ, la Oficina de Asesoría Jurídica ha emitido opinión legal favorable para la modificación de los siguientes manuales de usuarios:

1. MU N° 001-2024-IGP Manual de Monitoreo de gases y fuentes termales.
2. MU N° 002-2024-IGP Manual de Monitoreo de la Deformación Volcánica.
3. MU N° 003-2024-IGP Manual de monitoreo mediante sensores remotos satelitales.
4. MU N° 004-2024-IGP Manual de Monitoreo sismo volcánico.
5. MU N° 005-2024-IGP Manual de Monitoreo visual mediante sensores remotos superficiales.
6. MU N° 006-2024-IGP Manual de Procesamiento de datos crisis eruptiva.

Con el visado de la Oficina de Asesoría Jurídica, de la Oficina de Planeamiento, Presupuesto y Modernización y de la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida; y

De conformidad con lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM, que aprobó la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y la Directiva DI N° 002-2025-IGP Aprobación, modificación o derogación de documentos normativos.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Disponer que el servidor a cargo de la Coordinación de la Unidad Funcional Centro Sismológico Nacional – CENSIS, dependiente de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, tendrá a su cargo las siguientes funciones:

- Supervisar la vigilancia de los reportes de la actividad sísmica que ocurren en el territorio nacional, utilizando datos provenientes de la Red Sísmica Nacional administrada por el IGP.
- Supervisar el procesamiento y análisis en tiempo real de los datos sísmicos y acelerométricos para determinar los parámetros hipocentrales (latitud, longitud y profundidad), magnitudes e intensidades de los sismos que ocurren en el territorio nacional.
- Supervisar la información geofísica generada para emitir Boletines Sismológicos periódicos enviados al SINAGERD.
- Emitir informes especiales a la Alta Dirección del IGP sobre las incidencias del servicio y brindar información al CENSIS.
- Otras funciones asignadas por la jefatura inmediata, relacionadas a la misión del cargo estructural y/o puesto y/o área.

Lo dispuesto en la Resolución de Gerencia General N° 033-IGP/2019, de fecha 29 de octubre de 2019 y la Resolución de Gerencia General N° 044-IGP/2023, de fecha 18 de agosto de 2023, deberán adecuarse a lo establecido en el presente artículo.

Artículo 2.- Disponer que el servidor a cargo de la Coordinación de la Unidad Funcional Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), dependiente de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, tendrá a su cargo las siguientes funciones:

- Monitorear el comportamiento dinámico de los volcanes activos del Perú usando datos provenientes de la Red Geofísica de Volcanes operada por el IGP.
- Analizar y procesar en tiempo real, los datos geofísicos provenientes de la Red Geofísica de Volcanes instalada sobre los volcanes activos del país.
- Utilizar la información geofísica generada para emitir reportes sobre el inicio de procesos eruptivos de cualquiera de los volcanes del Perú y sobre los peligros previsibles en un área específica.

- Coordinar con las instituciones integrantes del SINAGERD para la emisión y recepción de reportes, y de ser el caso, las alertas volcánicas.
- Prestar asesoramiento técnico – científico sobre el comportamiento dinámico de volcanes a las instituciones y autoridades integrantes del SINAGERD.
- Apoyar a las instituciones integrantes del SINAGERD en actividades de capacitación en temas vulcanológicos.
- Elaboración de informes técnicos – científicos para la difusión de las investigaciones que se realiza usando la información generada en el CENVUL.
- Emitir informes mensuales a la Alta Dirección del IGP sobre las incidencias del servicio que brinda el CENVUL.
- Generar bases de datos geofísicos para ser utilizado por los programas de investigación del IGP en Ciencias de la Tierra.
- Otras funciones asignadas por la jefatura inmediata, relacionadas a la misión del cargo estructural y/o puesto y/o área.

Artículo 3.- Derogar, el artículo 2 de la Resolución de Gerencia General N° 022-IGP/2022 y dar por culminada la encargatura de funciones del servidor Marco Antonio Rivera Porras de la Unidad Funcional Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL).

Artículo 4.- Encargar la coordinación de las funciones de la Unidad Funcional Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), de acuerdo al siguiente detalle:

- Katherine Andrea Vargas Alva, Coordinadora Titular.
- Marco Antonio Rivera Porras, Coordinador Alterno.

Artículo 5.- Derogar el artículo 2 de la Resolución de Gerencia General N° 055-IGP/2025, de fecha 4 de agosto de 2025, dando por culminado la encargatura como coordinador de la Unidad Funcional del Centro Nacional de Movimientos en Masa – CENMOV.

Artículo 6.- Encargar la coordinación de las funciones de la Unidad Funcional del Centro Nacional de Movimientos en Masa – CENMOV, de acuerdo al siguiente detalle:

- Julio César Martínez Herrera, Coordinador titular.
- Evelyn Rosbet Arapa Calapuja, Coordinadora alterna.

Artículo 7.- 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 001-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES

Versión 02

Página 1 de 18



Firmado digitalmente por:
DELGADO ORTEGA Edgar FAU
20131367008 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 20/11/2025 17:54:45-0500

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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
02	04/09/2025	2. Se modifica en redacción y contenido
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 relacionadas 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.

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 de la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (OTIC) o la Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) 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).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

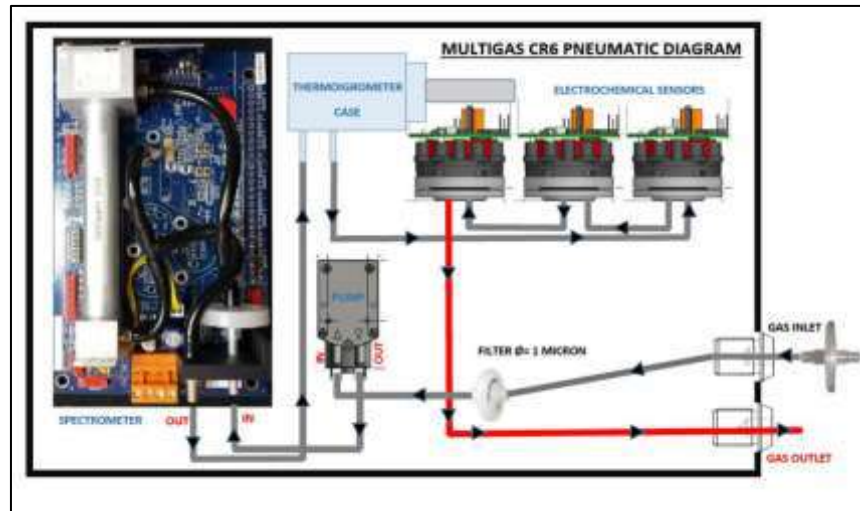


Figura 1.- Diagrama del principio de medición del equipo multigas.

6.1.1 Adquisición de datos en campo de la estación MultiGAS

Actualmente, el IGP cuenta con 2 estaciones Multigas instaladas de manera permanente: una en el volcán Sabancaya y otra en el volcán Ubinas. Ambas ya disponen de telemetría lo que permite que los datos se transmitan directamente al repositorio NAS (Z:\CENVUL\geoquimica\data\multigas). Cada carpeta generada lleva el nombre de la estación según el volcán en el que se encuentra: para Sabancaya, “SAB2”, y para Ubinas, “UBI0”.

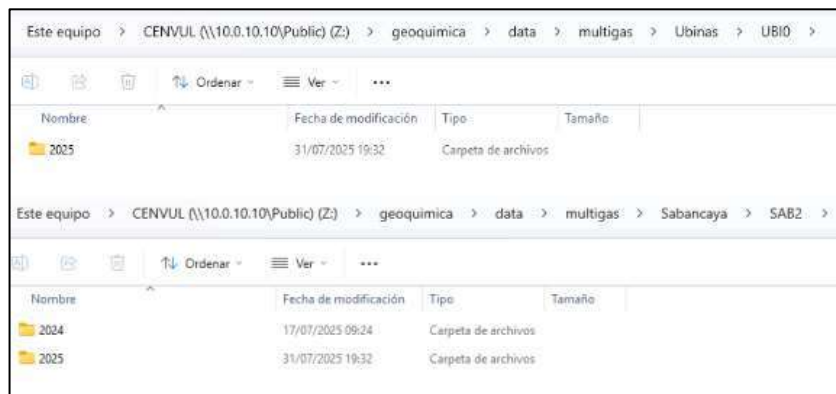


Figura 2.- Ubicación de archivos de datos Multigas para Sabancaya y Ubinas.

A su vez, la adquisición de datos se realiza de manera periódica en campo extrayendo directamente la tarjeta de memoria del *data-logger*, tal y como se muestra en la Figura 3.

El procedimiento es el siguiente

- 1) Retirar la tapa del porta tarjetas de memoria.
- 2) Extraer la tarjeta de memoria.
- 3) Insertar en su lector de tarjetas de memoria conectado a su PC.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Es importante volver a colocar la tarjeta de memoria en el registrador de datos Multigas antes de la siguiente campaña de adquisición; de lo contrario, el equipo no podrá continuar con el registro de información.

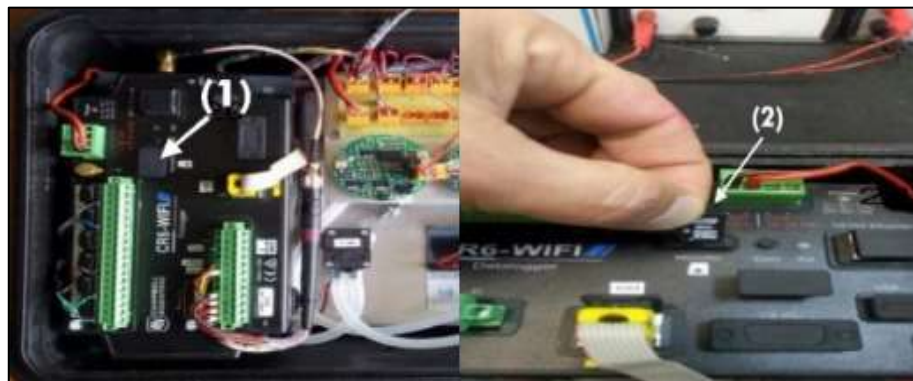
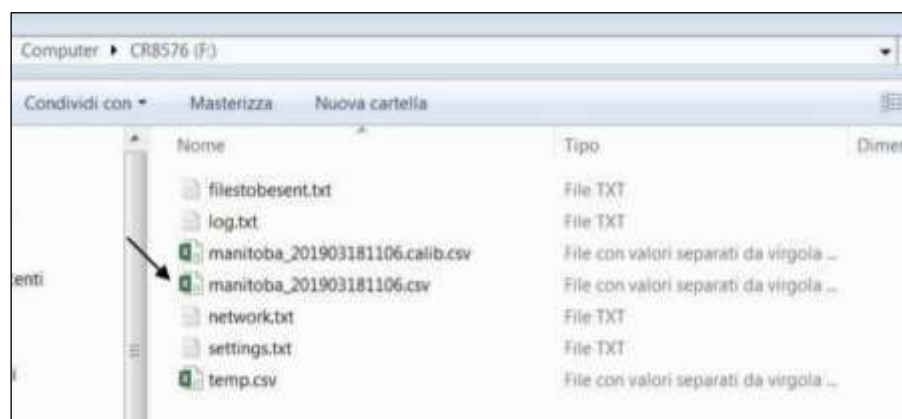


Figura 3.- Equipo MultiGAS: pasos para la extracción de la tarjeta de memoria SD.

Una vez extraída la tarjeta de memoria, esta se inserta en una computadora portátil.

Cada adquisición de MultiGAS genera un archivo *.csv específico, almacenado en el directorio principal (Figura 4). 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 con la hora de inicio de la adquisición (hora GPS) siguiendo el formato MGID_AAAAMMDDHHmm (ejemplo:



manitoba_201903181106.csv). Posteriormente se debe guardar una copia del archivo de adquisición en una PC. Una vez realizada la copia, se puede eliminar el archivo de la tarjeta. No modificar ni eliminar los archivos en formato.txt a menos que sea estrictamente necesario.

Figura 4.- Captura de pantalla del directorio principal de la tarjeta SD extraída.

Cada archivo de adquisición se puede abrir en un editor de texto. La estructura de cada archivo se ilustra en la Figura 5. Cada uno contiene

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

un conjunto de señales coadquiridas. Las unidades están en ppm (para gases), % (para Rh), °C (para la Temperatura del aire), mbar (para la Presión), mV (voltaje de la batería).

Time	SO2	H2S	H2	CO2	Rh	Tair	Pressure	VBatt
8/24/2025 1:45	-0.22509	-0.3542166	0.1284561	596.598	41.54034	1.920734	534	12.17399
8/24/2025 1:45	-0.2255402	-0.3729849	-0.04016113	588.866	41.58134	1.920582	534	12.17399
8/24/2025 1:45	-0.2237282	-0.3673191	-0.4443283	593.5052	41.60892	1.919834	534	12.17399
8/24/2025 1:45	-0.2447777	-0.3650618	-0.5748596	604.3299	41.623	1.920631	534	12.17399
8/24/2025 1:45	-0.2219658	-0.3708668	-0.6730805	606.4949	41.65096	1.919605	534	12.17399
8/24/2025 1:45	-0.22509	-0.3718958	-0.552124	598.7629	41.70704	1.920532	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2183609	-0.3731794	-0.2223129	608.3505	41.7146	1.920486	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2200813	-0.3701925	-0.4169235	610.8247	41.76555	1.919701	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2425041	-0.3685656	-0.5230866	609.2784	41.79658	1.920029	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2381248	-0.3731756	-0.5476074	601.2371	41.83245	1.920135	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.222805	-0.3596058	-0.6868591	592.8866	41.84503	1.919441	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2380066	-0.3798132	-0.9564819	588.866	41.90495	1.920151	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.2230835	-0.3700237	-0.7394714	591.6495	41.90206	1.920029	534	12.12746
8/24/2025 1:45	-0.22686	-0.3770294	-0.933548	586.3917	41.94012	1.920383	534	12.04722
8/24/2025 1:45	-0.2243919	-0.3643751	-1.060936	588.2474	41.96426	1.919945	534	12.04722
8/24/2025 1:45	-0.2223434	-0.3751612	-0.794159	583.6082	41.97668	1.919472	534	12.04722
8/24/2025 1:45	-0.2276115	-0.3734646	-0.9780884	586.701	42.00505	1.919762	534	12.04722
8/24/2025 1:45	-0.2248497	-0.3862276	-1.246254	582.0619	42.0677	1.919281	534	12.04722
8/24/2025 1:45	-0.2280388	-0.3768749	-1.260086	587.0103	42.0427	1.919735	534	12.04722

Figura 5.- 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 “Ratiocalc” y seleccionar el archivo (Z:\CENVUL\geoquimica\data\gases) que se va a procesar como se muestra en la Figura 6.

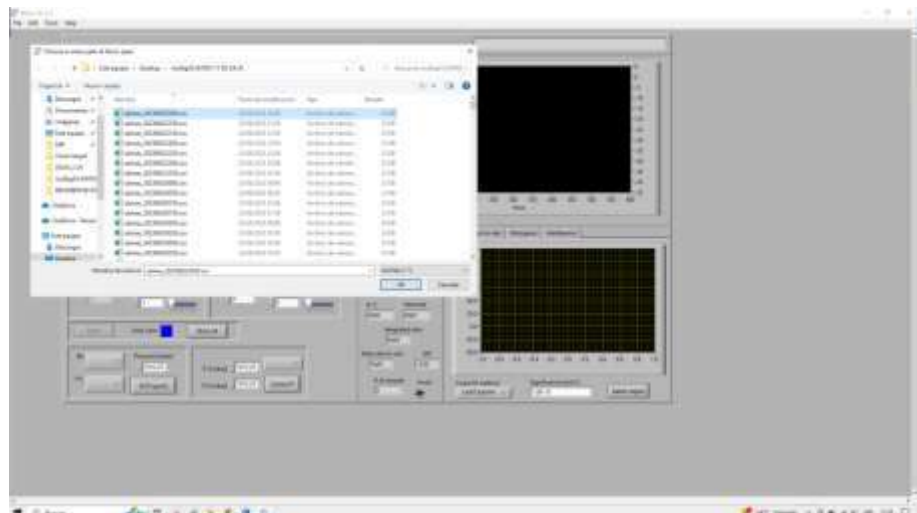


Figura 6.- Selección de archivo para iniciar el procesamiento.

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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- Parámetro 1: H₂Ocalc.- El parámetro se calcula seleccionando la humedad relativa y la temperatura del gas (Figura 7, punto 1 y 2), luego, colocamos la presión promedio (Figura 7, punto 3) de acuerdo a los valores que muestre el archivo. Finalmente se presiona el botón H₂O (Figura 7, punto 4), el cual calculará el valor de H₂Ocalc indicando el mensaje “H₂O ha sido calculado” y el valor se mostrará en las listas plegables (Figura 7, punto 5 y 6), para su posterior uso.

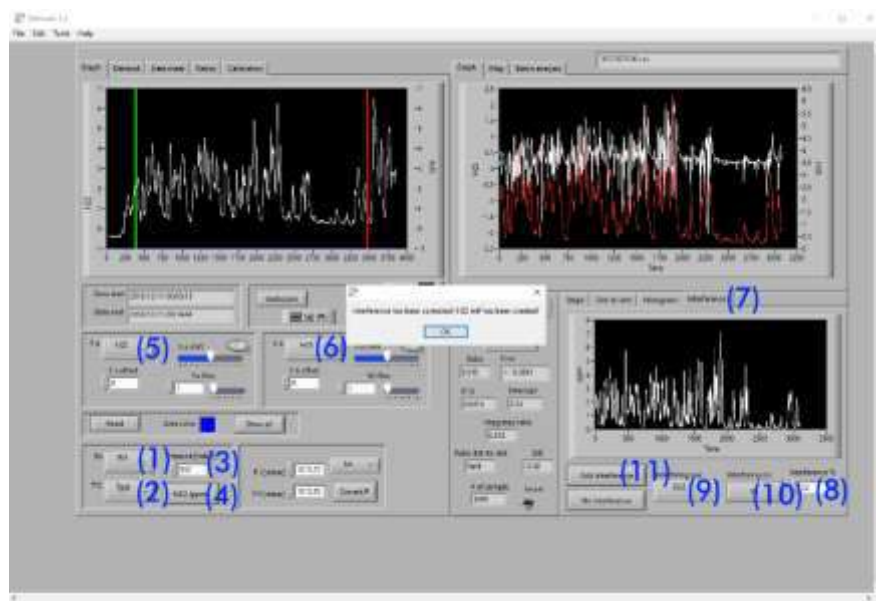


Figura 7.- Cálculo del valor de H₂Ocalc.

- Parámetro 2: H₂S-intef.- El valor se calcula seleccionando el ítem de H₂S (Figura 7, puntos 5 y 6). Luego se selecciona “interference” (Figura 7, punto 7), y se coloca un valor que puede oscilar entre 10% y 15% (generalmente es 12% para volcanes peruanos) (Figura 7, punto 8), seleccionamos el valor de SO₂ (Figura 7, punto 9) que genera cierta interferencia con el sensor electroquímico de H₂S; seleccionamos Ya o Yb (Figura 7, punto 10) y finalmente seleccionamos “add interference” (Figura 7, 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 7, 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 8, puntos 1 y 2), seguidamente se corrige la concentración de CO₂ restando el valor del ambiente (Figura 8, puntos 3), generalmente 400 ppm,

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

luego con las líneas verde y roja (Figura 8) buscamos un área entre ellas cuyas características sean las siguientes:

- “Plume marker” colocar como gas al SO₂ (Figura 8, puntos 4).
- R² mayor a 50% (Figura 8, puntos 5), este dato depende de la cantidad de datos y de la precisión de las lecturas.
- Numero de datos mayor a 100 (Figura 8, puntos 6).

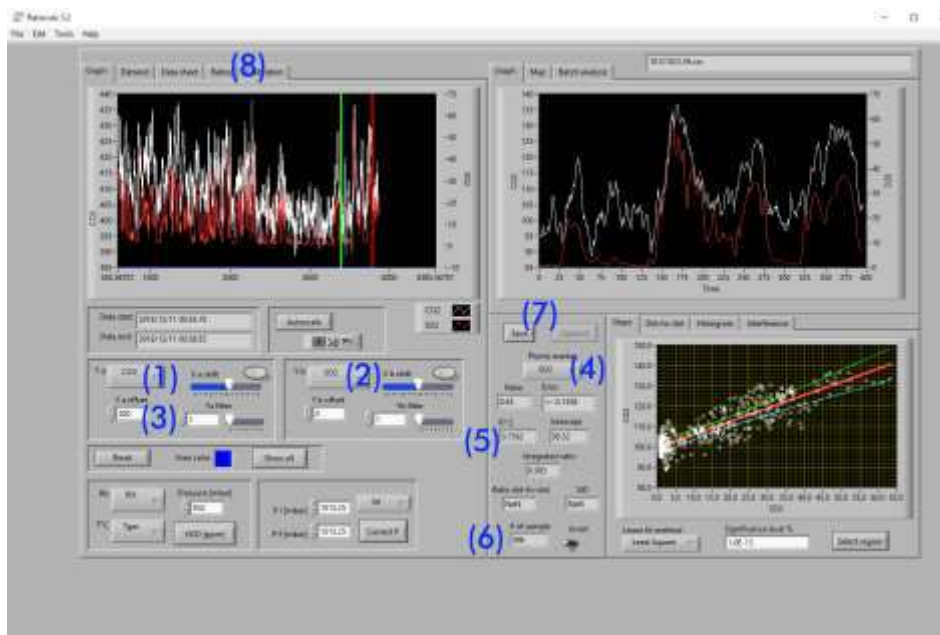


Figura 8.- Parámetros para el cálculo de la relación CO₂/SO₂.

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

- **Escenario 1:** Relación CO₂/SO₂ > 20 ppm → Nivel de actividad bajo.
- **Escenario 2:** Relación CO₂/SO₂ entre 10 y 20 ppm → Nivel de actividad medio.
- **Escenario 3:** Relación CO₂/SO₂ entre 1 y 10 ppm → Nivel de actividad alto.
- **Escenario 4:** Relación CO₂/SO₂ < 1 ppm → Nivel de actividad muy alto.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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 puede instalarse a distancias que varían desde algunos metros hasta máximo 10 km de la zona de medición. No obstante, la ubicación óptima para obtener mediciones confiables se encuentra entre 4 y 5 km, ya que esta distancia minimiza la necesidad de aplicar correcciones por efectos de dilución de la radiación.
- Cuando la pluma asciende verticalmente y se desplaza lateralmente, la medición debe iniciarse en una zona de cielo completamente despejado. El escaneo debe atravesar la pluma y continuar hasta un punto donde éste deje de ser perceptible visualmente.
- Para encender el espectrómetro, se debe conectar el cable de energía en la entrada amarilla “Output”. La entrada “Input” está destinada únicamente a la carga de la batería.
- Una vez encendido, el espectrómetro se conecta a la laptop mediante un cable USB tipo A.
- Finalmente, se ejecuta el programa “SpecScan”, disponible en el escritorio de la computadora.

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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- El escaneo debe comenzar en una zona de cielo despejado con el fin de obtener un espectro limpio (“Clear”).
- En el primer gráfico (Figura 9, punto 1), se debe revisar que el espectro se ajuste dentro del recuadro amarillo: la curva roja (pluma volcánica, “Plume”) y la curva verde (espectro limpio, “Clear”) deben formar una línea diagonal dentro del recuadro.
 - Si la pendiente es muy baja o cercana a la curva azul (“Dark spectrum”), se debe aumentar el valor de “Integration time (ms)” y repetir el escaneo.
 - Si la curva está saturada y se sale del recuadro, se debe reducir el valor de “Integration time (ms)” y realizar una nueva adquisición.
- La opción “Co-adding spectra” permite realizar múltiples mediciones en un mismo ángulo para reducir el ruido. El resultado será el promedio de dichas mediciones.
 - Para mediciones rápidas de plumas se ajusta en 1.
 - Para disminuir el ruido se recomienda ajustar en 2 o 3.
- La opción “Scanning range”, permite ajustar el ángulo de barrido del espectrómetro. Durante el escaneo se toma una medición cada 1,8°.
- En la opción “plume distance” se debe ingresar la distancia aproximada desde el punto de medición hasta el cráter. En la opción “plume speed” se debe colocar la velocidad de viento obtenida previamente con un anemómetro antes de iniciar la lectura.
- Para comenzar el escaneo se selecciona “ACQUIRE” y se verifica que las curvas (verde y roja) se ajusten dentro del recuadro amarillo en forma diagonal, sin saturarse (Figura 9, punto 1). Si la pendiente es muy baja o cercana al “Dark spectrum”, aumentar el “Integration time (ms)” y realizar una nueva adquisición.
- Para finalizar la medición se debe presionar “STOP SCAN”.

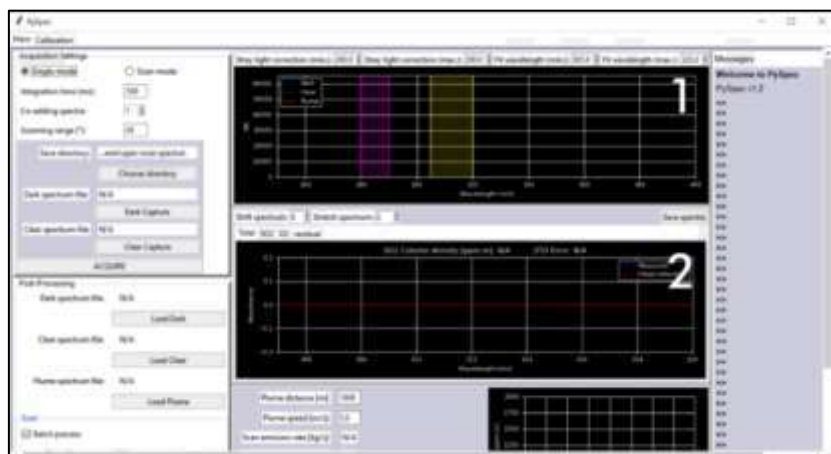


Figura 9.- Interfaz del programa PySpec. (1) Datos de columna claro-oscuro y (2) densidad de columna medida

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.2.2 Consideraciones a tomar en el procesamiento de datos obtenidos con el equipo DOAS

Se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- En el primer gráfico (Figura 10, gráfico 1), verificar si la curva “Dark” (curva azul) sea relativamente plana.
- En el segundo gráfico (Figura 10, gráfico 2), comprobar que las curvas de referencia (curva roja) se ajustan a la curva del espectro medido (curva azul). Si los valores de densidad de columna se encuentran entre 10 ppm·m y 20 ppm·m, se está observando únicamente ruido, por lo que no es posible realizar un ajuste confiable.
- En el tercer gráfico (Figura 10, gráfico 3), la curva debe presentar preferentemente una forma de campana de Gauss.
- Revisar la tasa de emisión en los parámetros “Scan emission rate [kg/s]” y “Scan emission rate [t/day]”. Se debe reportar el valor que mejor se ajuste a la campana de Gauss observada en el tercer gráfico (Figura 10, gráfico 3).

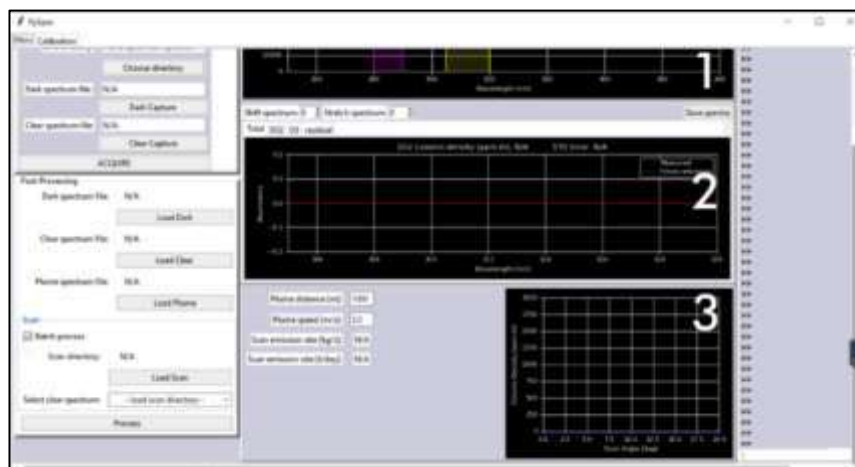


Figura 10.- Interfaz del programa PySpec para el procesamiento de data DOAS. (1) Datos de columna claro-oscuro, (2) densidad de columna medida y (3) grafica ángulo de barrido vs densidad de columna SO₂.

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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- 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.

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

En la actualidad, el monitoreo de fuentes termales asociadas a volcanes se realiza mediante termómetros digitales de alta precisión, encontrándose el proceso de adquisición de datos en una fase inicial.

Una vez identificadas las fuentes termales vinculadas a un volcán o las fumarolas ubicadas en el interior del anfiteatro, se procede a medir la temperatura con el objetivo de determinar el punto de mayor emisión térmica. Posteriormente, se registran las coordenadas geográficas y se caracteriza la fuente, a fin de contar con una referencia para futuras mediciones comparativas.

Para este procedimiento se emplea un termómetro digital moderno, que, mediante una sonda, se introduce en el intersticio de la fuente o fumarola por donde emanan gases o agua (Figura 10).



Figura 11.-Instalación del termómetro, medición de temperatura y toma de coordenadas de la fuente.

6.3.2 Parámetros físico-químicos

La medición de parámetros físico-químicos (pH, conductividad y TDS) se realiza empleando un multiparámetro digital (marca HANNA). El

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

procedimiento consiste en introducir directamente el sensor del equipo en la fuente termal y mantenerlo sumergido durante aproximadamente 3 minutos, hasta que la lectura se estabilice (Figura 12).

Cada parámetro se mide en tres repeticiones consecutivas, registrando los resultados en la libreta de campo. En total, se obtienen nueve mediciones por fuente termal, distribuidas de la siguiente manera:

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



Figura 12.- 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 Automatización del procesamiento del monitoreo térmico

Siguiendo el marco del Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001:2015) se han desarrollado códigos en python para la automatización del procesamiento del monitoreo de dióxido de azufre (SO_2) mediante escáneres DOAS, la cual representa un avance técnico clave para la vigilancia volcánica, mejorando significativamente la eficiencia y precisión del análisis de datos obtenidos de forma remota.

Se implementó un ejecutable que facilita el ingreso a un entorno virtual preconfigurado con todas las librerías necesarias para ejecutar los softwares asociados a los escáneres DOAS. Este entorno permite iniciar automáticamente los programas para los cinco escáneres DOAS operativos en los volcanes Ubinas (3 escáneres) y Sabancaya (2 escáneres).

Asimismo, se ha automatizado el ingreso de parámetros críticos que anteriormente debían registrarse de forma manual (Figura 13), en particular:

- La distancia a la pluma volcánica (en metros).
- La velocidad promedio de desplazamiento de la pluma.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

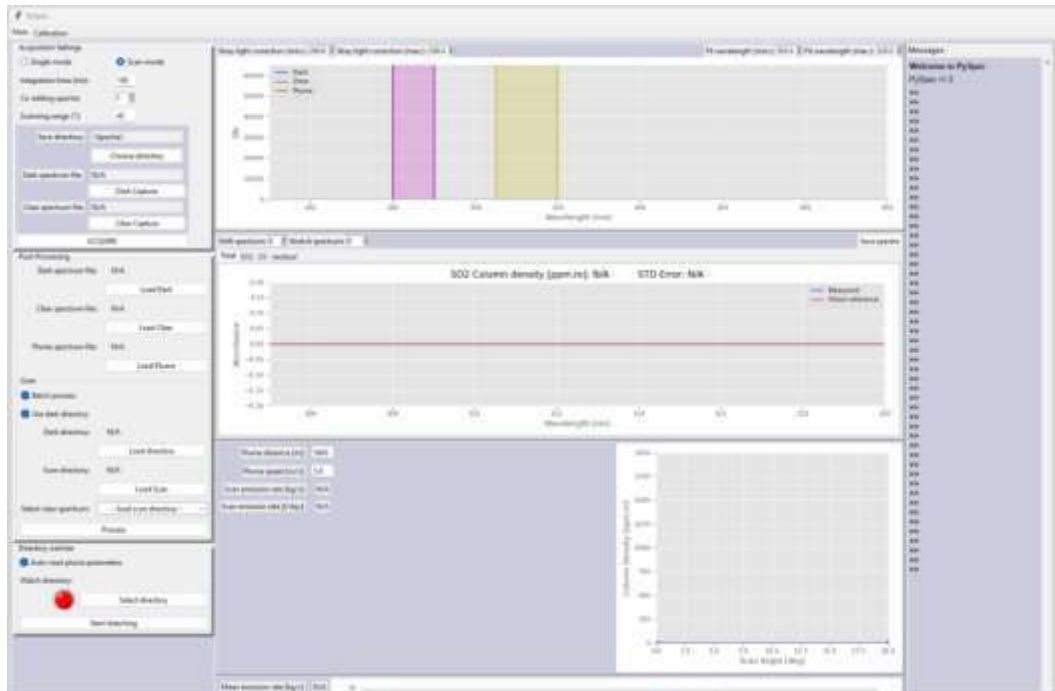
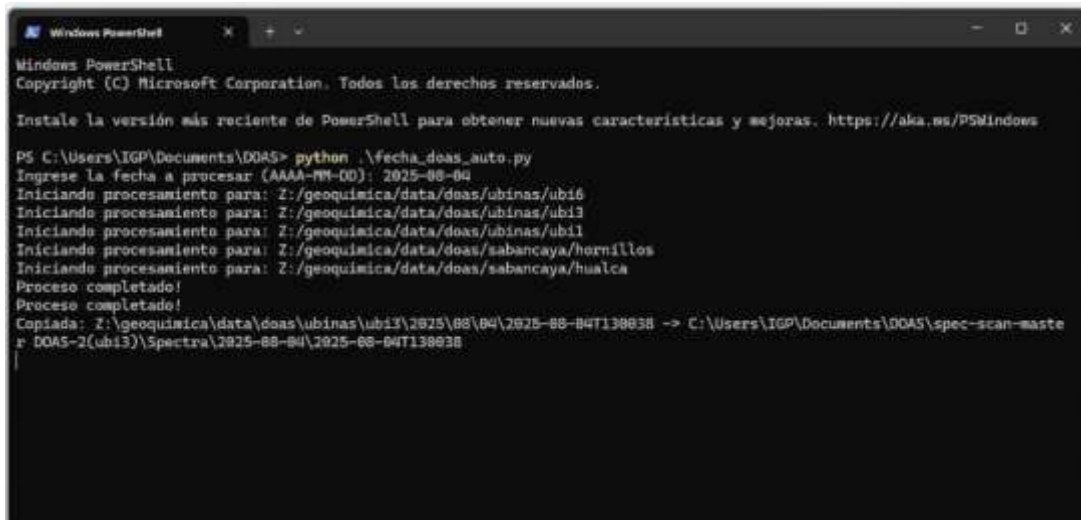


Figura 13: Interfaz gráfica del software de procesamiento automático del scanner doas Sabancaya-Hornillos Doas2 con la distancia a la pluma configurada automáticamente en 5600 m y la velocidad de la pluma establecida en 5 m/s.

Se desarrolló además el script denominado "fecha_doas_auto.py" (Figura 14), el cual, al ejecutarse, solicita al usuario ingresar una fecha específica para su procesamiento. Luego, el script genera automáticamente las carpetas correspondientes al día indicado para cada uno de los volcanes mencionados (Ubinas y Sabancaya).

Posteriormente, el script copia automáticamente los datos desde el servidor privado del CENVUL y comienza el procesamiento automático para cada uno de los cinco escáneres DOAS. Al concluir el análisis, se generan archivos individuales con resultados específicos para cada escáner.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



```

Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Instale la versión más reciente de PowerShell para obtener nuevas características y mejoras. https://aka.ms/PSWindows

PS C:\Users\IGP\Documents\DOAS> python .\fecha_doas_auto.py
Ingrese la fecha a procesar (AAAA-MM-DD): 2025-08-04
Iniciando procesamiento para: Z:\geoquimica\data\doas\ubinas\ubi6
Iniciando procesamiento para: Z:\geoquimica\data\doas\ubinas\ubi3
Iniciando procesamiento para: Z:\geoquimica\data\doas\ubinas\ubi1
Iniciando procesamiento para: Z:\geoquimica\data\doas\sabancaya\hernillos
Iniciando procesamiento para: Z:\geoquimica\data\doas\sabancaya\hualca
Proceso completado!
Proceso completado!
Copiada: Z:\geoquimica\data\doas\ubinas\ubi3\2025\08\04\2025-08-04T130838 -> C:\Users\IGP\Documents\DOAS\spec-scan-master\DOAS-2(ubi3)\Spectra\2025-08-04\2025-08-04T130838

```

Figura 14: Ejemplo de uso del código fecha_doas_auto.py.

Con el fin de optimizar el proceso de generación y gestión de datos, se desarrolló el script "fecha_generar_catalogo.py", que permite ingresar un rango de fechas específico (fecha inicial y fecha final). Este programa recupera y procesa automáticamente los resultados de todos los escáneres DOAS dentro del rango temporal especificado. Los resultados son organizados en archivos con una estructura definida en cinco columnas (Figura 15):

- Código del volcán.
- Nombre del equipo DOAS.
- Fecha y hora en formato UTC.
- Valor medido de SO₂ en toneladas por día.
- Indicador de validez del dato (0: válido, 1: inválido).

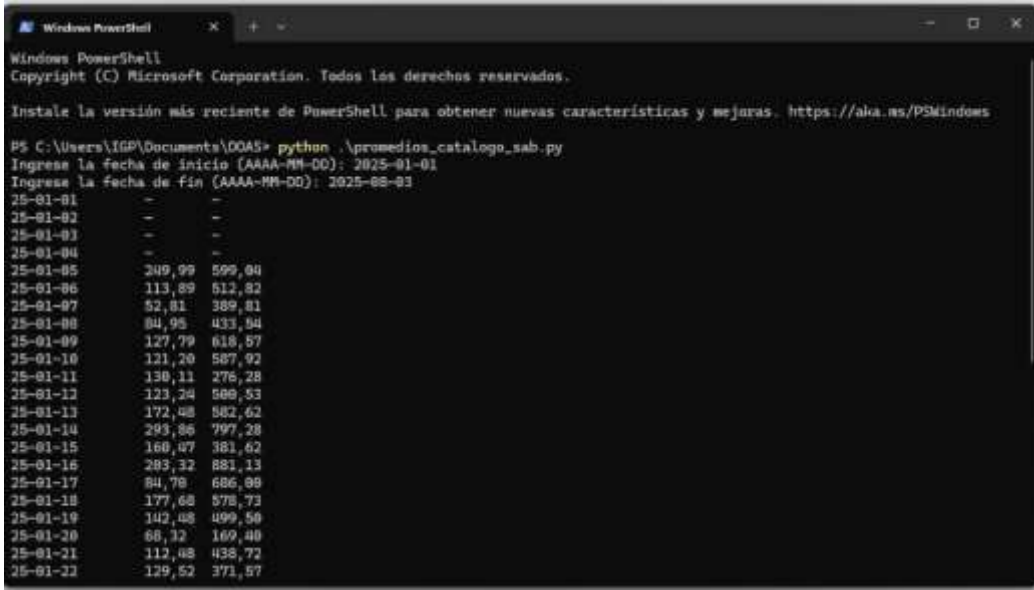
Volcán	Estación	Fecha y Hora	Flujo [ton/día]	Validación
SAB	Doas2	2025-08-03 13:45:39	-378.80732271705597	1
SAB	Doas2	2025-08-03 14:15:39	-421.6166995563064	1
SAB	Doas2	2025-08-03 14:45:39	-228.51908487713393	1
SAB	Doas2	2025-08-03 15:15:38	-141.38226819014886	1
SAB	Doas2	2025-08-03 15:45:39	-291.0632808266772	1
SAB	Doas2	2025-08-03 16:15:39	-179.83986440507837	1
SAB	Doas2	2025-08-03 16:45:39	-111.22341642159888	1
SAB	Doas2	2025-08-03 17:15:39	-139.05457157713994	1
SAB	Doas2	2025-08-03 17:45:39	-268.8995609028099	1
SAB	Doas2	2025-08-03 18:15:39	-205.84934395043865	1
SAB	Doas2	2025-08-03 18:45:39	-275.9838549424023	1
SAB	Doas2	2025-08-03 19:15:39	-55.257493508819806	1
SAB	Doas2	2025-08-03 19:45:39	642.1406525887578	0
SAB	Doas2	2025-08-03 20:15:39	-265.05380128131696	1

Figura 15: Archivo de texto con los resultados del procesamiento automático donde la primera columna corresponde al código del volcán, la segunda columna al nombre del equipo DOAS, la tercera columna a la fecha y hora en formato UTC, la cuarta columna al valor medido de SO₂ en toneladas por día y la quinta columna al indicador de validez del dato (0: válido, 1: inválido).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Finalmente, para obtener un valor promedio diario consolidado del SO₂ emitido por cada volcán, se desarrollaron los scripts "promedios_catalogo_sab.py" (Figura 16) y "promedios_catalogo_ubi.py". Estos programas extraen únicamente los datos válidos de los catálogos generados previamente y calculan los promedios diarios a partir de los resultados obtenidos por los diferentes escáneres instalados en Sabancaya y Ubinas, respectivamente (Figura 17).

Este procedimiento proporciona un valor promedio final confiable y representativo, que es reportado oficialmente como parte del monitoreo continuo de ambos volcanes.



```

Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Instale la versión más reciente de PowerShell para obtener nuevas características y mejoras. https://aka.ms/PSWindows

PS C:\Users\IGP\Documents\DOAS> python .\promedios_catalogo_sab.py
Ingrese la fecha de inicio (AAAA-MM-DD): 2025-01-01
Ingrese la fecha de fin (AAAA-MM-DD): 2025-01-22
25-01-01      -      -
25-01-02      -      -
25-01-03      -      -
25-01-04      -      -
25-01-05      249,99  599,04
25-01-06      113,89  512,82
25-01-07       52,81  389,81
25-01-08       84,95  433,54
25-01-09      127,79  618,57
25-01-10      121,20  587,92
25-01-11      130,11  276,28
25-01-12      123,24  500,53
25-01-13      172,48  582,62
25-01-14      293,86  797,28
25-01-15      160,47  381,62
25-01-16      203,32  881,13
25-01-17       84,70  686,00
25-01-18      177,68  578,73
25-01-19      142,48  499,50
25-01-20       68,32  169,40
25-01-21      112,68  438,72
25-01-22      129,52  371,57

```

Figura 16: Ejemplo de uso del código promedios_catalogo_sab.py.

FECHA	Flujo Promedio diario	FLUJO MAXIMO ton/dia
25-01-05	249,99	599,04
25-01-06	113,89	512,82
25-01-07	52,81	389,81
25-01-08	84,95	433,54
25-01-09	127,79	618,57
25-01-10	121,20	587,92
25-01-11	130,11	276,28
25-01-12	123,24	500,53
25-01-13	172,48	582,62
25-01-14	293,86	797,28
25-01-15	160,47	381,62
25-01-16	203,32	881,13
25-01-17	84,70	686,00
25-01-18	177,68	578,73
25-01-19	142,48	499,50

Figura 17: Archivo de texto con el promedio de los escáneres DOAS del volcán Sabancaya donde la primera columna corresponde a la fecha y hora en formato UTC, la segunda columna al valor promedio de SO₂ en toneladas por día y la tercera columna al flujo máximo de SO₂ en toneladas por día.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE GASES Y FUENTES TERMALES	Código: MU N° 001- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 002-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Versión 02



**IGP
V.B.**

Firmado digitalmente por:
DELGADO ORTEGA Edgar FAU
20131367008 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 20/11/2025 17:55:01-0500

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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
02	05/09/2025	2. Se modifica en redacción y contenido
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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, 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.

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 de la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (OTIC) o la Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) 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 Red de estaciones GNSS

A inicios del año 2024, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) contaba con cuatro estaciones GNSS ubicadas en los volcanes Misti (1), Sabancaya (1) y Ubinas (2). Los datos obtenidos eran procesados manualmente para generar reportes de deformación volcánica, un insumo clave para la interpretación multidisciplinaria de la dinámica de los volcanes. Sin embargo, este proceso manual presentaba inconvenientes, ya que no se

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

actualizaba durante los fines de semana y feriados, debido al horario rotativo, que no siempre garantizaba la disponibilidad de un especialista en deformación volcánica en el turno.

En septiembre de 2024, el número de estaciones GNSS para monitoreo volcánico se incrementó a siete: Misti (2), Sabancaya (2), Ubinas (2) y Ticsani (1), lo que significaba un mayor volumen de datos a procesar (rombos azules en Figura 1).

Asimismo, a futuro se proyecta incorporar tres estaciones GNSS adicionales, instaladas en los volcanes Purupuruni y Casiri, cuyos datos serán transmitidos vía telemetría (rombos celestes en Figura 1).

Ante este crecimiento de estaciones y el compromiso del CENVUL de ofrecer reportes diarios sobre la actividad volcánica, se identificó la necesidad de optimizar la regularidad, eficiencia y puntualidad en la generación de este insumo crítico.

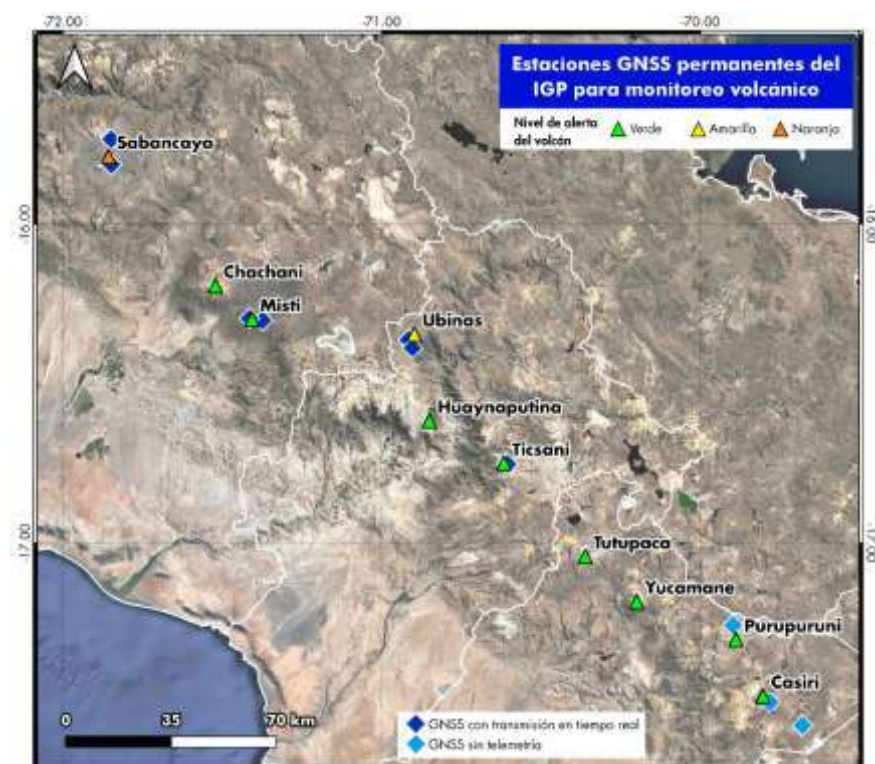


Figura 1, Red de estaciones GNSS permanentes para monitoreo volcánico.

6.1.2 Descarga automática de datos GNSS

Para la descarga de datos GNSS se cuenta con scripts que contemplan las estaciones de referencia y las instaladas en los volcanes peruanos:

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- [referencia_igs.py](#) (estaciones de referencia del Servicio Internacional de GNSS)
- [referencia_csn.py](#) (estaciones de referencia del Centro Sismológico Nacional de Chile)
- [MS01_auto.py](#) (estación GNSS Misti 01)
- [MS02_auto.py](#) (estación GNSS Misti 02)
- [SB01_auto.py](#) (estación GNSS Sabancaya 01)
- [SB02_auto.py](#) (estación GNSS Sabancaya 02)
- [UB01_auto.py](#) (estación GNSS Ubinas 01)
- [UB01_auto.py](#) (estación GNSS Ubinas 02)
- [TC01_auto.py](#) (estación GNSS Ticsani 01)

Estos scripts se encuentran en una máquina virtual con sistema operativo Ubuntu en donde también se realiza el trabajo de procesamiento de datos.

Para ingresar a la máquina virtual se ingresa desde la red del CENVUL a la dirección <https://10.0.10.40:8006/> y se ingresa con las credenciales User name: gamit, y como Password: (solicitar a especialista de deformación volcánica de CENVUL). Al ingresar a la página (Figura 2) elegir el datacenter [pve20](#) y hacer doble clic en la máquina [102\(vmgg\)](#).



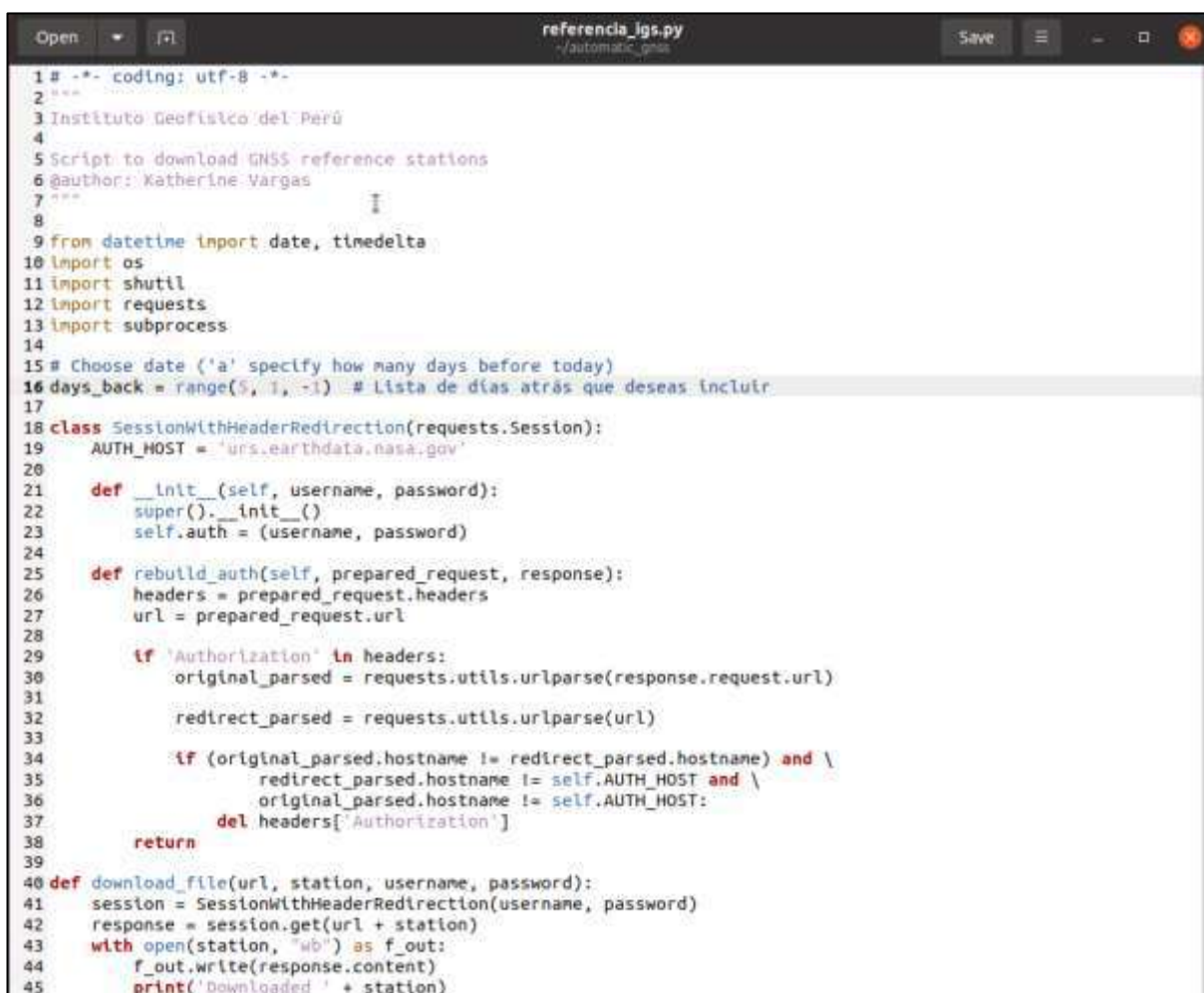
Figura 2, Ventana para ingreso a máquina virtual.

Cada script cuenta con una configuración personalizada, de tal manera que descarga el dato, lo convierte al formato RINEX y en algunos casos realiza el remuestreo necesario. Estos scripts se encuentran en la ruta /home/geofisico/automatic_gnss/

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Cabe mencionar, que el procesamiento de datos GNSS se realiza diariamente, pero el dato más reciente, siempre será el del día anterior, ya que el dato completo termina de grabarse según la zona horaria de nuestro país a las 07.00 p.m. (0h UTC).

Para el caso de las estaciones de referencia, descarga los datos de hace 5 días atrás al día anterior “range(5,1,-1)”, ya que, en algunos casos, las estaciones no se actualizan diariamente en la página web de la agencia respectiva (Figura 3). Para las estaciones de volcanes, el script realiza la descarga del día anterior (a=1), ya que la disponibilidad de datos es casi constante (Figura 4).



```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Instituto Geofísico del Perú
4
5 Script to download GNSS reference stations
6 @author: Katherine Vargas
7 """
8
9 from datetime import date, timedelta
10 import os
11 import shutil
12 import requests
13 import subprocess
14
15 # Choose date ('a' specify how many days before today)
16 days_back = range(5, 1, -1) # Lista de días atrás que deseas incluir
17
18 class SessionWithHeaderRedirection(requests.Session):
19     AUTH_HOST = 'urs.earthdata.nasa.gov'
20
21     def __init__(self, username, password):
22         super().__init__()
23         self.auth = (username, password)
24
25     def rebuild_auth(self, prepared_request, response):
26         headers = prepared_request.headers
27         url = prepared_request.url
28
29         if 'Authorization' in headers:
30             original_parsed = requests.utils.urlparse(response.request.url)
31             redirect_parsed = requests.utils.urlparse(url)
32
33             if (original_parsed.hostname != redirect_parsed.hostname) and \
34                 redirect_parsed.hostname != self.AUTH_HOST and \
35                 original_parsed.hostname != self.AUTH_HOST:
36                 del headers['Authorization']
37         return
38
39
40 def download_file(url, station, username, password):
41     session = SessionWithHeaderRedirection(username, password)
42     response = session.get(url + station)
43     with open(station, "wb") as f_out:
44         f_out.write(response.content)
45     print('Downloaded ' + station)

```

Figura 3, Script para descarga de estaciones de referencia del Servicio Internacional de GNSS.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 Instituto Geofísico del Perú
4
5 Script to download and convert TC01 files (Ticsani volcano)
6 @author: Katherine Vargas
7
8
9 import multiprocessing
10 from ftplib import FTP
11 import ftplib
12 from datetime import date, timedelta
13 import os
14 #import schedule
15 import time
16 import subprocess
17 import gnsscal
18 import gzip
19 import shutil
20
21 #Choose date
22 a=1
23 today = date.today() - timedelta(a)
24
25 #Year
26 yyyy = today.strftime('%Y')
27 yy = today.strftime('%y')
28
29 #Month
30 mm = today.strftime('%m')
31
32 #Day
33 dd = today.strftime('%d')
34
35 #Day of the year
36 jjj = today.strftime('%j')
37
38 #Raw filename
39 fileName = '0172'+jjj+'0A.T02'
40 AA = '/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/raw/ticsani/tc01' + '/' + yyyy + '/' + fileName
41
42 #TGD filename
43 fileName1 = '0172'+jjj+'0A.tgd'
44 BB = '/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/raw/ticsani/tc01' + '/' + yyyy + '/' + fileName1
45 fileName2 = 'tc01'+jjj+'0.'+'yy'+'.o'
46 CC = '/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/rnx/ticsani/tc01' + '/' + yyyy + '/' + fileName2

```

Figura 4, Script para descarga de estación del volcán Ticsani TC01.

El proceso de descarga y conversión de datos ha sido automatizado mediante CRONTAB en Linux. La descarga de datos de las estaciones de referencia está programada para ejecutarse diariamente a las 3:00 a.m., utilizando los scripts referencia_igs.py y referencia_csn.py, que son ejecutados desde el bash denominado "reference" (Figura 5), que también genera un archivo de registro llamado reference.log, donde se almacena información detallada sobre la ejecución (flecha amarilla en Figura 6). Por otro lado, la descarga y conversión de datos GNSS de la red volcánica, se ejecuta diariamente a las 12:05 p.m. (flecha celeste en Figura 6).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

```

1 #!/bin/bash
2
3 source ~/.bashrc
4
5 export PATH=$PATH:usr/local/bin
6 export SHELL=/bin/bash
7 export SESSION_MANAGER=local/gamit:@/tmp/.ICE-unix/1445,unix/gamit:/tmp/.ICE-unix/1445
8 export HELP_DIR=/usr/local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/help
9 export PATH=/usr/local/isce/components/contrib/stack/topsStack:/usr/local/isce/bin:/usr/local/-
  isce/applications:/usr/local/isce/bin:/usr/local/isce/applications:/usr/local/sbin:/usr/local/-
  bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/snap/bin:/usr/local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/com:/usr/-
  local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/gamit/bin:/usr/local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/kf/bin
10
11
12 dirwk='/home/geofisico/automatic_gnss'
13
14 cd $dirwk
15
16 yesterday=$(date -d "yesterday" +"%Y %j")
17
18 yyyy=$(echo $yesterday | awk '{print $1}')
19
20 jjj=$(echo $yesterday | awk '{print $2}')
21
22 python3 referencia_csn.py
23 python3 referencia_igs.py

```

Figura 5, Script “reference” en bash para automatización de descarga de datos de estaciones de referencia GNSS.

```

# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
00 03 * * * bash -lc /home/geofisico/Music/reference > /home/geofisico/Music/reference.log 2>&1
45 12 * * * /usr/bin/python3 /home/geofisico/automatic_gnss/MS01_auto.py; /usr/bin/python3 /home/geofisico/automatic_g
50 12 * * * bash -lc /home/geofisico/Music/gamit > /home/geofisico/Music/gamit.log 2>&1

```

Figura 6, Programación en CRONTAB para la automatización de descarga y conversión de datos GNSS.

6.1.3 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),

Para el procesamiento automático, se ha consolidado las rutinas en el script de Python [sh_gamit.py](#) (Figura 7) para que realice el procesamiento del último dato disponible para cada estación GNSS (dato del día anterior

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

a=1), utilizando el archivo de la atmósfera c1pg (-ion c1pg). El procesamiento se realiza en la ruta [/home/geofísico/VOLCANES/*año*/](#)



```

1 #!/bin/bash
2 """
3 Instituto Geofísico del Perú
4
5 Script to process GNSS files
6 @author: Katherine Vargas
7 """
8
9 from datetime import date, timedelta
10 import os
11 import time
12 import subprocess
13
14
15 #Choose date
16 a=1
17 today = date.today() - timedelta(a)
18
19 #Year
20 yyyy = today.strftime('%Y')
21
22 #Day of the year
23 jjj = today.strftime('%j')
24
25
26 def sh_gamit():
27     args = 'sh_gamit -d ' + yyyy + ' ' + jjj + ' -expt peru -nopngs -orbit igsr -ion c1pg'
28     subprocess.call(args, shell=True)
29     print(args)
30 sh_gamit()

```

Figura 7, Script para procesamiento de datos GNSS.

Adicionalmente, se ha realizado la misma rutina en el script [sh_gamit_igrg.py](#), pero con los datos dos días atrás (a=2) para que realice el reprocesamiento usando el archivo de atmósfera igrg, el cual cuenta con datos más precisos que c1pg, pero que tiene dos días de retraso.

6.1.4 Generación de series de tiempo y catálogo de datos GNSS

Asimismo, se cuenta con el script [sh_glred.py](#) (Figura 8) que genera las coordenadas precisas desde el 1 de enero de 2024 hasta el día 365 del año actual, por lo que considera el último dato procesado, y lo reescribe en el mismo archivo para no ocupar mayor espacio de almacenamiento.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

```

sh_glred.py
~/VOLCANES/2025

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Instituto Geofísico del Perú
4
5 Script to generate GNSS time series
6 @author: Katherine Vargas
7 """
8
9 import multiprocessing
10 from ftplib import FTP
11 import ftplib
12 from datetime import date, timedelta
13 import os
14 #import schedule
15 import time
16 import subprocess
17 import gnsscal
18 import gzip
19 import shutil
20
21 #Choose date
22 a=1
23 today = date.today() - timedelta(a)
24
25 #Year
26 yyyy = today.strftime('%Y')
27 yy = today.strftime('%y')
28
29 #Month
30 mm = today.strftime('%m')
31
32 #Day
33 dd = today.strftime('%d')
34
35 #Day of the year
36 jjj = today.strftime('%j')
37
38 #GPS week
39 w=gnsscal.date2gpswd(today)
40 gweek = w[0]
41
42 def sh_glred():
43     args = 'sh_glred -s ' + '2024' + ' 001 ' + yyyy + ' 365 -expt peru -opt G H T'
44     subprocess.call(args, shell=True)
45     print(args)
46 sh_glred()

```

Figura 8, Script para generación de series de tiempo GNSS.

En caso se quiera correr de manera independiente cualquiera de estos scripts sin esperar la ejecución automática por crontab, solo se debe dirigir a la ruta del script, abrir un terminal y ejecutarlo con **python 3 "script"**. Por ejemplo, si se quiere ejecutar el procesamiento de datos GNSS del último día, en el terminal se debe correr la línea **python3 sh_gamit.py**.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.1.5 Actualización del catálogo

Por otro lado, el script [gps_copy2nas.py](#) (Figura 9) copia los resultados de las series de tiempo GNSS de volcanes, en formato *res, a la ruta adecuada en el almacenamiento NAS del CENVUL.

```

1 """
2 Instituto Geofísico del Perú
3
4 Script to copy *res data to NAS
5 Volcanoes: Misti, Ubinas, Sabancaya y Ticsani
6 Stations: MS01, MS02, UB01, UB02, SB01, SB02 y TC01
7
8 Author: Katherine Vargas
9 """
10
11 import shutil
12
13 #MS01
14 ms01_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.MS01.igp.orbit.res'
15 ms01_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.MS01.igp.orbit.res'
16 shutil.copyfile(ms01_orig, ms01_copy)
17
18 #UB01
19 ub01_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.UB01.igp.orbit.res'
20 ub01_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.UB01.igp.orbit.res'
21 shutil.copyfile(ub01_orig, ub01_copy)
22
23 #UB02
24 ub02_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.UB02.igp.orbit.res'
25 ub02_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.UB02.igp.orbit.res'
26 shutil.copyfile(ub02_orig, ub02_copy)
27
28 #SB01
29 sb01_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.SB01.igp.orbit.res'
30 sb01_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.SB01.igp.orbit.res'
31 shutil.copyfile(sb01_orig, sb01_copy)
32
33 #MS02
34 ms02_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.MS02.igp.orbit.res'
35 ms02_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.MS02.igp.orbit.res'
36 shutil.copyfile(ms02_orig, ms02_copy)
37
38 #SB02
39 sb02_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.SB02.igp.orbit.res'
40 sb02_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.SB02.igp.orbit.res'
41 shutil.copyfile(sb02_orig, sb02_copy)
42
43 #TC01
44 tc01_orig='/home/geofisico/VOLCANES/2025/gsoln/res_2024-001_2025-365/RATE.TC01.igp.orbit.res'
45 tc01_copy='/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.TC01.igp.orbit.res'
46 shutil.copyfile(tc01_orig, tc01_copy)

```

Figura 9, Script para copiar resultados GNSS a almacenamiento NAS.

Asimismo, el script [gps_2nas_format.py](#) (Figura 10) actualiza el catálogo de cada estación GNSS, en la ruta correspondiente de cada volcán

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

(X:\CENVUL\geodesia\resultados\gnss\\$volcán\\$estación.csv),
asimismo realiza el cambio de unidades de milímetros a centímetros.

```

Open  [v]  gps_2nas_format.py  Save  [≡]  -  □  ×
~/VOLCANES/2025

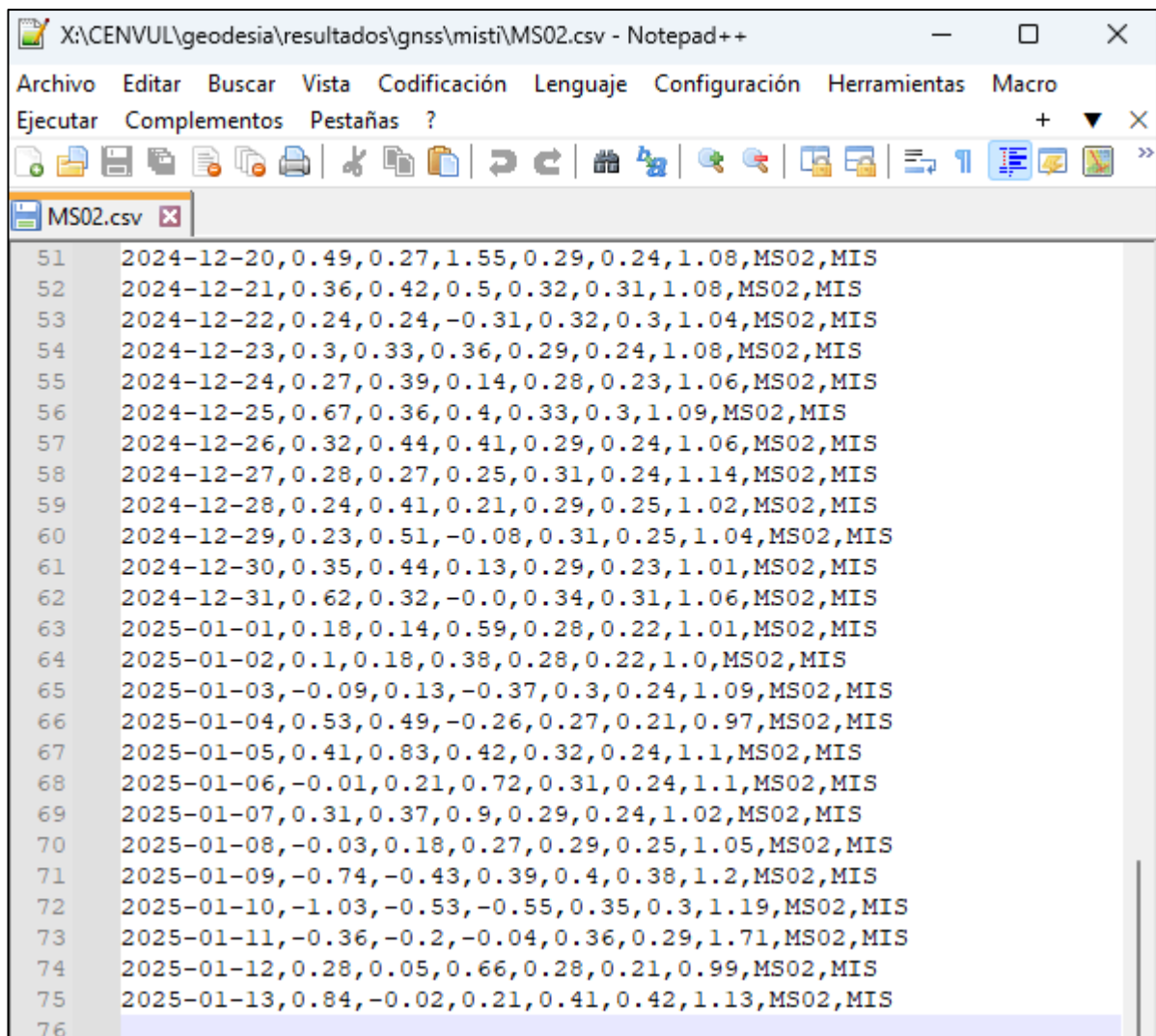
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Script para actualizar el catálogo GNSS de cada estación de volcanes
4
5 @author: Katherine Vargas
6 """
7
8 import csv
9 import re
10
11 # Definir los nombres de los archivos
12 input_file = '/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/data/gnss/RATE.MS01.igp.orbit.res'
13 output_file = '/media/CENVUL2/CENVUL/geodesia/resultados/gnss/misti/MS01.csv'
14
15 # Función para limpiar espacios en las columnas y dividir las correctamente
16 def split_row(row):
17     # Usar una expresión regular para dividir por uno o más espacios
18     return re.split(r'\s+', row.strip())
19
20 # Función para redondear y formatear los valores
21 def format_value(value, decimals=2):
22     return round(float(value) / 10, decimals)
23
24 # Leer las primeras 1697 filas del archivo de salida existente, si existe
25 existing_data = []
26 try:
27     with open(output_file, 'r', newline='') as outfile:
28         reader = csv.reader(outfile, delimiter=',')
29         for i, row in enumerate(reader):
30             if i < 1697:
31                 existing_data.append(row)
32             else:
33                 break
34 except FileNotFoundError:
35     # Si el archivo no existe, inicializar existing_data con el encabezado
36     existing_data = []
37
38 # Inicializar la lista de nuevos datos
39 new_data = []
40
41 # Abrir el archivo de entrada para lectura
42 with open(input_file, 'r', newline='') as infile:
43     # Leer todas las líneas del archivo
44     lines = infile.readlines()
45
46     # Procesar cada línea después de las primeras 15 líneas
47     for line in lines[15:]:

```

Figura 10, Script para actualizar catálogo de cada estación GNSS.

Cada catálogo es actualizado con los resultados obtenidos con la generación de las series de tiempo, desde el 1 de enero de 2024 hasta el día anterior. El catálogo incluye nueve columnas separadas por comas (*csv): fecha, desplazamiento en este, desplazamiento en norte, desplazamiento en vertical, error en este, error en norte, error en vertical, código de estación, código del volcán (Figura 11).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



51	2024-12-20,0.49,0.27,1.55,0.29,0.24,1.08,MS02,MIS
52	2024-12-21,0.36,0.42,0.5,0.32,0.31,1.08,MS02,MIS
53	2024-12-22,0.24,0.24,-0.31,0.32,0.3,1.04,MS02,MIS
54	2024-12-23,0.3,0.33,0.36,0.29,0.24,1.08,MS02,MIS
55	2024-12-24,0.27,0.39,0.14,0.28,0.23,1.06,MS02,MIS
56	2024-12-25,0.67,0.36,0.4,0.33,0.3,1.09,MS02,MIS
57	2024-12-26,0.32,0.44,0.41,0.29,0.24,1.06,MS02,MIS
58	2024-12-27,0.28,0.27,0.25,0.31,0.24,1.14,MS02,MIS
59	2024-12-28,0.24,0.41,0.21,0.29,0.25,1.02,MS02,MIS
60	2024-12-29,0.23,0.51,-0.08,0.31,0.25,1.04,MS02,MIS
61	2024-12-30,0.35,0.44,0.13,0.29,0.23,1.01,MS02,MIS
62	2024-12-31,0.62,0.32,-0.0,0.34,0.31,1.06,MS02,MIS
63	2025-01-01,0.18,0.14,0.59,0.28,0.22,1.01,MS02,MIS
64	2025-01-02,0.1,0.18,0.38,0.28,0.22,1.0,MS02,MIS
65	2025-01-03,-0.09,0.13,-0.37,0.3,0.24,1.09,MS02,MIS
66	2025-01-04,0.53,0.49,-0.26,0.27,0.21,0.97,MS02,MIS
67	2025-01-05,0.41,0.83,0.42,0.32,0.24,1.1,MS02,MIS
68	2025-01-06,-0.01,0.21,0.72,0.31,0.24,1.1,MS02,MIS
69	2025-01-07,0.31,0.37,0.9,0.29,0.24,1.02,MS02,MIS
70	2025-01-08,-0.03,0.18,0.27,0.29,0.25,1.05,MS02,MIS
71	2025-01-09,-0.74,-0.43,0.39,0.4,0.38,1.2,MS02,MIS
72	2025-01-10,-1.03,-0.53,-0.55,0.35,0.3,1.19,MS02,MIS
73	2025-01-11,-0.36,-0.2,-0.04,0.36,0.29,1.71,MS02,MIS
74	2025-01-12,0.28,0.05,0.66,0.28,0.21,0.99,MS02,MIS
75	2025-01-13,0.84,-0.02,0.21,0.41,0.42,1.13,MS02,MIS
76	

Figura 11, Catálogo de estación GNSS MS01 del volcán Misti.

6.1.6 Automatización de procesamiento y generación de series de tiempo de deformación

Al igual que la descarga y conversión de datos GNSS, las rutinas del procesamiento, generación de series de tiempo y actualización de catálogos GNSS, han sido automatizadas mediante CRONTAB en Linux. Las rutinas se ejecutan diariamente a las 12:50 p.m. (una vez que ya se cuenta con las efemérides rápidas para el procesamiento), utilizando los scripts descritos en los puntos 6.1.2, 6.1.3 y 6.1.4, que son ejecutados desde el bash denominado "gamit" (Figura 12), que también genera un archivo de registro llamado gamit.log, donde se almacena información detallada sobre la ejecución (flecha naranja en Figura 13).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

```

43 export XDG_SESSION_CLASS=user
44 export PYTHONPATH=/usr/local:/usr/local/isce/applications:/usr/local/isce/components
45 export TERM=xterm-256color
46 export LC_IDENTIFICATION=en_US.UTF-8
47 export DEFAULTS_PATH=/usr/share/gconf/ubuntu.default.path
48 export LESSOPEN=| /usr/bin/lesspipe %s
49 export USER=geofisico
50 export GNOME_TERMINAL_SERVICE=:1.83
51 export DISPLAY=:0
52 export SHLVL=1
53 export LC_TELEPHONE=en_US.UTF-8
54 export QT_IM_MODULE=ibus
55 export LC_MEASUREMENT=en_US.UTF-8
56 export PAPER_SIZE=letter
57 export XDG_RUNTIME_DIR=/run/user/1000
58 export LC_TIME=en_US.UTF-8
59 export JOURNAL_STREAM=8:43769
60 export XDG_DATA_DIRS=/usr/share/ubuntu:/usr/local/share:/usr/share:/var/lib/snapd/desktop
61 export PATH=/usr/local/isce/components/contrib/stack/topsStack:/usr/local/isce/bin:/usr/local/
  isce/applications:/usr/local/isce/bin:/usr/local/isce/applications:/usr/local/sbin:/usr/local/
  bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/snap/bin:/usr/local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/com:/usr/
  local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/gamit/bin:/usr/local/geodesy/gamit/gamit10.71_23/kf/bin
62 export GDMSESSION=ubuntu
63 export DBUS_SESSION_BUS_ADDRESS=unix:path=/run/user/1000/bus
64 export LC_NUMERIC=en_US.UTF-8
65 export _=/usr/bin/env
66
67 yesterday=$(date -d "yesterday" +"%Y %j")
68
69 yyyy=$(echo $yesterday | awk '{print $1}')
70
71 jjj=$(echo $yesterday | awk '{print $2}')
72
73 dirwk="/home/geofisico/VOLCANES/${yyyy}"
74
75 cd $dirwk
76
77 python3 sh_gamit_igrg.py
78
79 python3 sh_gamit.py
80
81 python3 sh_glred.py
82
83 python3 gps_copy2nas.py
84
85 python3 gps_2nas_format.py
86

```

Figura 12, Script “gamit” en bash para automatización de procesamiento, generación de series de tiempo y actualización de catálogos GNSS.

```

# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
00 03 * * * bash -lc /home/geofisico/Music/reference > /home/geofisico/Music/reference.log 2>&1
45 12 * * * /usr/bin/python3 /home/geofisico/automatic_gnss/MS01_auto.py; /usr/bin/python3 /home/geofisico/automatic_gnss/MS02_
50 12 * * * bash -lc /home/geofisico/Music/gamit > /home/geofisico/Music/gamit.log 2>&1

```

Figura 13, Programación en CRONTAB para automatización de procesamiento, generación de series de tiempo y actualización de catálogos GNSS.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.1.7 Gráficas y base de datos estructurada y automatizada

Una vez que el operador ha verificado que todos los procesos han sido culminados satisfactoriamente, en otro script de Python ([gps_gráficos.py](#)) se cuenta con las rutinas para generar gráficos de las series de tiempo de deformación a partir de los catálogos actualizados (Figura 14), dos gráficos por cada estación GNSS: para 1 año y 2 meses a partir de la fecha actual.

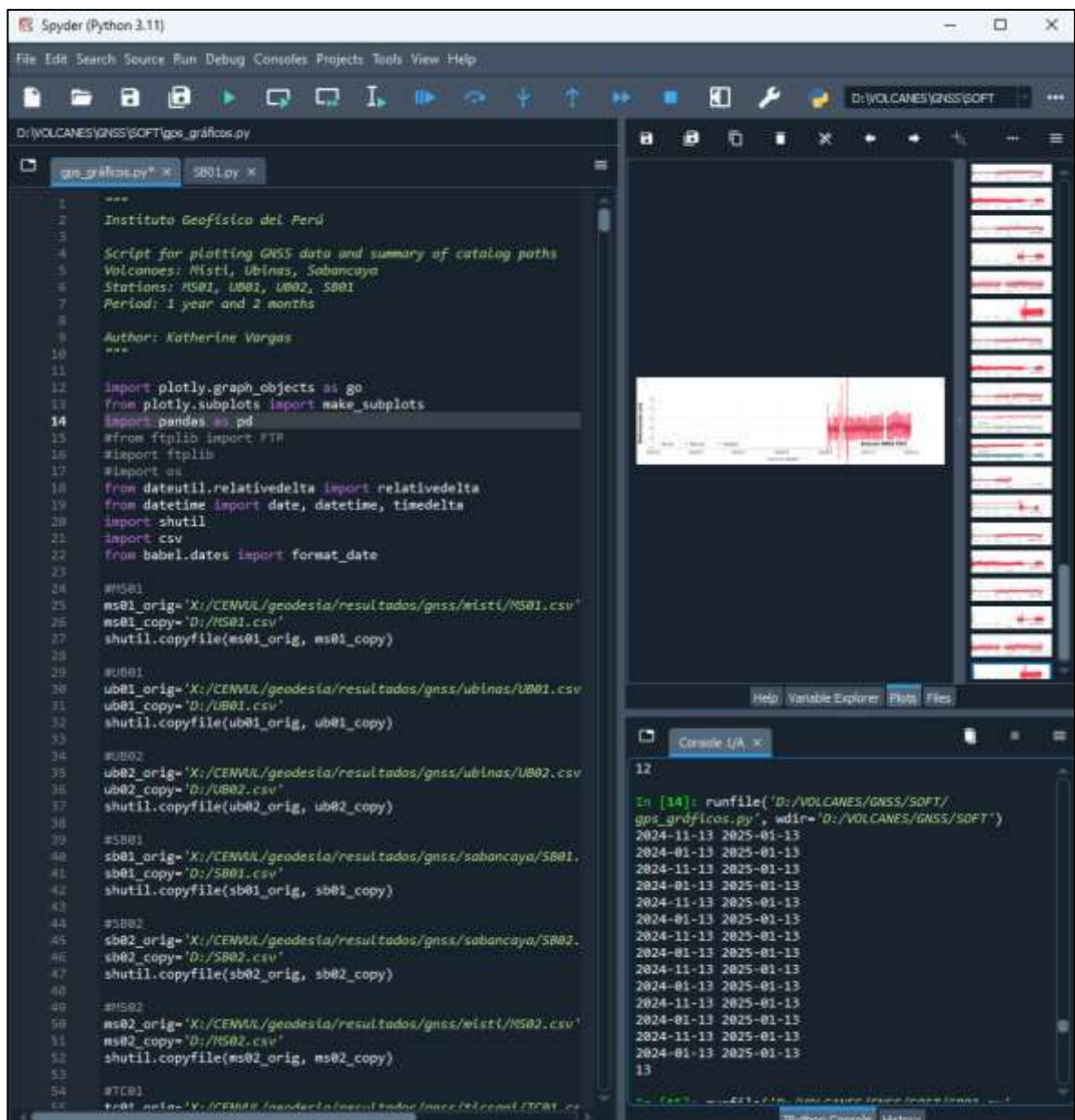


Figura 14, Script para plotear las series de tiempo de datos GNSS y obtener el resumen de los cambios en la componente elevación de cada estación GNSS.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Este mismo script organiza todos los datos en el archivo REPORTE.txt con la diferencia de las últimas 24 horas en la componente elevación de cada estación GNSS de volcanes y, el nombre de los gráficos generados (Figura 15).

REPORTE.txt	
1	Número, Fecha, MS01, UB01, SB01, MS02, TC01, SOFTWARE, LAÑO_MS01, 2MES_MS01, LAÑO_UB01, 2MES_UB01, LAÑO_SB01, 2MES_SB01, LAÑO_SBC
2	001, 1 de enero de 2025, -0.47, -0.38, -0.28, -0.63, #N/A, -0.13, +0.22, GAMIT, misti_gpe001.png, misti_gpe_2m001.png, ubinas_gpe001.png,
3	002, 2 de enero de 2025, -0.49, +0.04, -0.08, -0.06, #N/A, -0.67, +0.00, GAMIT, misti_gpe002.png, misti_gpe_2m002.png, ubinas_gpe002.png,
4	003, 3 de enero de 2025, +0.16, -0.19, -0.16, -0.90, #N/A, +0.90, -0.63, GAMIT, misti_gpe003.png, misti_gpe_2m003.png, ubinas_gpe003.png,
5	004, 4 de enero de 2025, +0.86, +0.22, -0.97, -1.33, #N/A, -0.01, -0.13, GAMIT, misti_gpe004.png, misti_gpe_2m004.png, ubinas_gpe004.png,
6	005, 5 de enero de 2025, +0.16, -0.24, -0.34, +0.35, #N/A, -0.87, +1.11, GAMIT, misti_gpe005.png, misti_gpe_2m005.png, ubinas_gpe005.png,
7	006, 6 de enero de 2025, +0.05, +0.18, -0.27, +0.44, #N/A, +1.27, -0.20, GAMIT, misti_gpe006.png, misti_gpe_2m006.png, ubinas_gpe006.png,
8	007, 7 de enero de 2025, -0.78, -0.90, +0.22, -0.01, #N/A, -1.04, -0.64, GAMIT, misti_gpe007.png, misti_gpe_2m007.png, ubinas_gpe007.png,
9	008, 8 de enero de 2025, -0.27, +0.43, -0.31, -0.96, #N/A, +0.30, -1.33, GAMIT, misti_gpe008.png, misti_gpe_2m008.png, ubinas_gpe008.png,
10	009, 9 de enero de 2025, +0.19, -0.58, -0.13, +1.34, #N/A, -0.32, +0.53, GAMIT, misti_gpe009.png, misti_gpe_2m009.png, ubinas_gpe009.png,
11	010, 10 de enero de 2025, -0.88, -0.33, -0.67, -0.99, #N/A, -0.68, +0.85, GAMIT, misti_gpe010.png, misti_gpe_2m010.png, ubinas_gpe010.png,
12	011, 11 de enero de 2025, +0.03, -0.75, -0.18, -1.03, #N/A, -0.94, +0.12, GAMIT, misti_gpe011.png, misti_gpe_2m011.png, ubinas_gpe011.png,
13	012, 12 de enero de 2025, -0.27, +0.53, +0.55, +1.12, #N/A, +0.32, +0.22, GAMIT, misti_gpe012.png, misti_gpe_2m012.png, ubinas_gpe012.png,
14	013, 13 de enero de 2025, +0.91, +0.44, -0.15, +0.49, #N/A, +0.71, +0.18, GAMIT, misti_gpe013.png, misti_gpe_2m013.png, ubinas_gpe013.png,
15	

Figura 15, Resumen de rutas de catálogos.

Estos catálogos al encontrarse en el NAS, pueden ser también consultados desde el dashboard interno de monitoreo de CENVUL, para visualizar las series de tiempo respectivas.

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 16. El software debe estar configurado de acuerdo a la VPN del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

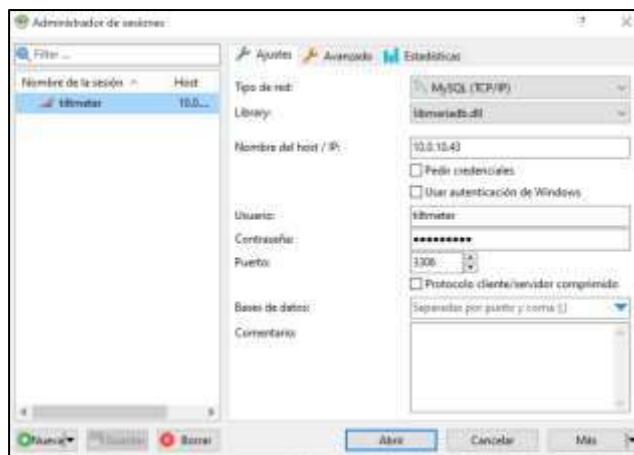


Figura 16.- Configuración del software HeidiSQL.

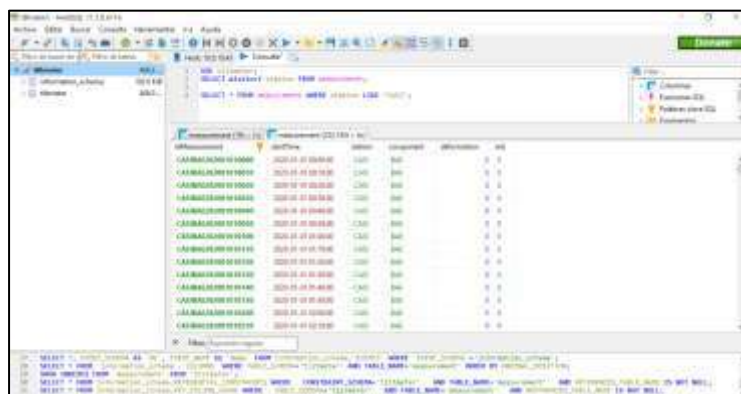
Una vez completa las configuraciones, se realiza la solicitud de datos de acuerdo a la fecha, estación y periodo de registro. A continuación, un ejemplo de cómo se debe realizar la solicitud:

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 17.



station	start-time	component	inclination
CASI	2023-01-01 00:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 01:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 02:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 03:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 04:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 05:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 06:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 07:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 08:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 09:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 10:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 11:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 12:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 13:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 14:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 15:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 16:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 17:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 18:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 19:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 20:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 21:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 22:00:00	1	0.0
CASI	2023-01-01 23:00:00	1	0.0

Figura 17.- Presentación de datos de inclinómetros.

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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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

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

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

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 18):



Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory			
AUQ1_Def.png	2021-08-06 11:51	117K	
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	
CASI_Def.png	2021-08-06 11:51	29K	
CASI_Off.png	2021-08-06 11:51	22K	
CASI_Def.png	2021-08-06 11:51	73K	
CASI_HisDef.png	2021-08-06 02:02	62K	
CASI_HisOff.png	2021-08-06 02:02	61K	
CASI_HisSma.png	2021-08-06 02:02	67K	
CASI_Off.png	2021-08-06 11:51	67K	
CASI_Sma.png	2021-08-06 11:51	52K	
CHAI_Def.png	2021-08-06 11:51	29K	
CHAI_Off.png	2021-08-06 11:51	22K	

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Figura 18.- 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 19, 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).

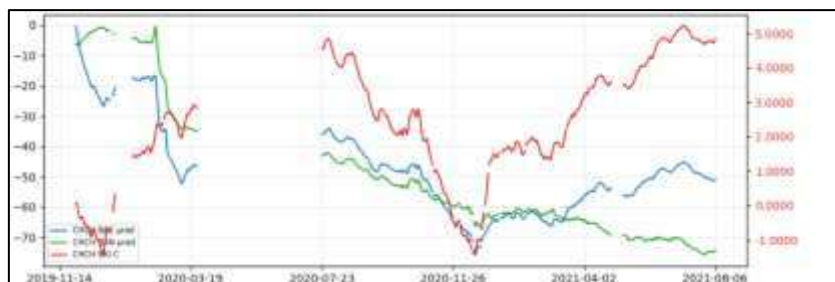


Figura 189- Datos de inclinómetro CHCH

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 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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 20):

- 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.

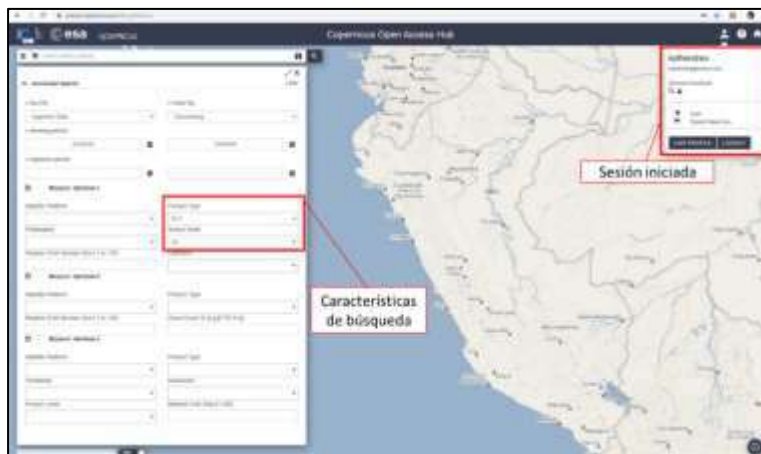


Figura 20.- Búsqueda de imágenes en la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA)

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 21). Sólo se puede descargar dos imágenes al mismo tiempo.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

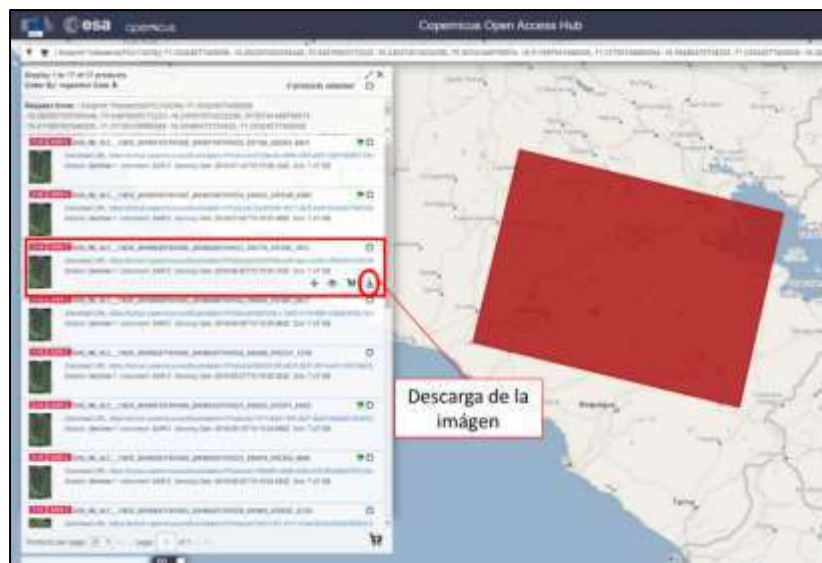


Figura 21.- Descarga de imágenes Sentinel 1 en la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA).

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 Fournelis (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 icono  del software SNAP, encerrado en color rojo en la Figura 22. 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

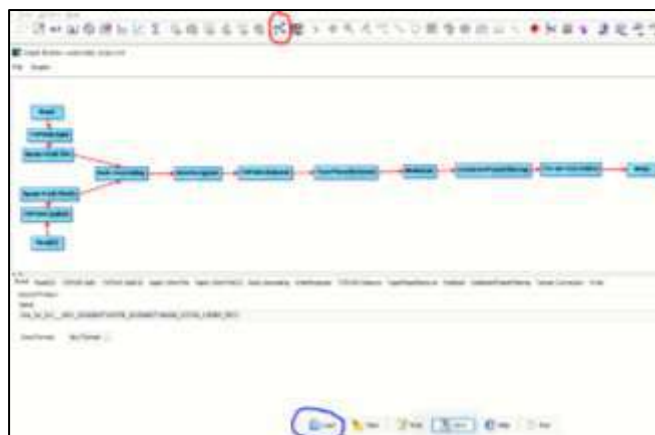


Figura 22.- Automatización de procesamiento en software SNAP

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 23, 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 → Filetring → Goldstein Phase Filtering
- Geometric → Terrain Correction → Range-Doppler Terrain Correction

Con el producto del último paso, se abre tal como está indicado en la Figura18, haciendo doble clic en *Phase*.

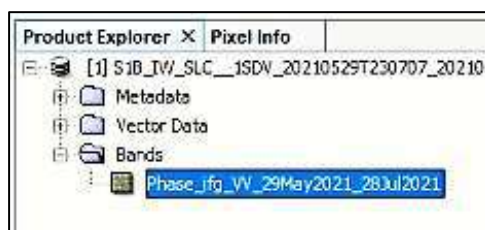


Figura 23.- Archivo Phase que contiene el interferograma.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 24) o levantamiento del terreno. Cada franja completa representa una deformación de 2.8 cm para imágenes Sentinel 1.

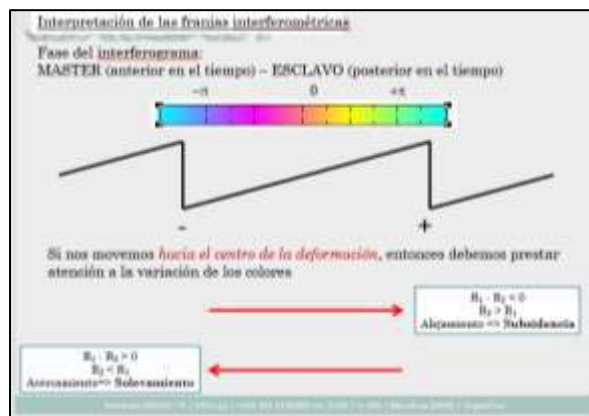


Figura 24.- Esquema del criterio usado para la interpretación de interferogramas obtenidos luego del procesamiento.

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

El análisis de las series de tiempo de deformación se centra en la identificación de tendencias. Cuando se observa una inflación sostenida durante más de diez días consecutivos —y no únicamente un salto aislado en un día específico—, podría tratarse de un aporte magmático que está deformando el terreno, lo que indicaría el inicio de un nuevo proceso eruptivo.

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	Código: MU N° 002-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

VII. BIBLIOGRAFIA

- Fournelis, 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003- 2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 003-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES

Versión 02

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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
02	05/09/2025	2. Se modifica en redacción y contenido
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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 de la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (OTIC) o la Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) si hubiera algún problema.

VI. SISTEMAS DE MONITOREO SATELITAL

6.1 Middle InfraRed Observations of Volcanic Activity (MIROVA)

MIROVA es un sistema espacial automatizado de detección de puntos calientes volcánicos, siendo un proyecto colaborativo entre las Universidades de Turín y Florencia, Italia (Coppola et al., 2015). Está desarrollado para funcionar en tiempo casi real (NRT). Originalmente, se basaba en el análisis de imágenes adquiridas por el sensor MODIS. Actualmente, integra el análisis de imágenes adquiridas por múltiples sensores y procesados mediante diferentes algoritmos.

El sensor MODIS se transporta en dos satélites de la NASA (Terra y Aqua), adquiere imágenes en las bandas infrarrojo medio (MIR a 3,959 μm) y del infrarrojo térmico (TIR a 12,02 μm) (Coppola et al, 2020), con una resolución aproximada de 1 km, y combina análisis espectral y espacial para detectar la presencia de puntos calientes a través de subpíxeles.

El sensor VIIRS se transporta a bordo de dos satélites (Suomi-NPP y JPSS-1), adquiere imágenes en las bandas infrarrojo medio (MIR) y del infrarrojo térmico (TIR), con una resolución aproximada de 750 m (375 m para las bandas de imágenes) (Campus et al., 2022).

El sensor MSI se transporta a bordo de dos satélites (Sentinel 2A y Sentinel 2B), adquiere imágenes en las regiones del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

onda corta (SWIR), con una resolución aproximada de 20 m (Massimetti et al, 2020).

El sensor OLI, utilizado anteriormente para la detección de incendios, se transporta a bordo del satélite Landsat 8, adquiere imágenes en las regiones del infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), con una resolución aproximada de 30 m (Massimetti et al., 2020).

El método MIR se utiliza para cuantificar el VRP (potencia radiativa volcánica, en vatios), que es una medida combinada del área y la temperatura de radiación de la fuente volcánica caliente (Wooster et al., 2003). Es importante saber que la aplicación del método MIR en puntos calientes de origen volcánico representa el flujo térmico radiado exclusivamente desde las superficies con $T > 500\text{ K}$ y devuelve el VRP con un error de $\pm 30\%$ (Coopola et al., 2020).

MIROVA puede detectar anomalías térmicas con un VRP que abarca desde menos de 1 MW hasta aproximadamente 50 GW. Con una resolución temporal de 4 imágenes por día (2 de noche y 2 de día), 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, los cuales se encuentran procesados en horas UTC.

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/NRT/index.php>

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).

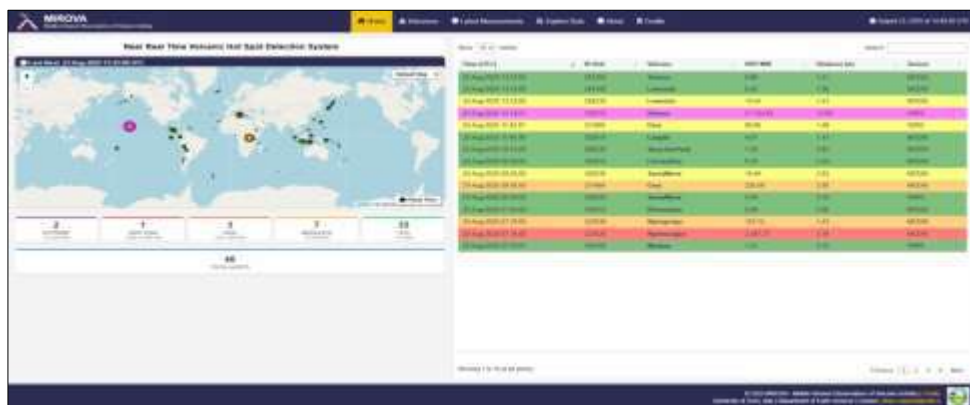


Figura 1.- Instantánea de la página de inicio del sitio web de MIROVA (<https://www.mirovaweb.it/NRT/index.php>; consultado el 23 de Agosto de 2025).

Con el fin de identificar rápidamente la "magnitud térmica" del punto de acceso enumerado en la tabla mostrada, cada detección se representa a

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

través de una escala de colores proporcional al logaritmo del VRP detectado. Esta escala se divide en cinco niveles distintos, los cuales se muestran en la parte inferior del mapa mundial y cada detección térmica se clasifica según el VRP registrado (Figura 1).

En la parte superior también se puede observar distintos items, entre los cuales se encuentran, "Volcanes" el cual te redirige a todos los volcanes monitoreados por la plataforma, "Últimas Mediciones" el cual te redirige a una tabla general de todas las anomalías detectadas por cada sensor, la cual es actualizada cada 5 minutos apróx., "Explorar Data" es una versión de prueba preliminar que sera publicada próximamente, "Acerca de" te brinda más información de la plataforma y "Créditos". A su vez en la parte superior derecha se puede observar la fecha y hora UTC.

El mapa interactivo y la tabla llevan al usuario a la página dedicada a cada volcán. Los resultados consisten en las "Imágenes IR más recientes", "Serie de tiempo VRP", "Máxima distancia" 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 de los distintos sensores 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 (nubes/geometría), sino que simplemente representan una medición de la radiación térmica detectada por el sensor.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

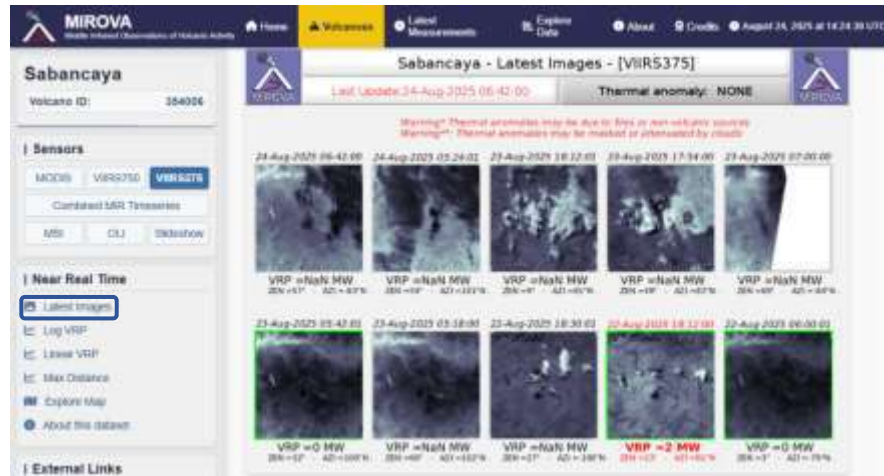


Figura 2.- Instantánea de la visualización de las últimas imágenes IR publicadas en el sitio web de MIROVA para el volcán Ubinas, Perú (consultado el 24 de agosto del 2025).

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 de los sensores (Figura 3, panel superior e inferior, respectivamente). Cada barra representa una única detección con una distinción entre anomalías proximales (los puntos calientes ubicados a menos de 5 km de la cumbre representados por barras rojas) y distales (los puntos calientes lejanos ubicados a más de 5 km de la cumbre, representados por barras negras). En el caso del sensor VIIRS375, considera en sus gráficas valores VRP detectados por el sensor VIIRS750 (puntos representados por barras con un cuadrado).

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 "Linear VRP" en el menú de la izquierda) para visualizar mejor los cambios de intensidad reales en la actividad térmica.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

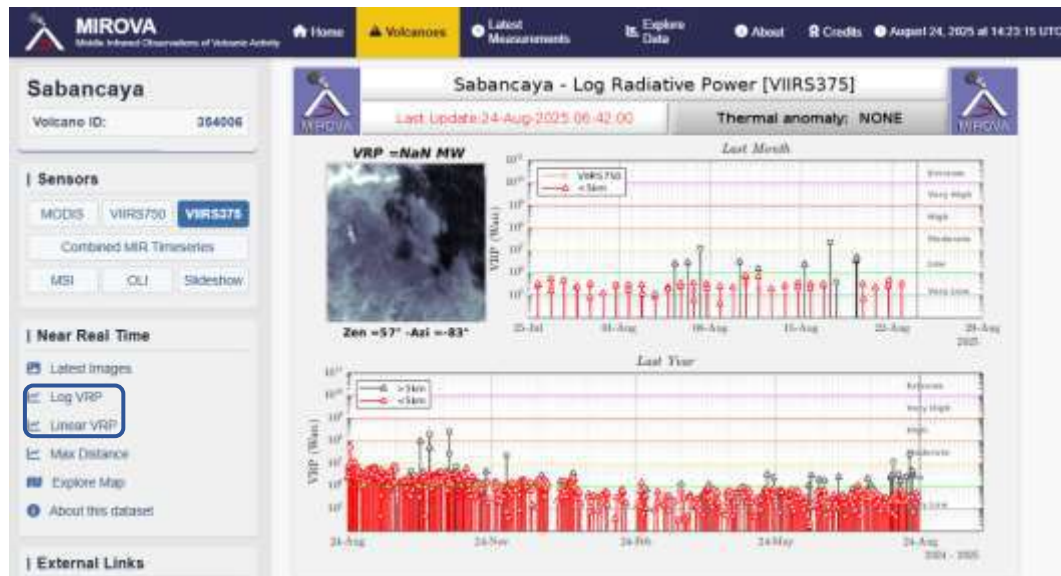


Figura 3.- Imagen de la pantalla "Registro de potencia de radiancia" publicada en el sitio web de MIROVA para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 24 de agosto del 2025).

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). Cada barra representa una única detección con una distinción entre anomalías proximales (los puntos calientes ubicados a menos de 5 km de la cumbre representados por barras rojas) y distales (los puntos calientes lejanos ubicados a más de 5 km de la cumbre, representados por barras negras). Este gráfico tiene dos propósitos: (1) identificar desplazamientos graduales de la anomalía térmica, y (2) detectar cambios repentinos en la ubicación del punto caliente.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

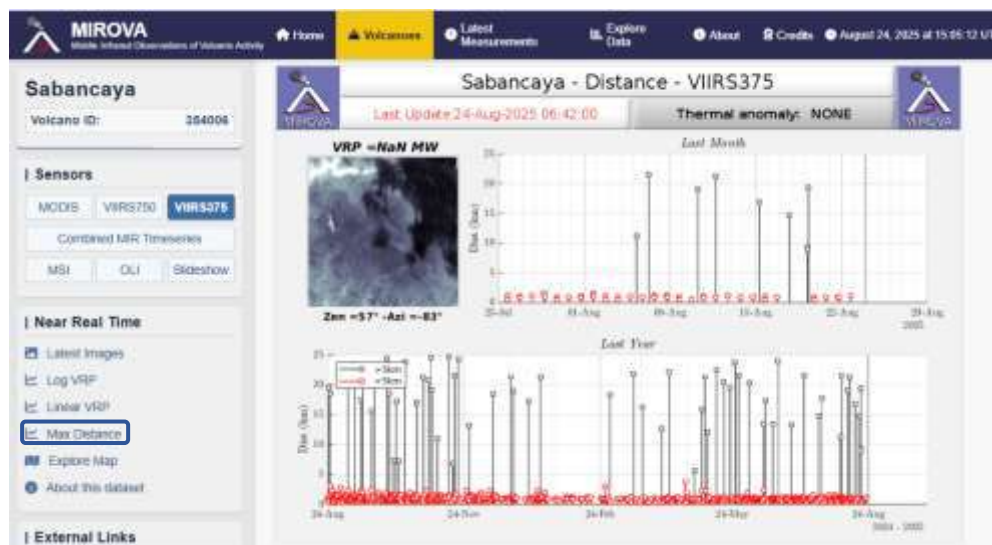
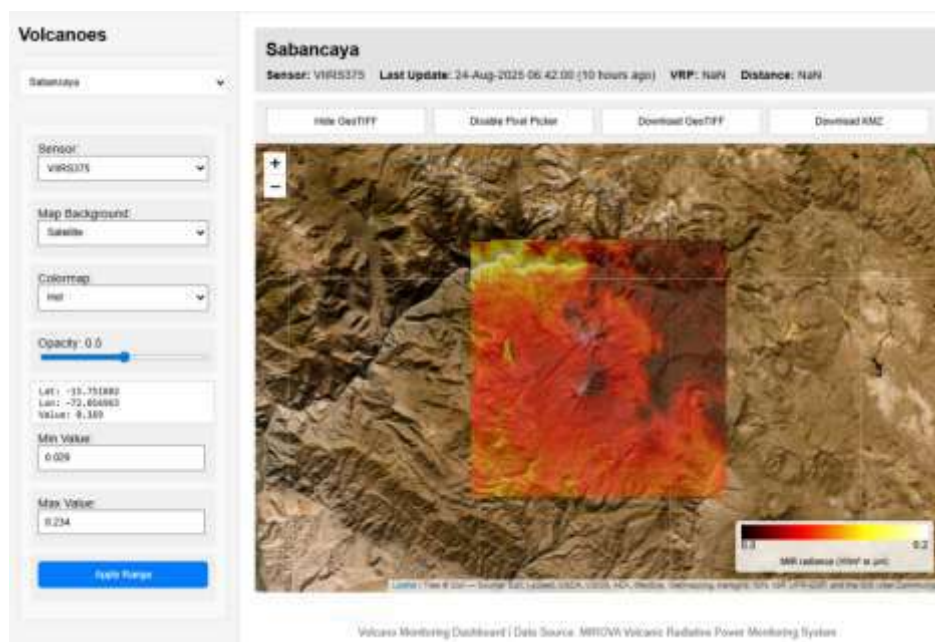


Figura 4.- Imagen del sistema MIROVA que muestra la cifra de "Distancia desde el cráter" para el volcán Sabancaya, Perú (consultado el 24 de agosto del 2025).

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 verificar si dicha anomalía térmica está asociada o no a un incendio forestal. De esta opción también se puede obtener datos como latitud, longitud y el valor de la anomalía (botón superior "Pick Pixel Values") estos datos se muestran en la parte izquierda inferior después de activar el botón, también hay opciones como la descarga del archivo para ejecutarlo en el programa de Google Earth (botón superior "Download KMZ"). En la parte izquierda también se puede variar la opacidad de la imagen térmica y a su vez se puede cambiar de sensor si es necesario.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



*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 24 de agosto del 2025).*

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:** Gracias a la nueva actualización y aumento de sensores del sistema MIROVA, se aumento la resolución espacial para localizar las fuentes eruptivas con una mayor precisión, lo cual esta resolución va resultar ser suficiente para discriminar entre las anomalías presentadas 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 (Himawari).
- 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 (“Satellite Imagery”) 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

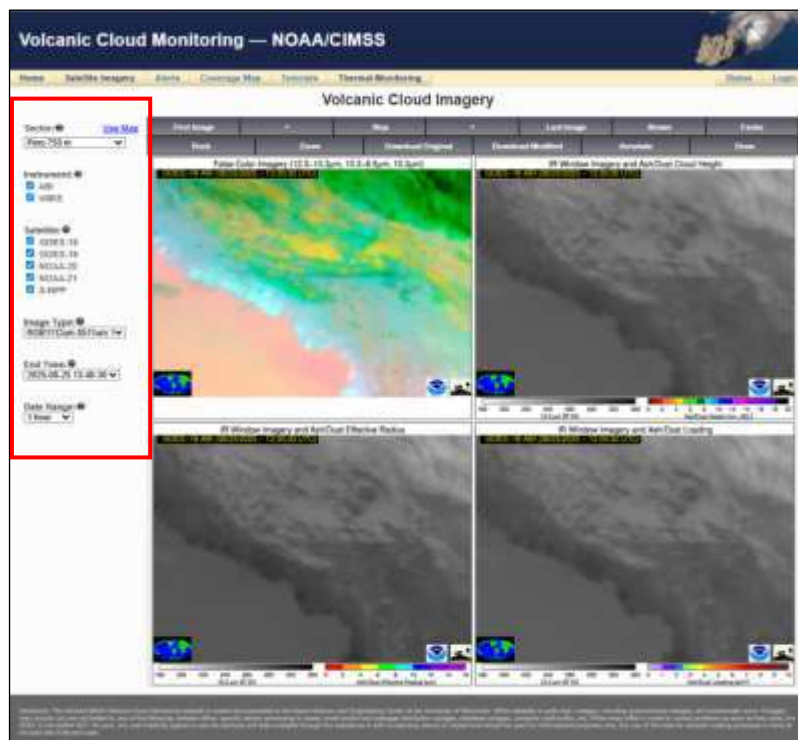


Figura 6.- Instantánea del archivo de Imágenes de nubes volcánicas del sitio web de NOAA/CIMSS correspondiente al Sur del Perú (consultado el 25 de agosto del 2025).

6.2.2 Monitoreo térmico

Accediendo a la última ventana (“Thermal Monitoring”) 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 (consultado el 25 de agosto del 2025).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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/>



Figura 8.- Instantánea del sitio web SLIDER (Satellite Loop Interactive Data Explorer in Real Time) (consultado el 25 de agosto del 2025).

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).
- 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- 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.

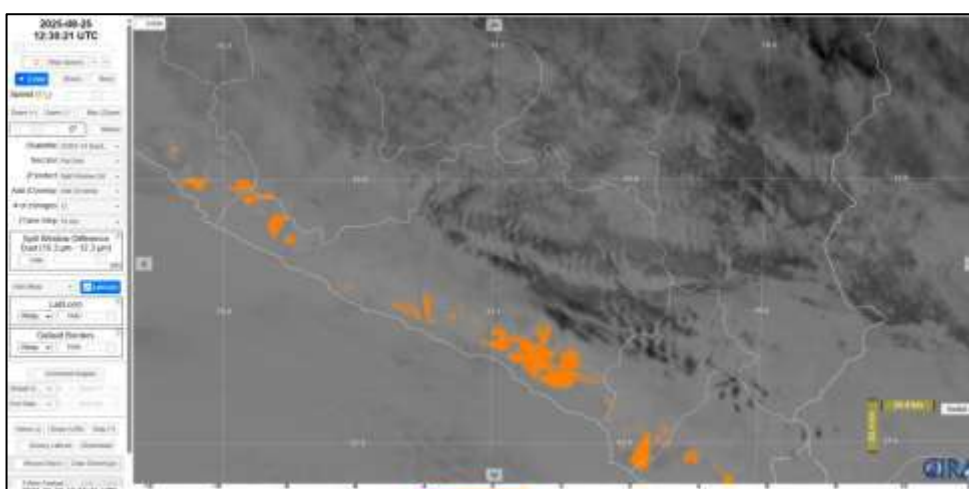


Figura 9.- Instantánea del sitio web SLIDER (Satellite Loop Interactive Data Explorer in Real Time), menú de ajustes para la visualización (consultado el 25 de agosto del 2025).

6.4 VOLCANOMS (Volcanic Anomalies Monitoring System)

Es un sistema creado con el código abierto PythonTM; 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 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 (Fig. 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 (Fig.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

10B). Se puede acceder desde la siguiente página web: <http://volcanoms.ckelar.org/>

Desde la ventana (Fig. 10B) 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. 10C); (2) mapa de ubicación (Fig. 10C); (3) galería de fotos (Fig. 10C); (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. 10D); y (5) una tabla con la base de datos completa, que incluye todos los parámetros térmicos (Fig.10E). 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.

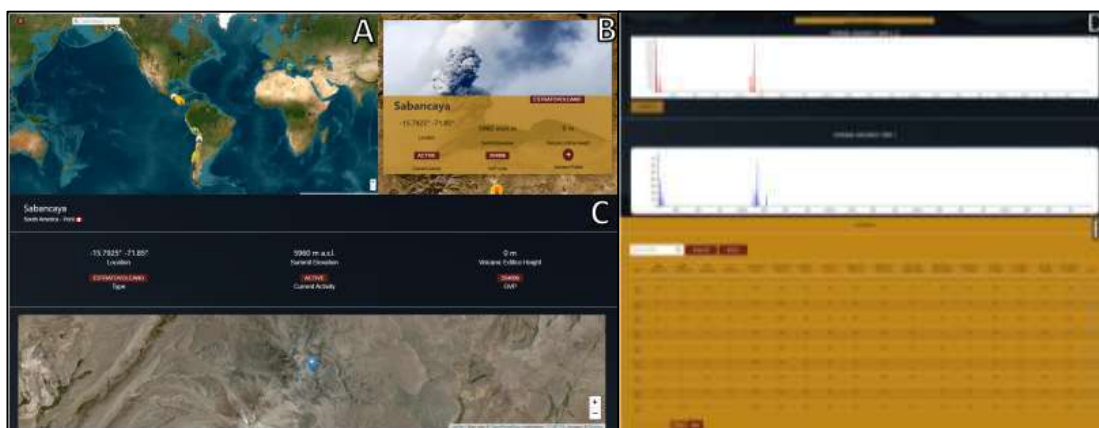


Figura 10.- Página web pública del Sistema de Monitoreo de Anomalías Volcánicas (VOLCANOMS) correspondiente al volcán Sabancaya. (A y B) Información general del volcán. (C) Sección gráfica. (D) Sección de base de datos. (E) Tabla de base de datos (consultado el 25 de agosto del 2025).

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 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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

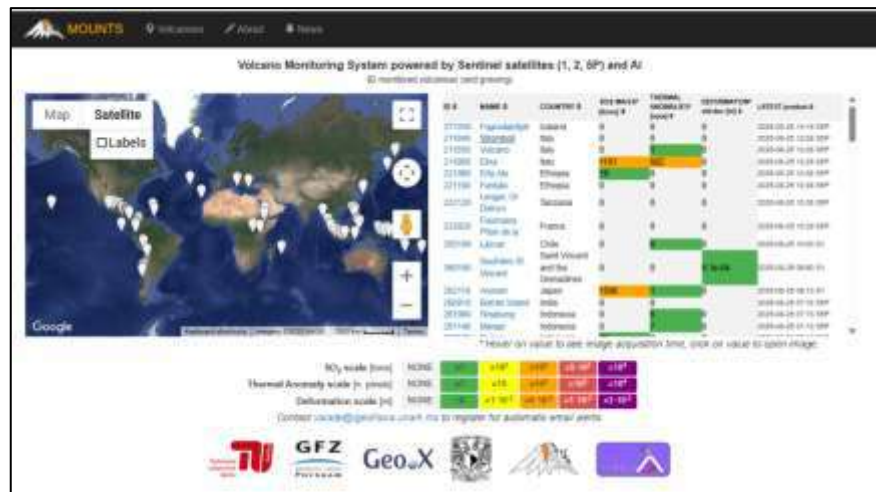


Figura 11.- Página web pública del Sistema de MOUNTS (Monitoring Unrest from Space) pagina de inicio (consultado el 25 de agosto del 2025).

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 12). 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,

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 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.

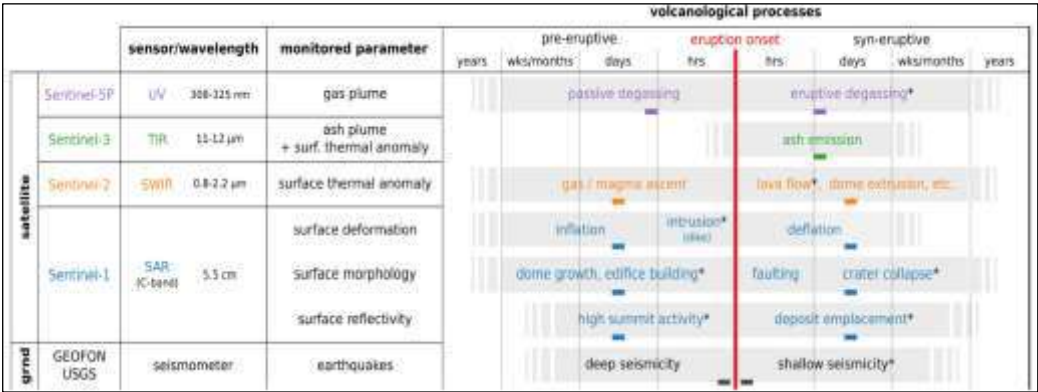


Figura 12.- Utilidad de diferentes tipos de sensores, tanto espaciales como terrestres, utilizados por MOUNTS para monitorear los procesos volcánicos. La ocurrencia de estos puede variar fuertemente de un volcán a otro y por lo tanto los tiempos reportados se dan de manera indicativa.

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 13 y 14):

- (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 de MOUNTS. El diseño

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

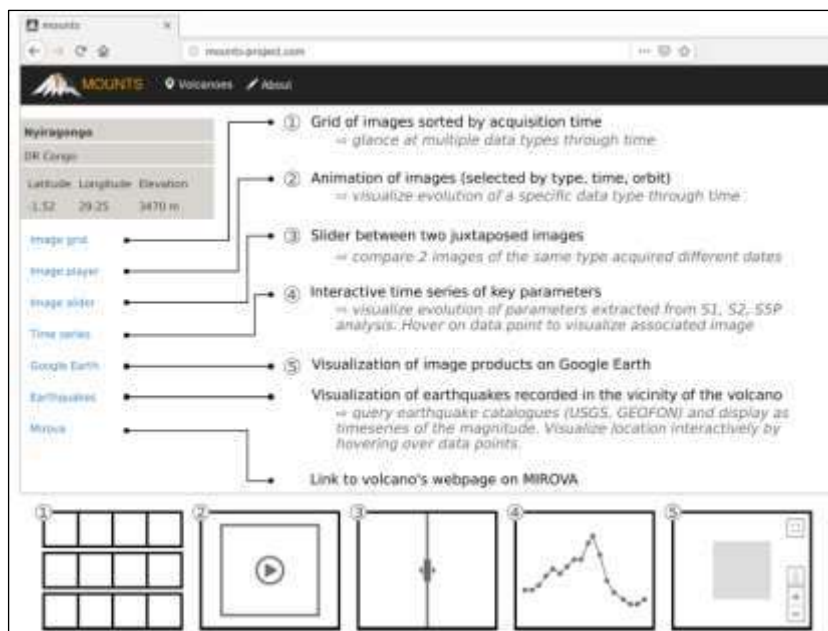


Figura 13.- Descripción del contenido del menú de la pagina web MOUNTS.

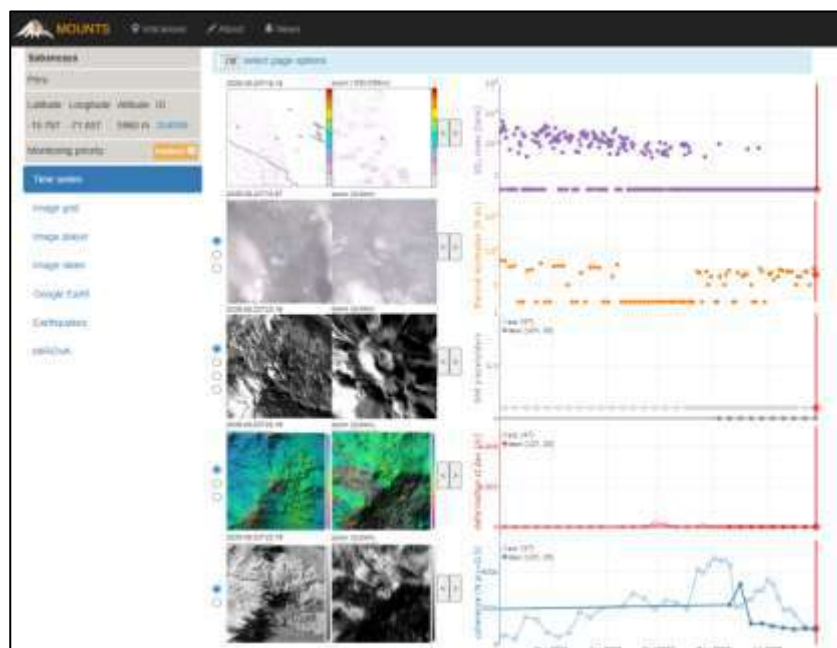


Figura 14.- Página web pública de la plataforma Monitoring Unrest from Space (MOUNTS) correspondiente a las series de tiempo del volcán Sabancaya (consultado el 25 de agosto del 2025).

6.6 NASA FIRM (Fire Information for Resource Management System)

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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, teniendo una resolución de 1 km y el conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS) a bordo del satélite S-NPP, NOAA 20 y NOAA 21 (formalmente conocido como JPSS-1), teniendo una resolución de 375 m. 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:24hrs:@0.0,0.0,3.0z>

Dentro las opciones para visualizar puntos calientes (Figura 15), con enfoque en volcanes peruanos, se tiene dos opciones de registro: “basic mode” y “advanced mode”, el primer modo es con acceso sin registro a la web y para tener acceso al segundo modo se debe estar registrado en el sitio web (se debe tener en cuenta que el registro es totalmente gratuito, además que se puede acceder a la descarga de archivos adjuntos CSV, y otros accesos más de la plataforma). En el modo avanzado se tiene datos actualizados dentro de las 24 horas, 3 día, 7 días y datos solo del día actual. 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 15.- Página web pública de la plataforma Fire Information for Resource Management System (FIRMS) en el modo avanzado (consultado el 25 de agosto del 2025).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Dentro de esta plataforma se tienen varias herramientas de apoyo para visualización de datos, como es la opción donde se muestra la ubicación de los distintos volcanes en el mapa, el cual se puede encontrar en la parte inferior con la palabra “LAYERS”, esta opción nos mostrara un lista de diferentes opciones para mostrar en el mapa, en este caso la opción que nos interesa es “Volcanoes”.

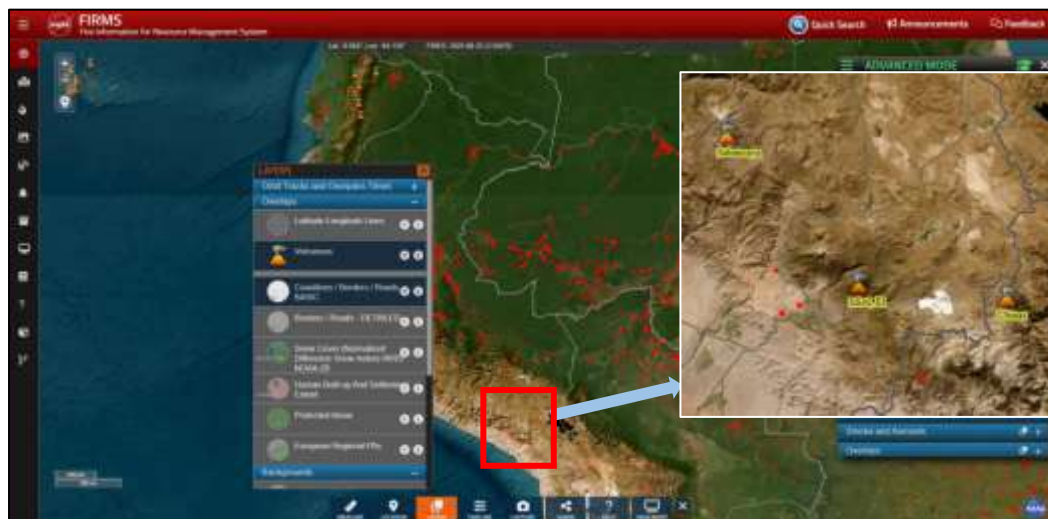


Figura 16.- Herramienta para la visualización de volcanes en Fire Information for Resource Management System (FIRMS) en el modo avanzado (consultado el 25 de agosto del 2025).

Para poder saber exactamente en donde y de que magnitud es la anomalía térmica, solo se ubica en el punto rojo que representa la anomalía y se selecciona con un click. Como ejemplo se muestra el punto caliente registrado el 12 de Agosto del 2025 correspondiente al Volcán Sabancaya (Figura 17). La anomalía registrada fue de 4.58 FRP durante la tarde.

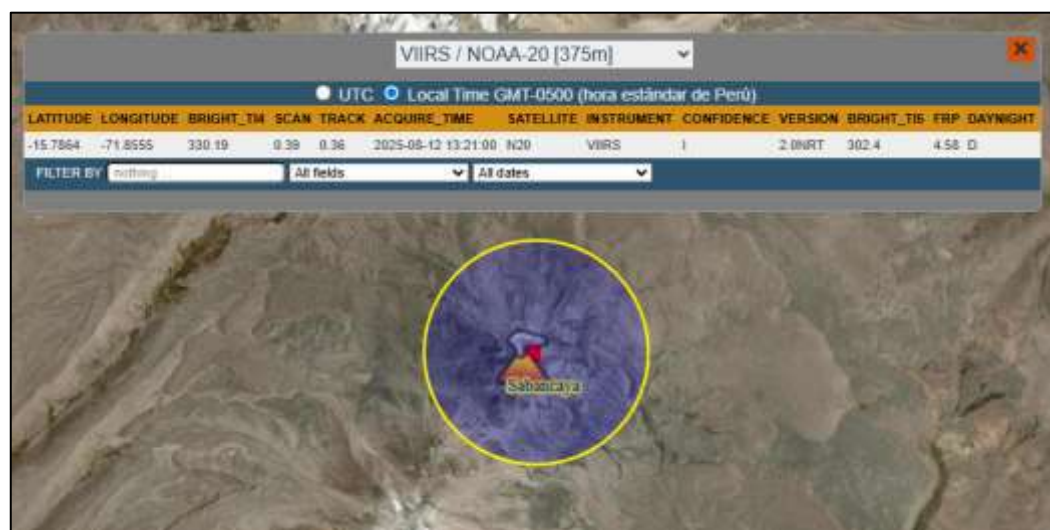


Figura 17.- Página web pública FIRMS correspondiente al volcán Sabancaya (consultado el 25 de agosto del 2025).

6.7 Procesamiento automático de anomalías térmicas

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Siguiendo el marco del Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001:2015) se han desarrollado códigos en python y latex para automatizar el procesamiento, observación y reporte de las anomalías térmicas detectada por los servidores NASA FIRMS y MIROVA.

6.7.1 NASA FIRMS

En NASA FIRMS nos permite seleccionar el área monitorear, lo cual nos ha permitido aplicar los scripts a los 13 volcanes activos (Tabla 1) y potencialmente activos que monitorea el CENVUL.

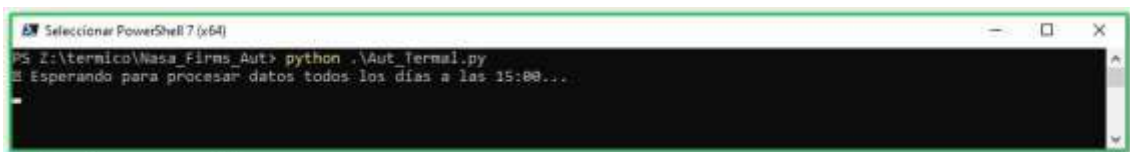
Volcán				
Sabancaya	-71.89	-15.81	-71.82	-15.76
Ubinas	-70.93	-16.39	-70.84	-16.29
Misti	-71.43	-16.33	-71.37	-16.26
Ticsani	-70.64	-16.79	-70.57	-16.73
Casiri	-69.83	-17.52	-69.75	-17.44
Tutupaca	-70.38	-17.04	-70.35	-17.01
Chachani	-71.57	-16.24	-71.49	-16.15
Yucamane	-70.24	-17.22	-70.15	-17.13
Huaynaputina	-70.87	-16.63	-70.83	-16.59
Coropuna	-72.70	-15.61	-72.53	-15.49
Aquihuato	-73.21	-15.10	-73.15	-15.05
Purupuruni	-69.93	-17.34	-69.85	-17.25
Sara Sara	-73.48	-15.36	-73.41	-15.28

Tabla 1: Coordenadas del área poligonal de los 13 volcanes activos y potencialmente activos

Se evalúa cada sensor (VIIRS_NOAA20_NRT, VIIRS_NOAA21_NRT, VIIRS_SNPP_NRT, LANDSAT_NRT, MODIS_NRT, MODIS_SP, VIIRS_NOAA20_SP, VIIRS_SNPP_SP) individualmente para cada volcán pero de manera simultánea mediante “Threads”, lo cual nos permite obtener de manera rápida y oportuna las anomalías térmicas en tiempo real. Para realizar esta acción es necesaria ejecutar el código: “Aut_Termal.py” (figura 18) encontrado en la siguiente ruta: “Z:\termico\Nasa_Firms_Aut”, al ejecutarlo el código queda en un “stand

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

by” donde va a esperar que sean las 15:00 hora local de Perú para buscar las anomalías del día de hoy, en caso de emergencia se desarrollo otro código llamado “Termal_for_days” (Figura 19) el cual pedirá fecha inicio y fecha final con el formato AAAA-MM-DD donde se procesara todos los días indicados. Al final estos scripts guardaran las anomalías encontradas en archivos independientes por volcán, con ruta: Z:\termico\Nasa_Firms_Aut\{volcan} dentro de cada carpeta estará el archivo datos_termales.txt los cuales constan de 4 columnas (Fecha, Hora(UTC), Anomalía(MW), Sensor), en caso no haya encontrado anomalías térmicas el código escribirá solo la fecha y una mensaje “Sin anomalías térmicas”.

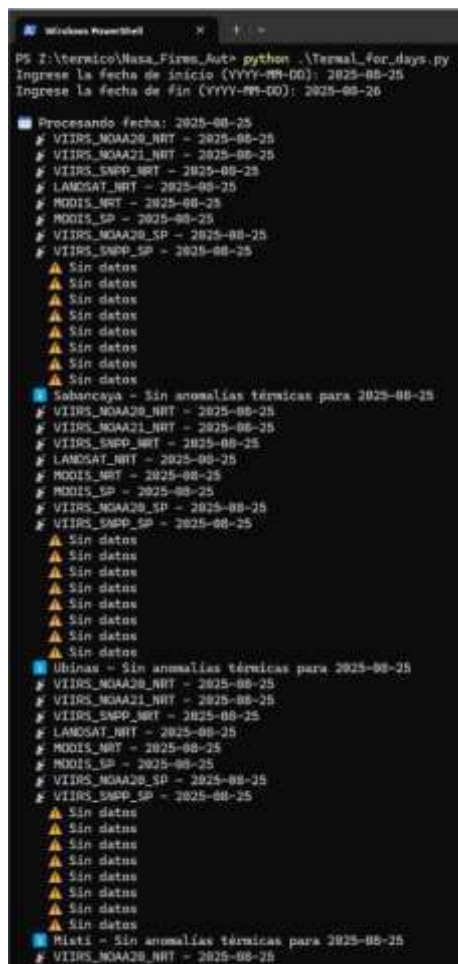


```

Selecionar PowerShell 7 (x64)
PS Z:\termico\Nasa_Firms_Aut> python .\Aut_Termal.py
Esperando para procesar datos todos los días a las 15:00...

```

Figura 18: Ejemplo de ejecución y funcionamiento de código Aut_Termal.py



```

Windows PowerShell
PS Z:\termico\Nasa_Firms_Aut> python .\Termal_for_days.py
Ingrese la fecha de inicio (YYYY-MM-DD): 2025-08-25
Ingrese la fecha de fin (YYYY-MM-DD): 2025-08-26

Procesando fecha: 2025-08-25
# VIIRS_NDAA20_NRT - 2025-08-25
# VIIRS_NDAA21_NRT - 2025-08-25
# VIIRS_SNPP_NRT - 2025-08-25
# LANDSAT_NRT - 2025-08-25
# MODIS_NRT - 2025-08-25
# MODIS_SP - 2025-08-25
# VIIRS_NDAA20_SP - 2025-08-25
# VIIRS_SNPP_SP - 2025-08-25
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin anomalías térmicas para 2025-08-25

# Ubina - Sin anomalías térmicas para 2025-08-25
# VIIRS_NDAA20_NRT - 2025-08-25
# VIIRS_NDAA21_NRT - 2025-08-25
# VIIRS_SNPP_NRT - 2025-08-25
# LANDSAT_NRT - 2025-08-25
# MODIS_NRT - 2025-08-25
# MODIS_SP - 2025-08-25
# VIIRS_NDAA20_SP - 2025-08-25
# VIIRS_SNPP_SP - 2025-08-25
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin datos
# Sin anomalías térmicas para 2025-08-25

# Misti - Sin anomalías térmicas para 2025-08-25
# VIIRS_NDAA20_NRT - 2025-08-25

```

Figura 19: Ejemplo de ejecución y funcionamiento de código Termal_for_days.py

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

En caso se requiera plotear los resultados de las anomalía térmicas se desarrollo el script “Plot_Termal.py” donde se ingresara la fecha de inicio y fecha final con formato AAAA-MM-DD para calcular el rango de fechas a graficar, por lo que cualquier usuario podrá obtener los resultados (figura 20) de manera gráfica de los 13 volcanes.

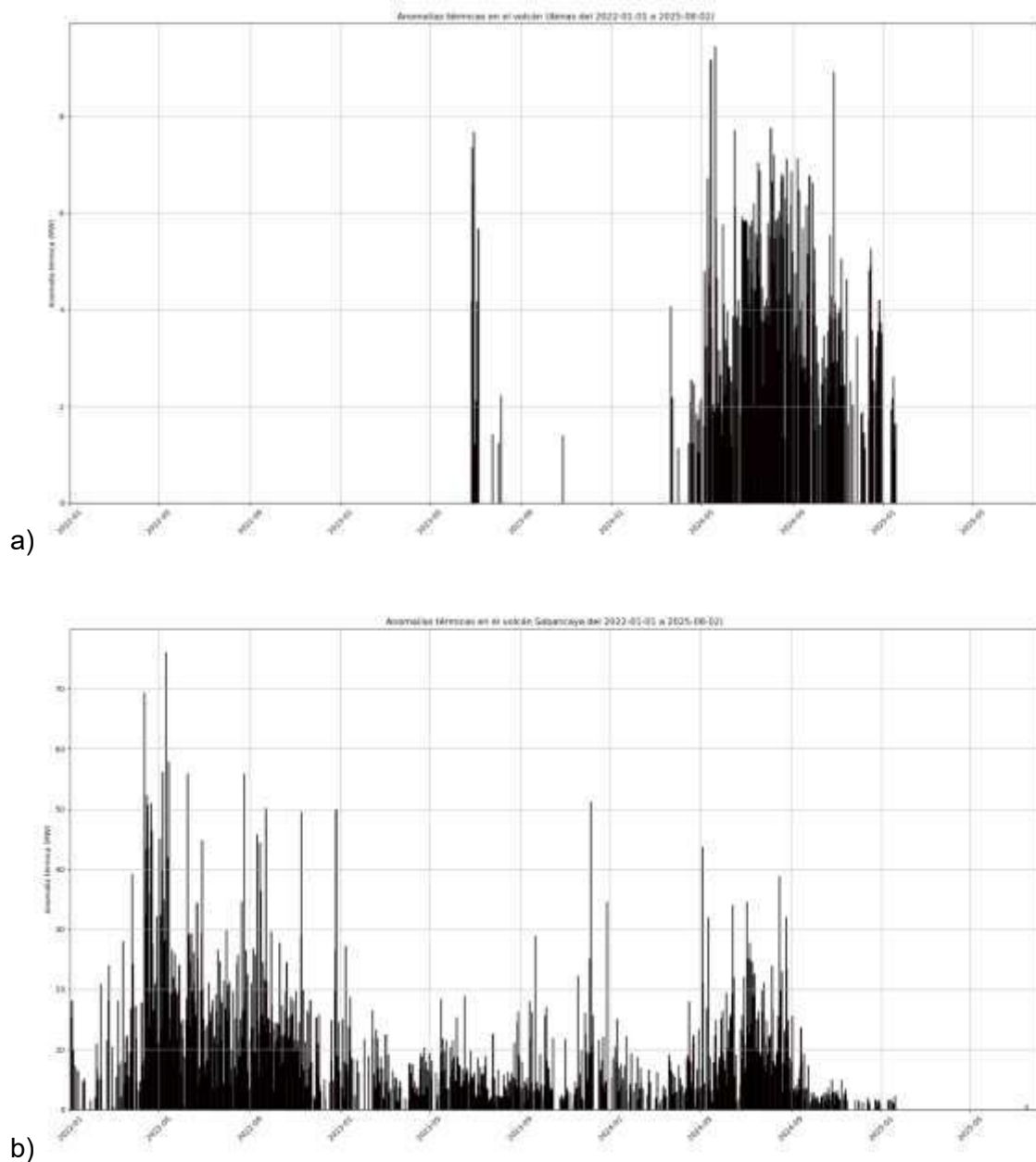


Figura 20: a) Anomalías térmicas del volcán Ubinas desde el 01/01/2022 hasta el 02/08/2025, b) Anomalías térmicas del volcán Sabancaya desde el 01/01/2022 hasta el 02/08/2025.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.7.2 MIROVA

El MIROVA nos permite, por el momento, monitorear los volcanes que están dentro de su base de datos (Ubinas, Sabancaya y Mlsti), por lo que se ha desarrollado el código “Process_MIROVA” (Figura 21) el cual se conecta de manera automática al servidor y verifica cada 10 minutos si se han detectado anomalías térmicas en los 2 sensores MODIS y VIIRS para los volcanes ya mencionados. Los resultados los guarda en carpeta por volcán y sensor de manera independiente en la ruta: “Z:\termico\MIROVA_Aut” bajo los archivos con estructura “{3 primeras letras del volcán}_{sensor}_anomaly.csv” los cuales son archivos delimitados por comas (csv) de 7 columnas (timeUTC, VRP_MW, LAT, LON, Max_Dist_KM, volcan, sensor) en este caso solo escribe las anomalías que se detectan, en caso no exista ninguna anomalía en un día ese día no se escribe.

```
PS Z:\termico\MIROVA_Aut> python .\Process_MIROVA.py
[START] Mirova simple runner | intervalo 10 min | outdir=.
[NO-CHANGE] Ubinas_MODIS: sin filas nuevas.
[NO-CHANGE] Ubinas_VIIRS: sin filas nuevas.
[NO-CHANGE] Sabancaya_MODIS: sin filas nuevas.
[NO-CHANGE] Sabancaya_VIIRS: sin filas nuevas.
[CYCLE] Novedades: {'Ubinas_MODIS': 0, 'Ubinas_VIIRS': 0, 'Sabancaya_MODIS': 0, 'Sabancaya_VIIRS': 0, '_total': 0}
[HEARTBEAT] Ciclo completado a las 2025-08-27 11:00:24. Esperando 10 minutos...
```

Figura 21: Ejemplo de ejecución y funcionamiento de código Process_MIROVA.py

Para el caso de este servidor se ha programado un bot en telegram llamado “MIROVA Alert Bot” (Figura 22), el cual revisa cada 5 segundos si el “Procces_MIROVA” ha detectado una anomalía térmica nueva para poder alertar al grupo de telegram “Monitoreo CENVUL” de manera oportuna y rápida alguna anomalía térmica en los volcanes, el bot reporta como un usuario el sensor donde se encontra la anomalía, la potencia en MW, la hora y las coordenadas de dicha anomalía, junto a un mapa de la ubicación (Figura 23) de la anomalía de este modo los vulcanólogos a cargo podrán discernir si la anomalía es propia del volcán o es por algún factor exteno.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Figura 22: Mirova Alert Bot, robot programado para alertar las anomalías térmicas en tiempo real al equipo del CENVUL.



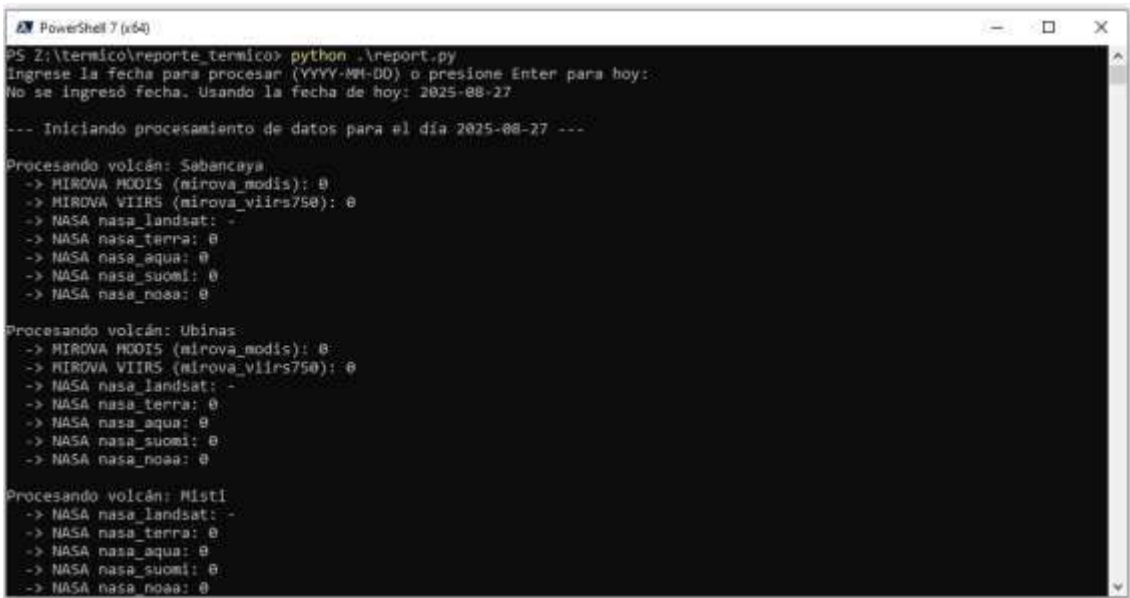
Figura 23: Ejemplo de como Mirova Alert Bot reporta una anomalía térmica, en este caso es un ejemplo real del día 23/08/2025 en el volcán Ubinas.

6.7.3 REPORTE DE ANOMALÍAS TÉRMICAS

Se debe enviar un reporte de las anomalías detectadas de las últimas 24 horas a la coordinara del CENVUL, por lo que se ha desorrallado un script llamado report.py (Figura 24) que se encuentra en la ruta “Z:\termico\reporte_termico”, el cual scanea todo lo anterior procesado por los anteriores scripts donde aglutina todas las

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

anomalías térmicas por sensor, sistema y volcán, obteniendo un archivo llamado datos.csv, el cual es usado para hacer el reporte. En este caso se ha programado una plantilla en Latex que usa como fuente el datos.csv para elaborar el reporte del día, para ejecutarlo es necesario escribir en un cmd “pdflatex reporte.tex” (Figura 25), una vez realizada esta acción el reporte se escribirá solo, dándonos como resultado el archivo reporte.pdf (Figura 26).



```

PS Z:\termico\reporte_termico> python .\report.py
Ingrese la fecha para procesar (YYYY-MM-DD) o presione Enter para hoy:
No se ingresó fecha. Usando la fecha de hoy: 2025-08-27

--- Iniciando procesamiento de datos para el día 2025-08-27 ---

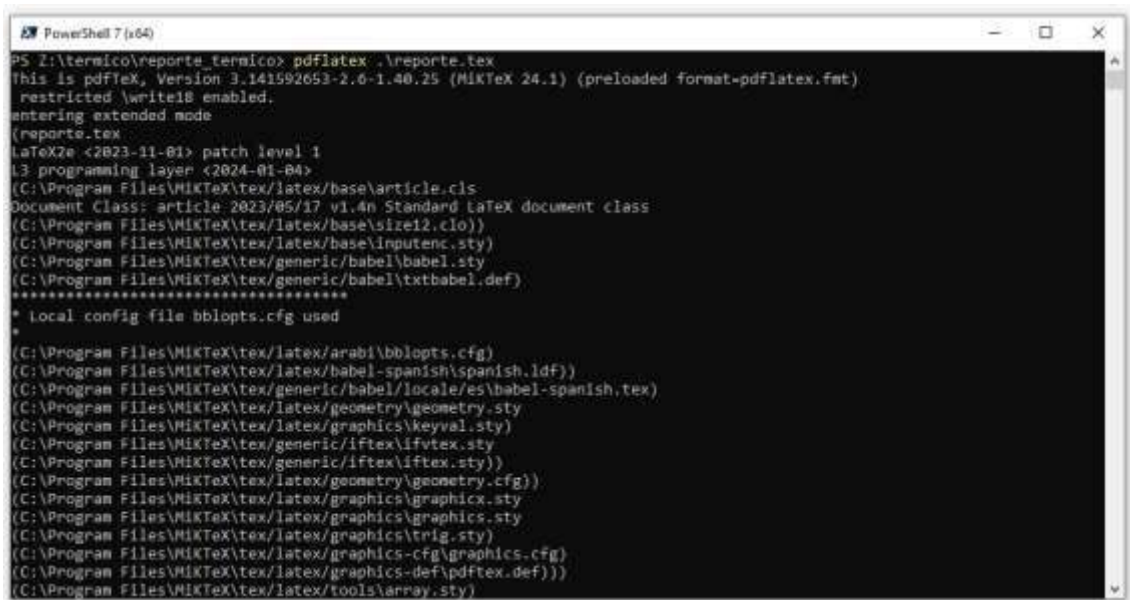
Procesando volcán: Sabancaya
-> MIROVA MODIS (mirova_modis): 0
-> MIROVA VIIRS (mirova_viirs750): 0
-> NASA nasa_landsat: -
-> NASA nasa_terra: 0
-> NASA nasa_aqua: 0
-> NASA nasa_suomi: 0
-> NASA nasa_noaa: 0

Procesando volcán: Ubinas
-> MIROVA MODIS (mirova_modis): 0
-> MIROVA VIIRS (mirova_viirs750): 0
-> NASA nasa_landsat: -
-> NASA nasa_terra: 0
-> NASA nasa_aqua: 0
-> NASA nasa_suomi: 0
-> NASA nasa_noaa: 0

Procesando volcán: Misti
-> NASA nasa_landsat: -
-> NASA nasa_terra: 0
-> NASA nasa_aqua: 0
-> NASA nasa_suomi: 0
-> NASA nasa_noaa: 0

```

Figura 24: Ejemplo de ejecución y funcionamiento de código report.py



```

PS Z:\termico\reporte_termico> pdflatex .\reporte.tex
This is pdfTeX, Version 3.141592653-2.0-1.40.25 (MiKTeX 24.1) (preloaded format=pdflatex.fmt)
restricted \write18 enabled.
entering extended mode
(reporte.tex)
LaTeX2ε <2023-11-01> patch level 1
L3 programming layer <2024-01-04>
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\base\article.cls
Document Class: article 2023/05/17 v1.4n Standard LaTeX document class
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\base\size12.clo))
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\base\inputenc.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\generic\babel\babel.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\generic\babel\txtbabel.def)
*****
* local config file bblopts.cfg used
*
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\arabi\bblopts.cfg)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\babel-spanish\spanish.ldf))
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\generic\babel\locale\es\babel-spanish.tex)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\geometry\geometry.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\graphics\keyval.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\generic\iftex\ifvtex.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\generic\iftex\iftex.sty))
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\geometry\geometry.cfg))
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\graphics\graphics.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\graphics\trig.sty)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\graphics-cfg\graphics.cfg)
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\graphics-def\pdfTeX.def)))
(C:\Program Files\MiKTeX\tex\latex\tools\array.sty)

```

Figura 25: Ejemplo de ejecución y funcionamiento de la plantilla en Latex mediante el comando “pdflatex reporte.tex”

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

A: Katherine Vargas
De: Jhendary Baca
Asunto: Anomalías Térmicas
Fecha: 27 de agosto de 2025



N°	Volcán	Sistema Mirova			Nasa Firms				Total anomalías	Observaciones
		VIIRS01	VIIRS02	VIIRS03	VIIRS04	VIIRS05	VIIRS06	VIIRS07		
1	Sabancaya	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
2	Ubinas	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
3	Misti	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
4	Chachani	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
5	Ticsani	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
6	Coropuna	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
7	Sara Sara	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
8	Yucamante	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
9	Tutupaca	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
10	Purupuruni	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
11	Casiri	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
12	Auquihuato	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías
13	Huaynaputina	0	0	0	0	0	0	0	0	Sin anomalías

*Este conjunto de datos se basa en el análisis del sensor (VIIRS), que adquiere imágenes en el infrarrojo medio (MIR) con una resolución de 375 m x 750 m y una frecuencia temporal de aproximadamente 4-6 imágenes al día. Los datos se procesan en tiempo casi real, es decir, entre 1 y 4 horas desde la adquisición de la imagen. Compus et al. (2021). * MODIS (Espectroradiómetro de imágenes de Resolución Moderada): A bordo de los satélites Terra (marzo de 2000) y Aqua (mayo de 2002), adquiere imágenes en las regiones del infrarrojo medio (MIR) y del infrarrojo térmico (TIR), con una resolución aproximada de 1 km. Coppola et al. (2016). * OLI (Cámara Operacional de imágenes Terrestres): A bordo del satélite Landsat 8 (febrero de 2013), adquiere imágenes en las regiones del infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), con una resolución aproximada de 30 m. Cadena de imagen aproximadamente cada 16 días. Massimetti et al. (2020).

Figura 26: Ejemplo del pdf obtenido como resultado final de la automatización.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO MEDIANTE SENSORES REMOTOS SATELITALES	Código: MU N° 003-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

VII. REFERENCIAS

- Campus, A., Laiolo, M., Massimetti, F., & Coppola, D. (2022). The Transition from MODIS to VIIRS for Global Volcano Thermal Monitoring. *Sensors*, 22(5), 1713. <https://doi.org/10.3390/s22051713>
- Coppola D, Laiolo M, Cigolini C, Massimetti F, Delle Donne D, Ripepe M, Arias H, Barsotti S, Parra CB, Centeno RG, Cevuard S, Chigna G, Chun C, Garaebiti E, Gonzales D, Griswold J, Juarez J, Lara LE, López CM, Macedo O, Mahinda C, Ogburn S, Prambada O, Ramon P, Ramos D, Peltier A, Saunders S, de Zeeuw-van Dalftsen E, Varley N., William R. (2020) Thermal Remote Sensing for Global Volcano Monitoring: Experiences From the MIROVA System. *Front. Earth Sci.* 7:362. doi: 10.3389/feart.2019.00362
- Coppola, D., Macedo, O., Ramos, D., Finizola, A., Delle Donne, D., Del Carpio, J., Taipei, 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).
- Massimetti, F., Coppola, D., Laiolo, M., Valade, S., Cigolini, C., & Ripepe, M. (2020). Volcanic Hot-Spot Detection Using SENTINEL-2: A Comparison with MODIS–MIROVA Thermal Data Series. *Remote Sensing*, 12(5), 820. <https://doi.org/10.3390/rs12050820>
- 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 004-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO

Versión 02

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 004-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
01	01/09/2025	1. Documento Inicial
02	05/09/2025	2. Se modifica en redacción y contenido
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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 de la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (OTIC) o la Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) 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).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Tipo	Descripción
VT	Tipo Volcano-Tectónico (VT): 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 (LP): 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 (HB): 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 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 (TO): 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 (EX): 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 (ST): 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 (HT): 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 (VL): 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 (VD): son sismos de alta frecuencia (>5 Hz) que, a diferencia de los sismos VT anteriormente descritos, se deben a la actividad

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

	de fallas localizadas frecuentemente a más de 10 km de distancia de los volcanes. Generalmente, ocurren en forma de enjambre sísmico.
LH	Lahar (LH): 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.

6.3 Software Loki

Loki es un software diseñado para el análisis y seguimiento de la actividad sismo-volcánica en el sur del Perú, por parte del Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL). Diseñada exclusivamente para la lectura, análisis espectral y caracterización detallada de sismos de origen volcánico. Loki 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 sismo-volcánicas, en tiempo real tales como GISMO (<https://github.com/geoscience-community-codes/GISMO/wiki/WhatisGISMO%3F>, Thompson, G., & Reyes, C., 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, Loki 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). Loki fue desarrollado investigadores en vulcanología de la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida desde el año 2008. Y es una recopilación de varios años de investigación en el tratamiento de sismos provenientes de los volcanes Misti y Ubinas. Este software no es de código libre (pertenece al IGP), y para poder utilizarlo se requiere de un usuario y contraseña autorizado por coordinador del CENVUL. La última versión del software está — disponible en el siguiente link <https://drive.google.com/file/d/10EhI5SWS5A407Vhne1hyOIRAILGikupf1/view?usp=sharing>

6.3.1 Prerrequisitos de sistema

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Por el momento, solo está disponible para el sistema operativo Windows (7/8/8.1/10). Y 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 0 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_winb4_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 Loki, se necesita desempaquetar el archivo comprimido “Loki.rar”, en cualquier unidad lógica de su computadora (por ejemplo: D:\), siguiendo la siguiente estructura:

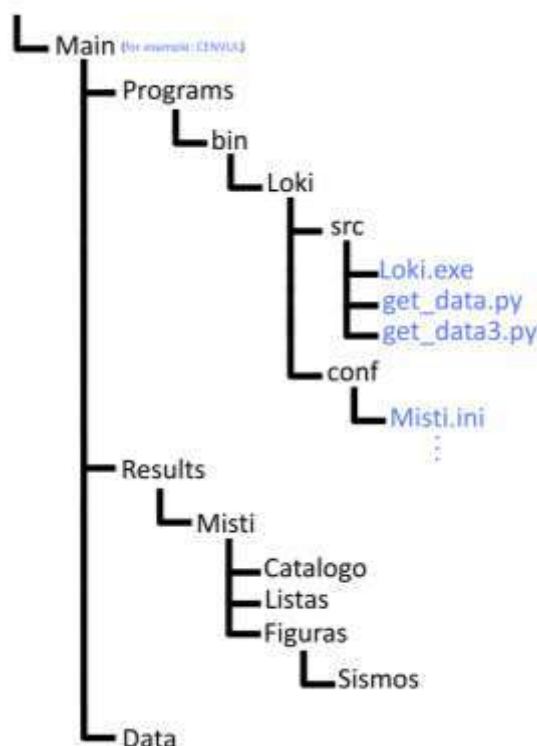


Figura 3.- Árbol de directorios con el que trabaja Loki

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]: esto corresponde a la información del servicio de metadatos disponible, en este caso solo se puede utilizar servidores “Earthworm” o “Winston”. Allí se debe registrar: el hostname, puerto, red, y el canal principal de datos (en nuestro

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

caso solo el vertical). Esto es de suma importancia, si se necesitan bajar datos de servidor o si se necesitan lecturas de S-P (estos dos temas se explicarán mejor más adelante). [Data]: aquí se debe registrar una 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:

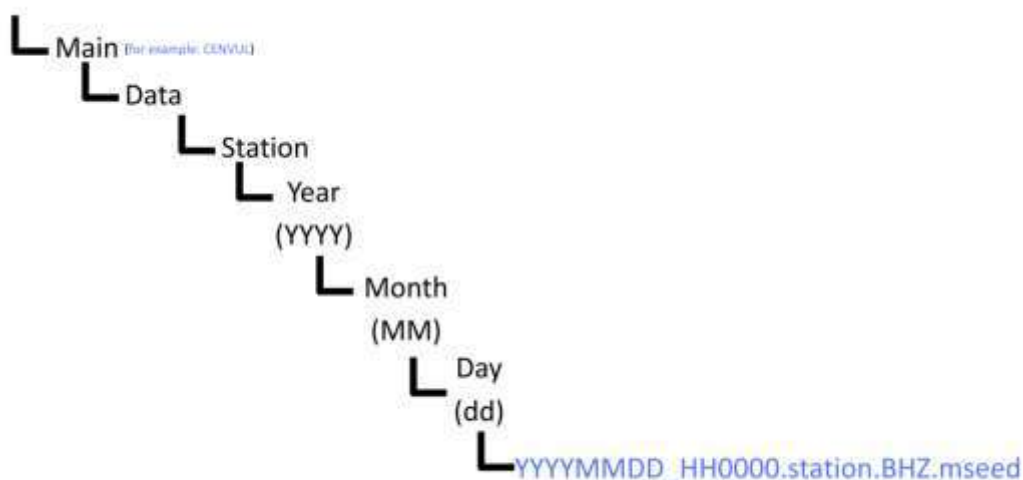


Figura 4.- Árbol de directorios que muestra la manera de almacenar los datos Miniseed o SAC

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

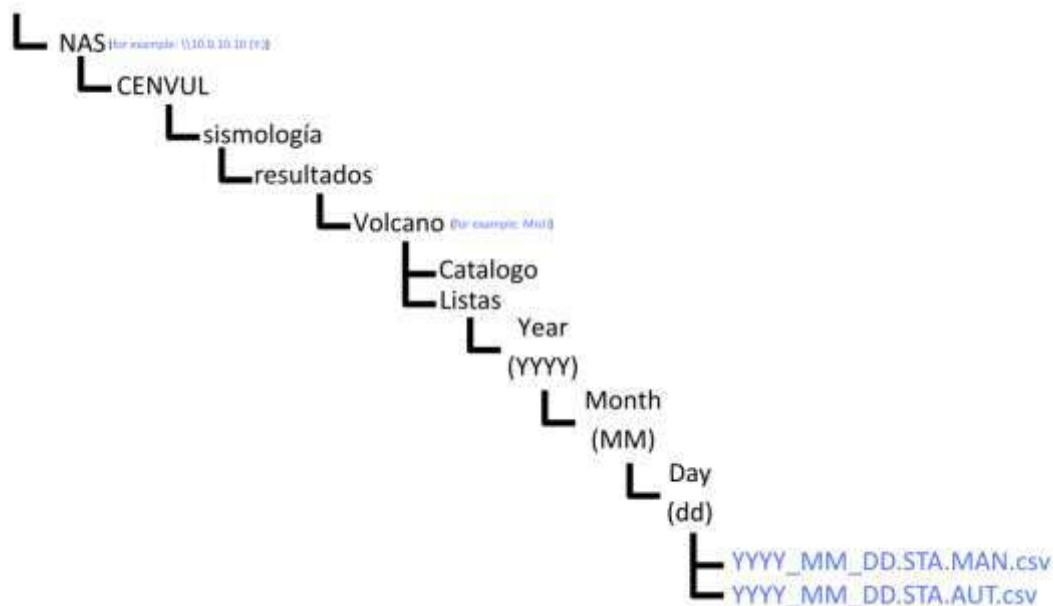


Figura 5.- Árbol de directorios propuesto por Loki, para la escritura y lectura de ficheros con los resultados del análisis

[Default_Analysis]: Aquí se definen 5 variables principales: las estaciones de referencia, estaciones secundarias, nombre del volcán, frecuencia de muestreo de la estación principal y etiquetas representativas de clasificación. Por ejemplo:

- (1) stations = DMIS, EMIS, CMIS, GMIS, MISA, FMIS (5 estaciones de referencia como mínimo, la primea “DMIS” es la principal. Nota: se pueden repetir de ser el caso).
- (2) references = CHCH, HSAL (estaciones secundarias, una como mínimo).
- (3) 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).
- (4) sampFreq = 100 (Frecuencia de muestreo de la estación principal, en el ejemplo correspondería a la estación DMIS).
- (5) eventTypes = HB, LP, VT, EX, VD, ST (aquí se define un mínimo y máximo de ó 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 en el teclado (h, w q, y, a,). Los cuales son Útiles cuando se necesita una etiquetación manual rápido.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Fig. 6.- Comandos rápidos de teclado de Loki, para una clasificación rápida de sismos representativos.

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 OTIC o DIGDT.

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 “Loki.exe” (Figura 7).

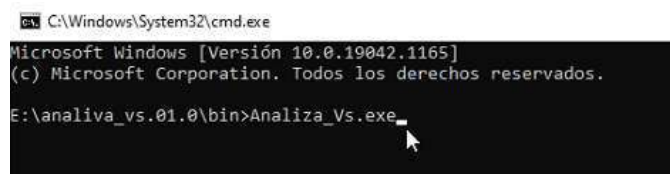


Figura 7.- Modo de ejecución de Loki.exe.

Se introducen las credenciales del analista (password).



Fig. 8.- inicio y registro de credenciales de Loki.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Con el software ejecutándose, se carga el archivo “ini” configurado anteriormente del volcán que requiera el análisis (Figura 9).

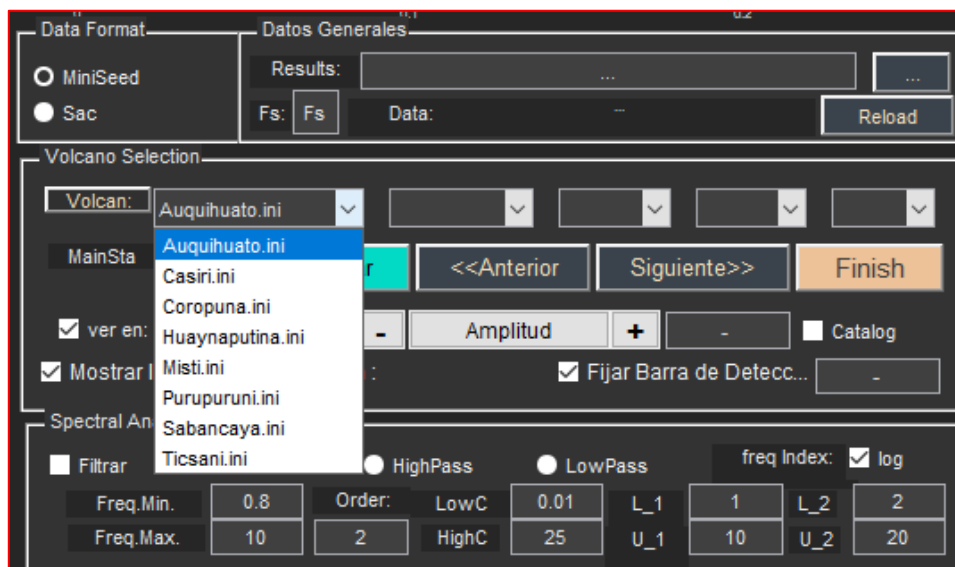


Figura 9.- Lectura de archivos de configuración INI, para iniciar Loki se requiere primero seleccionar uno de ellos.

6.3.6 Lectura y visualización de formas de onda

Para ello, en la Figura 10, 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).

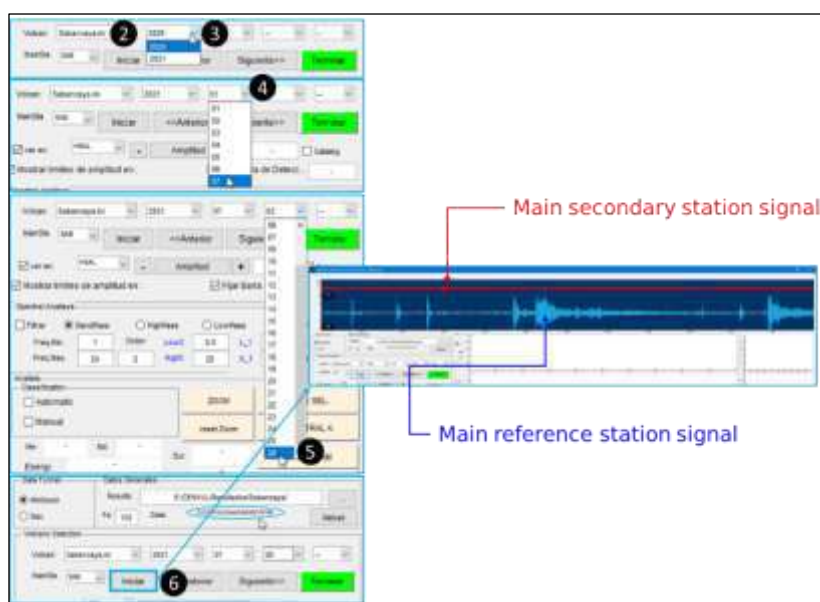


Figura 10.- Pasos para conseguir una correcta lectura de los datos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

En este mismo panel (Figura 11) 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:”.

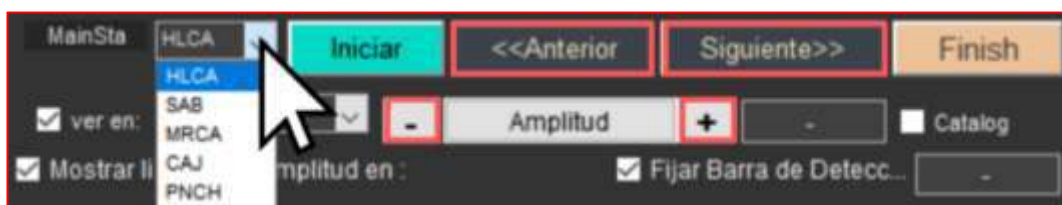


Figura 11.- Menú desplegable para la selección de la estación referente principal.

6.3.7 Descarga de datos

Loki permite descargar los datos del servidor (Earthworm o Winston), siempre en cuando se verifique que el server status esta OK. Esto permitirá activar el botón “Download” y seleccionar la fecha de los datos que desee abalizar. (Figura 12).

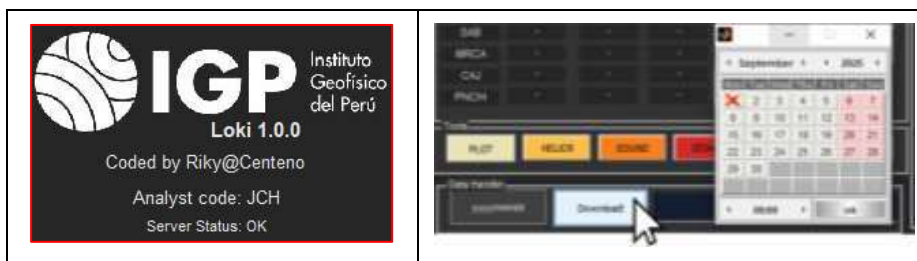


Figura 12.- (Izquierda) Estado del servidor de datos: ok (conectado) y off (desconectado). (Derecha) Botón/Menú de descarga de datos (Miniseed) de Loki.

6.3.8 Segmentación manual (selección)

Presionar clic 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 13).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

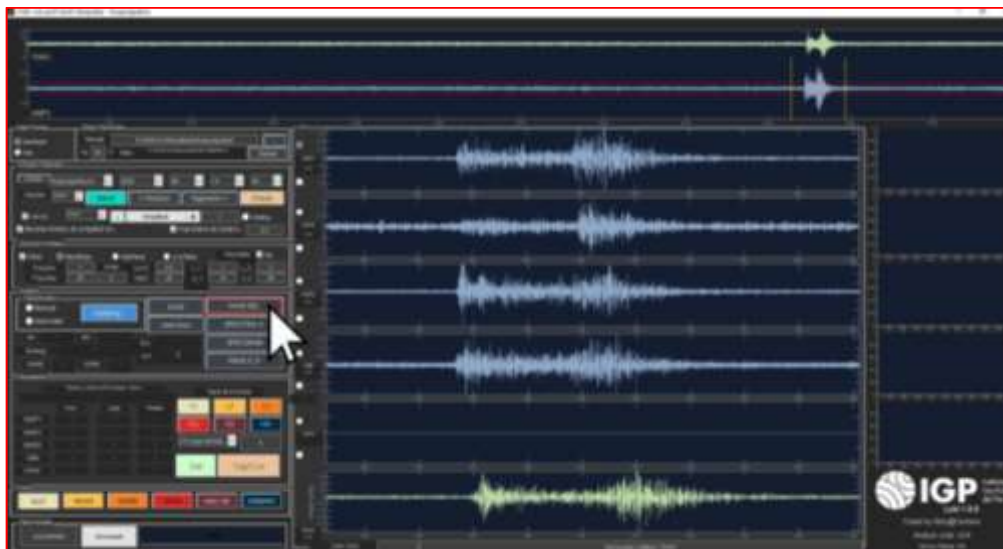


Figura 13.- Interfaz gráfica del software Loki.

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.

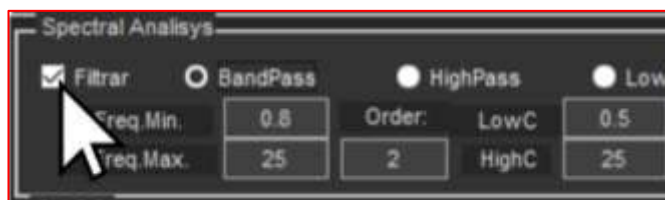


Figura 14.- Selección de filtros Butterworth de Loki.

- 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- 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 Clic 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 15).

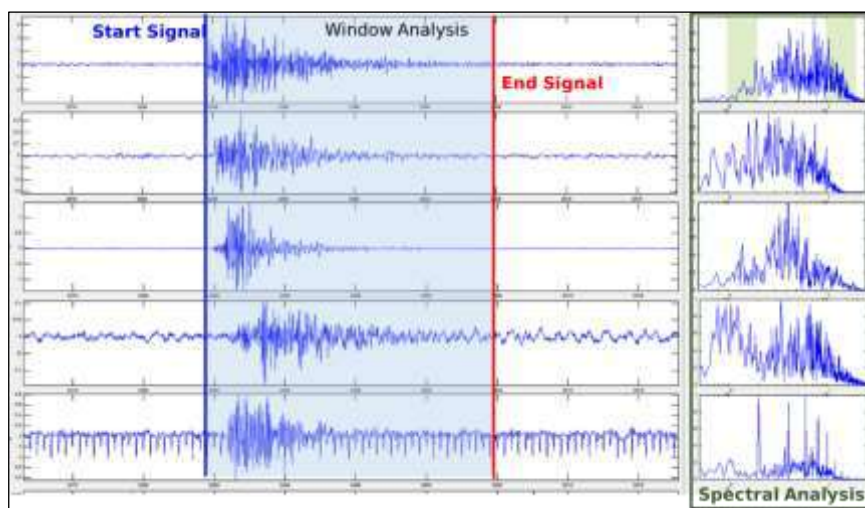


Figura 15.- Selección y análisis del segmento de interés en los cinco canales de Loki.

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 16.- 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 17).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

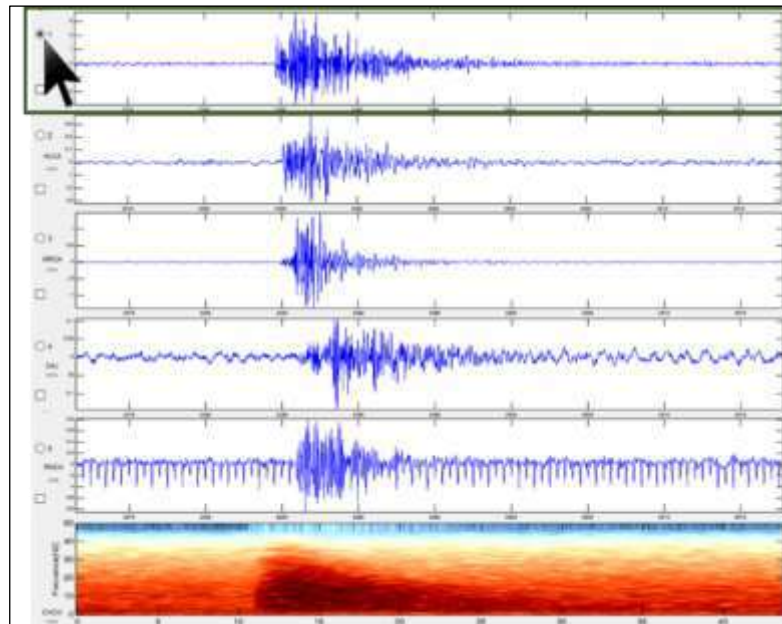


Figura 17.- Cálculo del espectrograma en la estación de referencia principal.

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 18), en el que se calcula el logaritmo de la relación de energías espectrales sobre bandas de frecuencia especificadas por el usuario (Figura 19).

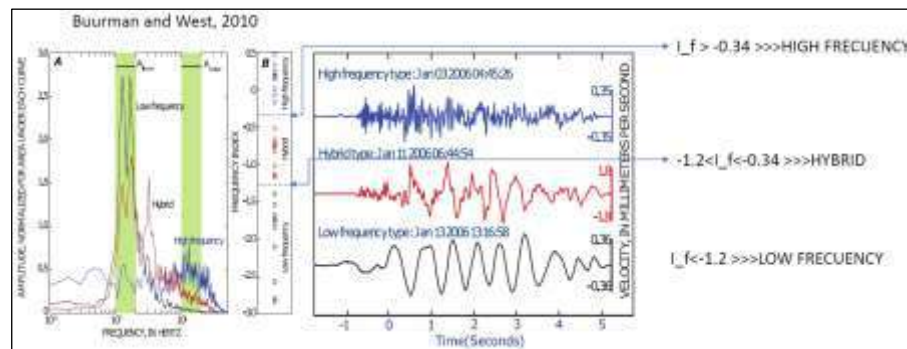


Figura 18.- Esquema explicativo del Índice de Frecuencia (FI, Buurman & West, 2010).

En nuestro caso las bandas de frecuencia se defienden en:



Figura 19.- Selección de los límites de banda, para bajas y altas frecuencias.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 20). 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- Ridges.

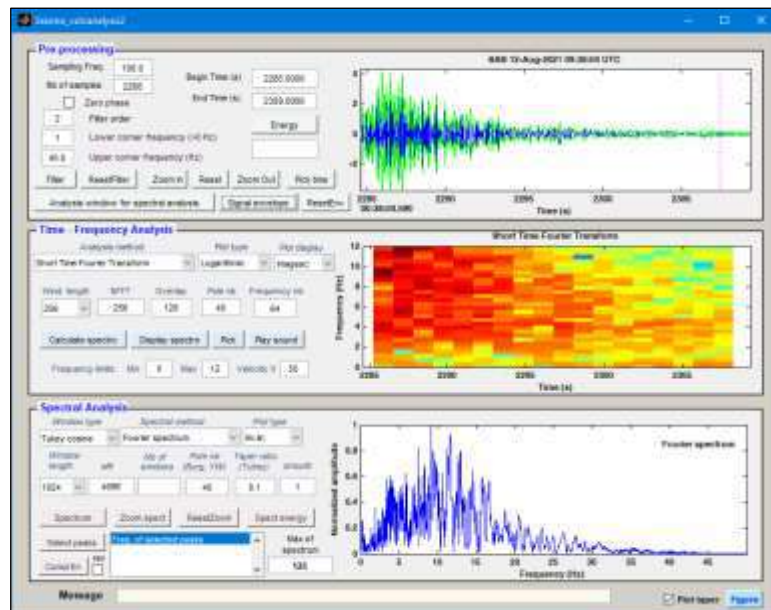


Figura 20.- Interfaz para análisis espectral y tiempo-frecuencia.

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 21), y será almacenado en la carpeta “Figuras\Sismos”, según el árbol de directorios propuesto en la Figura 3.

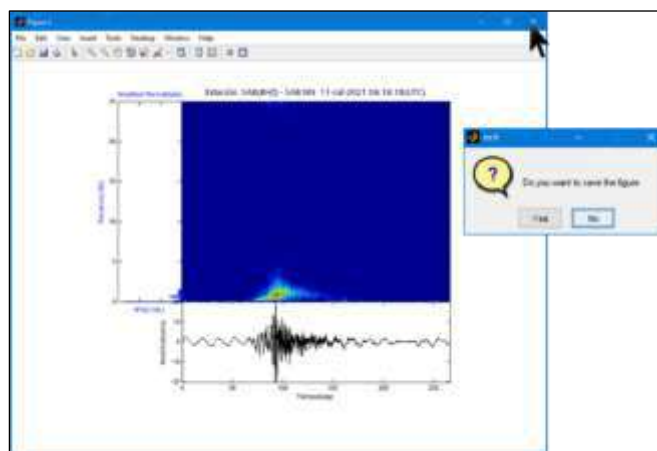


Figura 21.- Ploteo de sismos representativos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 Clic en el botón OK (Figura 22, 1).
- Se activa un botón de ZOOM (acercamiento) automático que permite diferenciar las ondas P y S, se hace Clic en el botón OK (Figura 22, 2).
- Se activa la selección manual de la onda P y luego la onda S (Figura 22, 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 Loki.

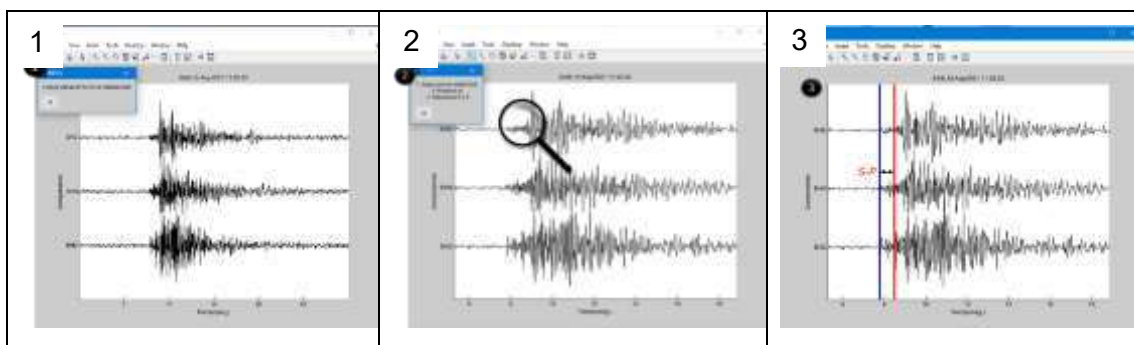


Figura 22.- (1) Primer paso, para la lectura de S-P; (2) Segundo paso, para la lectura de S-P y; (3) Tercer paso, lectura de S-P

6.3.13 Ploteo de Helicorders

Otra herramienta de Loki 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 ultimas 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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

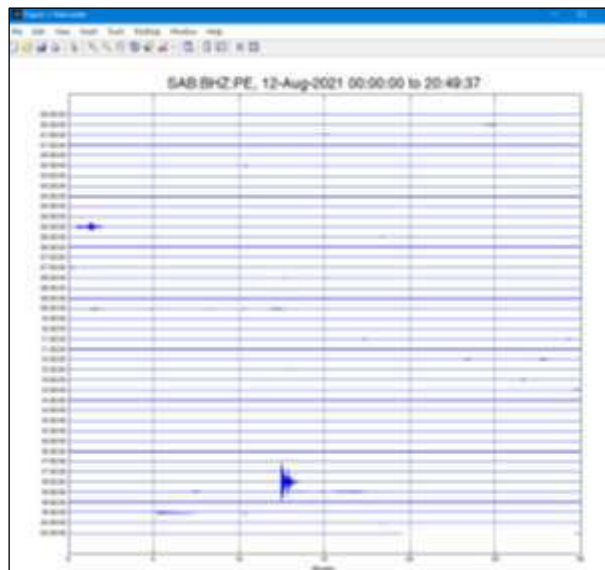


Figura 23. Ploteo de helicorders con Loki

6.3.14 Herramienta CHECK

Loki 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 24).

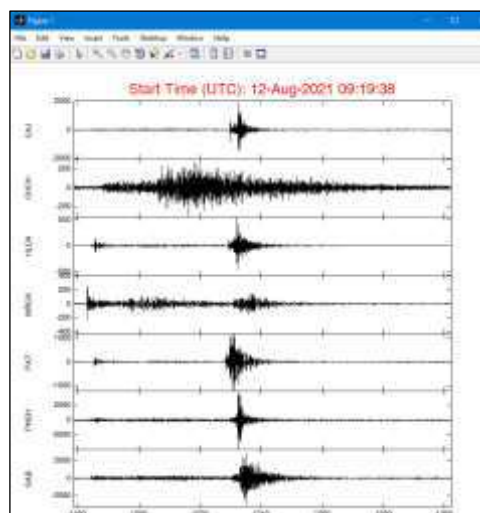


Figura 24.- Chequeo de sismicidad Distal o Tectónica.

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

clasificación de los eventos (Tabla 2) y su nivel de certeza o particularidad (Q) (Figura 25 y Tabla 3).

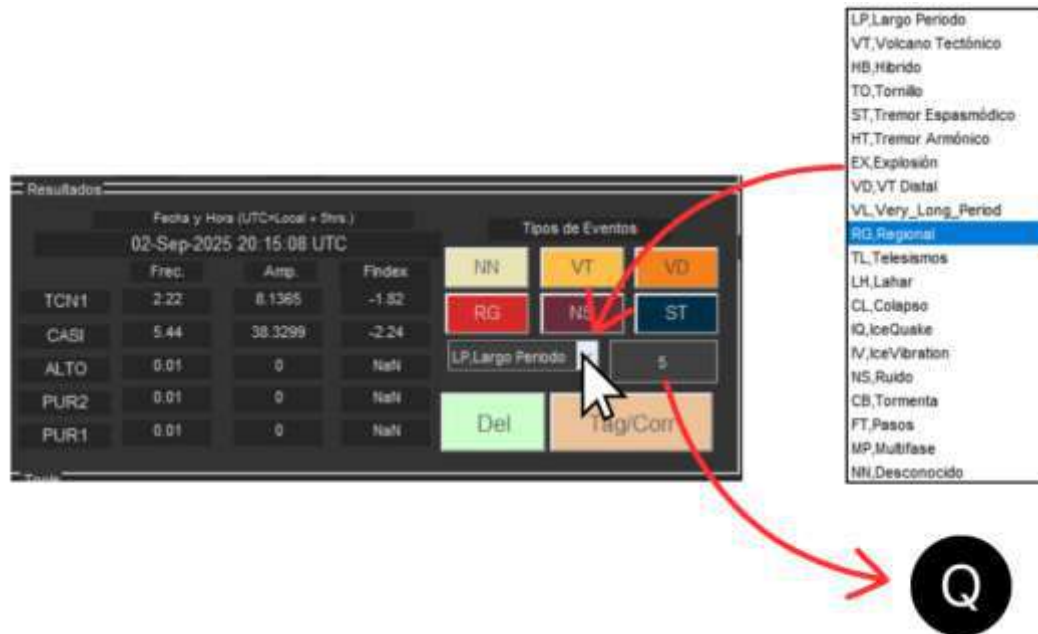


Figura 25.- Panel de resultados de Loki.

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 impresos en pantalla, tal y como se muestra en la figura 26. Esto se logra utilizando el botón “Tag/Corr”.



Figura 26.- Barra de mensajería de Loki.

Importante: para culminar solo basta con hacer clic derecho en el botón “Finish”. Luego, hay que confirmar o no la validación de los datos. Y, por último, podemos pedir que se nos de un resumen de la clasificación realizada.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Figura 27.- menús de validación, confirmación de los resultados y visualización de estadística clasificada.

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 28), 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 29).

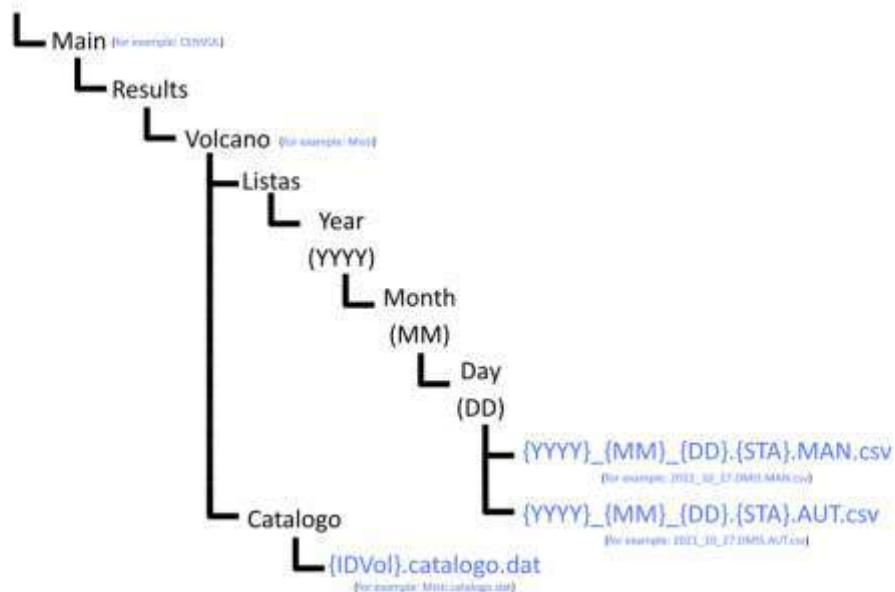


Figura 28.- Árbol de directorios de los ficheros de salida y entrada de Loki.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

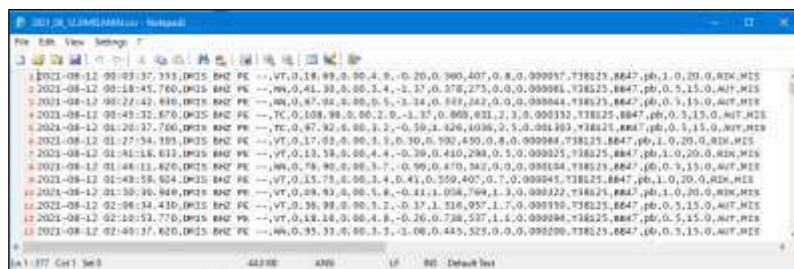


Figura 29.- Ejemplo de fichero *.csv o lista de clasificación del volcán Misti.

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

Loki para optimizar (en tiempo) todos los procesos anteriores (SEGMENTACIÓN, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN), es capaz de supervisar y validar resultados obtenidos por el sistema de reconocimiento automático de señales sismo-volcánicas del CENVUL descrito en detalle por Centeno y Rivera (2019). El archivo de salida del sistema antes mencionado, es el mismo que genera Loki, la única

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

diferencia que el código de usuario y parte de su nominación es “AUT”, tal y como se aprecia en la figura 4 y 31. Estos ficheros se generan, casi en tiempo real, en una carpeta remota del servidor NAS (Fig. 32). Entonces, para trabajar con el automático se activa la casilla “Automatic”, esto imprimirá en pantalla resultados preliminares de segmentación (inicio y fin) y clasificación automática (etiquetas). Cada análisis tiene asignado un numero específico.



Figura 30.- Loki 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 31).



Figura 31.- Esquema explicativo para corregir o precisar algunos datos de los sismos etiquetados automáticamente.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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

Tag/Corr

En ciertas ocasiones, es común que el análisis diario NO está del todo COMPLETO y se requiere completarlo. Loki 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 “Actualiza”.

Actualiza

6.3.19 Flujo de trabajo diario

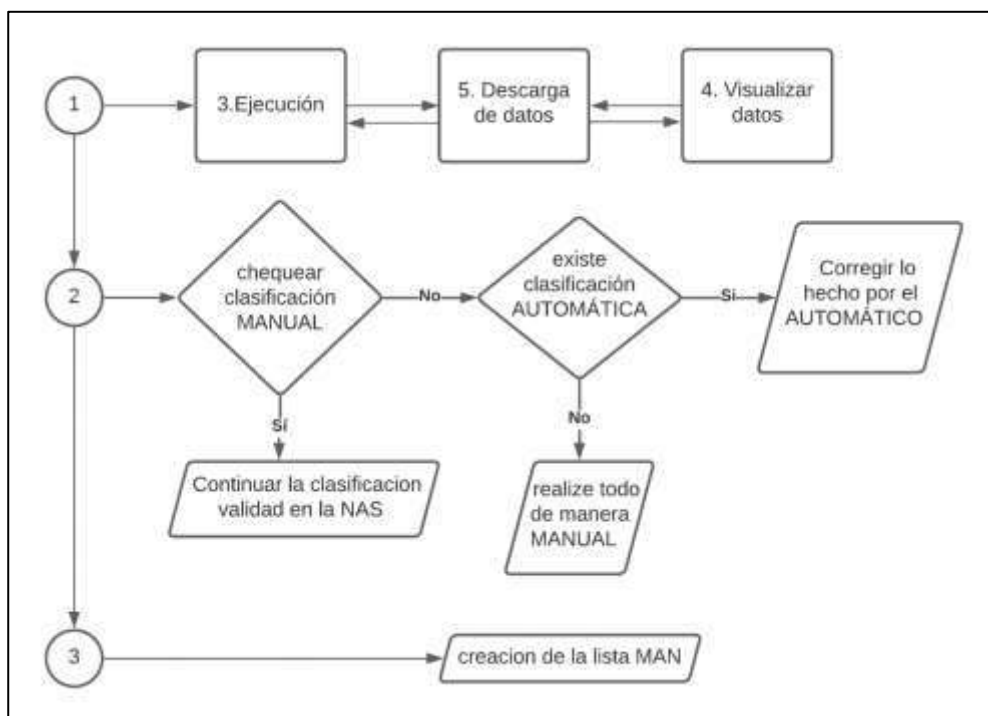


Figura 32.- Cadena de procesos, desde la selección del volcán, hasta la creación de la lista final.

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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 33), 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.

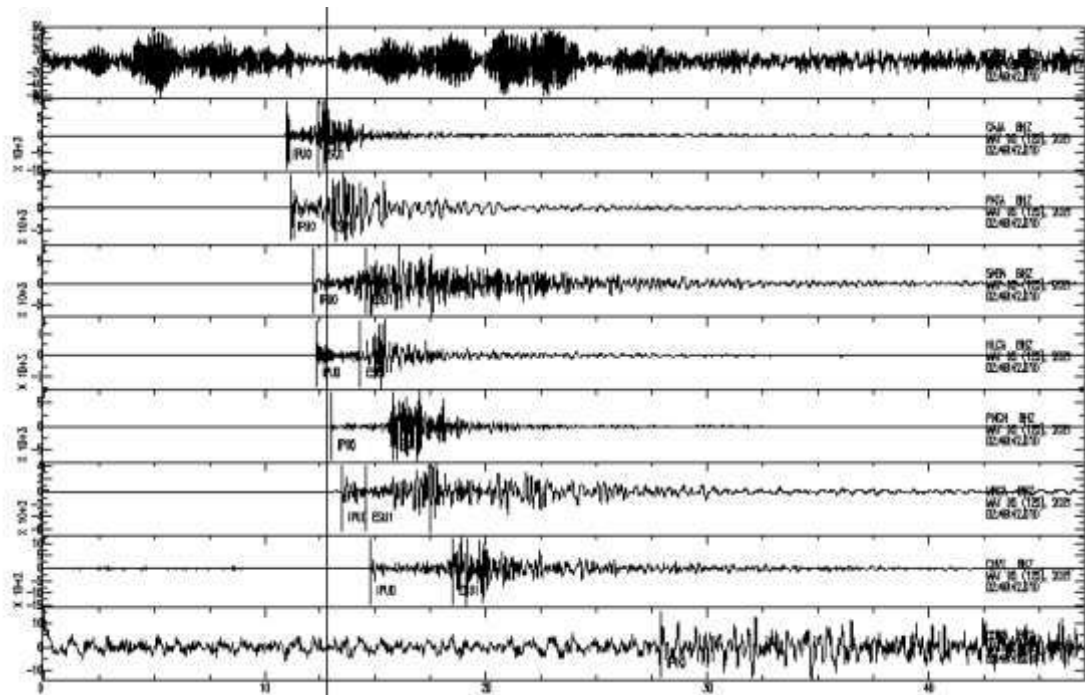


Figura 33.- Picado de fases sísmicas en SAC de señales del volcán Sabancaya.

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		

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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.

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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

ANEXO 1

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

! VOLCAN MISTI						! VOLCAN SABANCAYA					
VELOC	1	1	1.94	0.0	1.69	VELOC	1	1	2.87	0.0	1.65
VELOC	1	2	2.06	1.2	1.69	VELOC	1	2	4.34	2.5	1.53
VELOC	1	3	2.12	1.5	1.69	VELOC	1	3	5.30	3.5	1.69
VELOC	1	4	2.18	1.7	1.69	VELOC	1	4	5.49	4.5	1.66
VELOC	1	5	2.21	2.2	1.69	VELOC	1	5	5.55	5.5	1.66
VELOC	1	6	2.24	2.4	1.69	VELOC	1	6	5.66	6.5	1.69
VELOC	1	7	4.50	3.5	1.69	VELOC	1	7	5.71	7.5	1.68
VELOC	1	8	5.90	12.0	1.69	VELOC	1	8	5.72	8.5	1.66
VELOC	1	9	6.10	15.0	1.69	VELOC	1	9	5.72	10.0	1.63
VELOC	1	10	6.60	25.0	1.69	VELOC	1	10	5.72	11.5	1.60
VELOC	1	11	6.80	35.0	1.69	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						! VOLCAN AUQUIHUATO-SARASARA-COROPUNA					
VELOC	1	1	2.50	0.0	1.68	VELOC	1	1	3.32	0.0	1.70
VELOC	1	2	2.89	2.5	1.68	VELOC	1	2	3.94	1.5	1.70
VELOC	1	3	2.30	4.0	1.68	VELOC	1	3	4.09	3.0	1.70
VELOC	1	4	3.42	6.5	1.68	VELOC	1	4	4.30	4.5	1.70
VELOC	1	5	4.37	9.0	1.68	VELOC	1	5	5.36	6.0	1.70
VELOC	1	3	4.69	12.5	1.68	VELOC	1	3	5.42	7.5	1.70
VELOC	1	4	4.93	16.0	1.68	VELOC	1	4	5.47	13.0	1.70
VELOC	1	5	5.76	21.0	1.68	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: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO	Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

ANEXO 2

Red de estaciones sísmicas que conforman la Red Geofísica de Volcanes

N°	volcán	Estacion	latitud	longitud	altura (m)
1	Auquihuato	AUQ1	-15.129	-73.144	4561
2	Casiri	CAS1	-17.5	-69.782	4754
3	Chachani	CHA1	-16.169	-71.494	4872
4	Coropuna	COR1	-15.547	-72.695	5233
5	Coropuna	COR2	-15.337	-72.639	4467
6	Coropuna	COR3	-15.463	-72.607	4800
7	Coropuna	COR4	-15.546	-72.522	4991
8	Coropuna	SOL1	-15.411	-72.811	4593
9	Huaynaputina	HNP1	-16.692	-70.876	2918
10	Huaynaputina	HNP2	-16.481	-70.869	4164
11	Huaynaputina	HNP3	-16.601	-70.789	2651
12	Misti	MISA	-16.326	-71.398	4164
13	Misti	CMIS	-16.282	-71.397	4771
14	Misti	DMIS	-16.292	-71.401	5375
15	Misti	EMIS	-16.296	-71.414	5710
16	Misti	FMIS	-16.302	-71.373	4270
17	Misti	GMIS	-16.27	-71.433	3770
18	Purupuruni	PR01	-17.258	-69.898	4637
19	Purupuruni	CCTA	-17.483	-70.041	3068
20	Sabancaya	PATA	-15.755	-71.662	4962
21	Sabancaya	SAB0	-15.813	-71.847	5207
22	Sabancaya	CAJA	-15.837	-71.767	4504
23	Sabancaya	HLCA	-15.734	-71.848	5302
24	Sabancaya	MRCA	-15.752	-71.934	4952
25	Sabancaya	PNCH	-15.68	-71.869	4677
26	Sara Sara	SRA1	-15.337	-73.424	4629
27	Sara Sara	SRA2	-15.305	-73.362	3210
28	Ticsani	SPDR	-16.824	-70.633	4420
29	Ticsani	TCN1	-16.753	-70.605	5005
30	Ticsani	TCN2	-16.695	-70.55	5005
31	Tutupaca	TUT1	-17.018	-70.356	5198
32	Ubinas	UBI1	-16.332	-70.917	4862
33	Ubinas	UBI2	-16.325	-70.892	4810
34	Ubinas	UBI3	-16.332	-70.87	4686
35	Ubinas	UBI4	-16.363	-70.916	4642
36	Ubinas	UBI5	-16.382	-70.868	3544

	MANUAL DE USUARIO		Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO SISMOVOLCÁNICO		Código: MU N° 004-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

37	Ubinas	UBI6	-16.388	-70.903	4443
38	Ubinas	HSAL	-16.332	-71.16	4476
39	Yucamane	YCA1	-17.192	-70.185	4661
40	Yucamane	YCA2	-17.124	-70.15	4455

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

MANUAL DE USUARIO MU N° 005-2024-IGP

MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES

Versión 02

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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
02	05/09/2025	2. Se modifica en redacción y contenido
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 descarga de los datos, el procesamiento de la información, la caracterización de las emisiones volcánicas y la generación de series de tiempo relacionadas 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.

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 coordinar con el equipo de soporte de la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (OTIC) o la Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) si hubiera algún problema.

VI. MONITOREO DE EMISIONES VOLCÁNICAS MEDIANTE CÁMARAS DE VIGILANCIA

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), utiliza como método de observación visual un sistema de cámaras de vigilancia instaladas estratégicamente en los alrededores de 8 volcanes activos del país. Estas cámaras constituyen una herramienta esencial para el monitoreo en tiempo real de la actividad superficial, complementando los datos sísmicos, geodésicos y geoquímicos. El uso de cámaras de vigilancia permite además:

- Detectar de forma temprana explosiones, emisiones incandescentes y anomalías en el cráter.
- Verificar la persistencia y variación de las emisiones en el tiempo.
- Complementar la interpretación de otros sistemas de monitoreo, como los pronósticos de dispersión de cenizas (WRF, Ash3D, GOES-16).
- Generar insumos gráficos (fotografías y secuencias de video) para la elaboración de boletines, alertas y reportes técnicos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.1 Identificación de emisiones volcánicas

Los ocho volcanes activos que cuentan con vigilancia en tiempo real mediante cámaras de monitoreo se ubican en las regiones de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna. Siete de ellos se encuentran actualmente en nivel de alerta verde, mientras que uno permanece en alerta amarilla.

El volcán Sabancaya, clasificado en alerta amarilla, registra emisiones diarias y persistentes de gases y vapor de agua, alcanzando columnas de gran extensión. El volcán Ubinas presenta fumarolas continuas, mientras que en el volcán Misti se observan fumarolas ocasionales, principalmente durante las madrugadas.

En función de esta actividad, la red de cámaras de monitoreo se encuentra distribuida de la siguiente manera:

- **Volcán Ubinas:** Tres cámaras instaladas en Huayrapata, Salinas y Pichu Pichu.
- **Volcán Sabancaya:** Tres cámaras ubicadas en Hualca Hualca, Chivay y Cajamarca.
- **Volcán Misti:** dos cámaras localizadas en Sachaca y Chachani.
- **Volcanes Coropuna, Ticsani, Yucamane y Sara Sara:** cada uno dispone de una cámara principal de monitoreo, instalada en puntos estratégicos que garantizan una cobertura visual óptima del volcán.

Estas cámaras permiten la observación continua y en tiempo real de los procesos superficiales, lo que facilita la detección temprana de variaciones en la actividad volcánica y aporta información clave para el análisis científico y técnico del comportamiento de cada volcán, tal como se muestra en la Figura 1.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

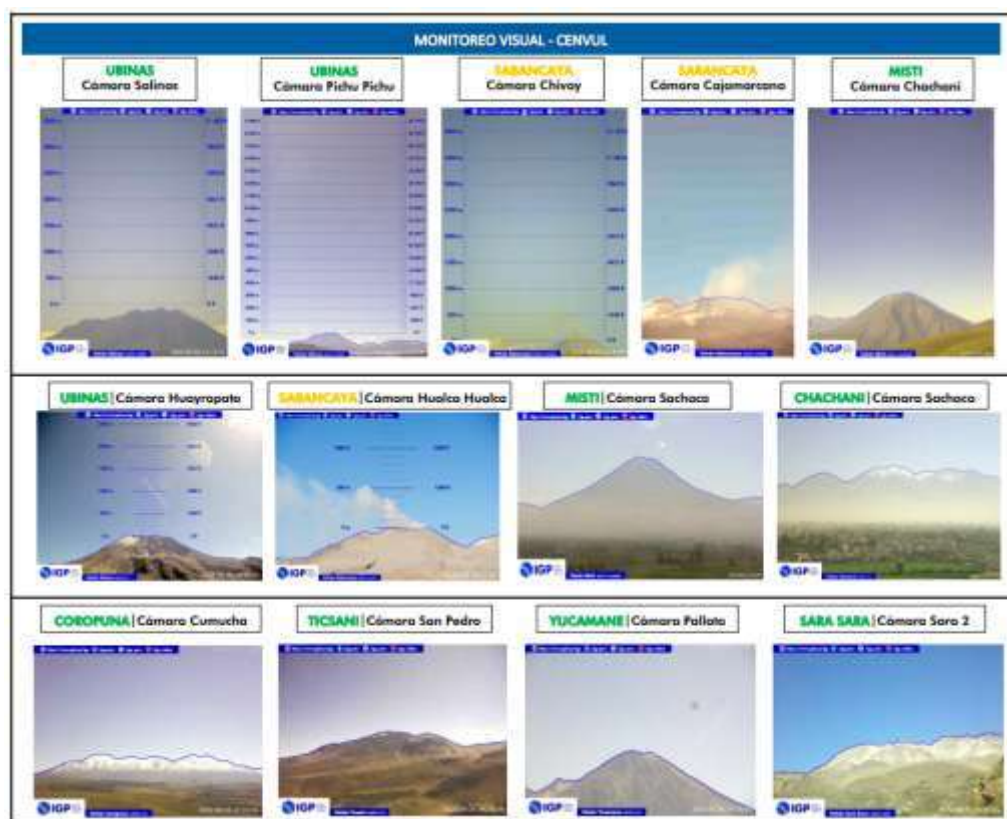


Figura 1.- Imágenes de cámaras de vigilancia ubicadas estratégicamente en 8 volcanes activos ubicados en las regiones de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna.

Uno de los productos principales del monitoreo visual es la estimación de las alturas de las columnas eruptivas o plumas volcánicas. Para este propósito, las imágenes captadas por las cinco cámaras instaladas en los volcanes Ubinas y Sabancaya cuentan con una escala de medición en metros, establecida a partir de la distancia conocida entre dos puntos de referencia del edificio volcánico (Figura 1). La línea de distancia entre ambos puntos consta de píxeles y, a cada píxel, 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 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.

6.2 Caracterización de las emisiones volcánicas

Una vez establecida la escala correspondiente para cada volcán, esta se aplica de manera automática a todas las imágenes de entrada, las cuales se

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

almacenan en una base de datos centralizada para su posterior procesamiento.

El análisis de la información se realiza diariamente en gabinete y en tiempo real, mediante el uso del programa interactivo en MatLab denominado “VulCAN” (Figura 2). Esta herramienta carga secuencias consecutivas de imágenes que permiten determinar de forma sistemática los siguientes parámetros de cada emisión:

- Hora de inicio y hora de máxima altura.
- Altura alcanzada por la columna eruptiva.
- Tipo y coloración de la emisión.
- Dirección de dispersión de la ceniza.

El procesamiento genera catálogos completos y estandarizados, que constituyen un insumo fundamental para la caracterización de las emisiones volcánicas por parte del operador de turno.

Adicionalmente, se desarrolló un script en lenguaje Python (ejecutado en el entorno Júpiter) el cual permite almacenar automáticamente las imágenes procesadas por el programa VulCAN, facilitando su archivo y consulta posterior.

El software se encuentra disponible para uso común del personal del CENVUL en la siguiente ruta de red:

Y:\CENVUL\sremotos\programas\VulCAN

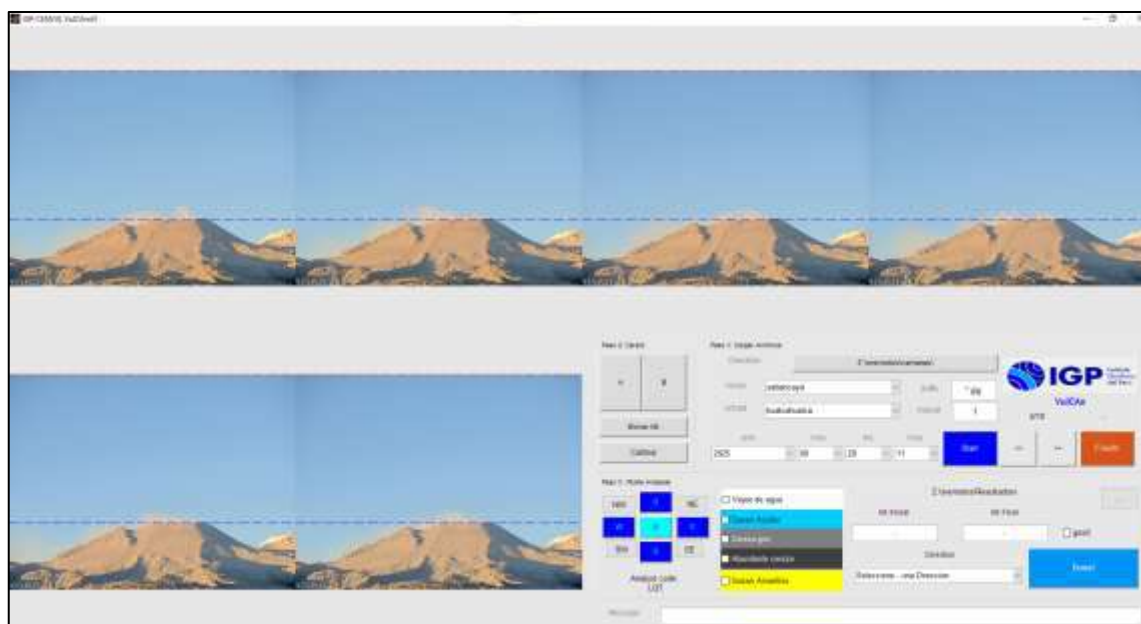


Figura 2.- Vista del entorno gráfico del programa VulCAN para procesar las imágenes generadas por la cámara de vigilancia del CENVUL.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

6.3 Procesamiento de imágenes

El procedimiento comprende las siguientes fases:

6.3.1. Descarga de imágenes

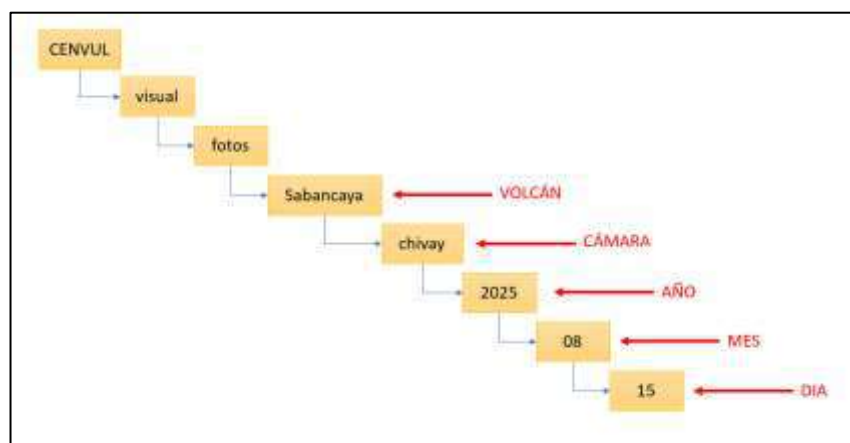
Para poder realizar el procesamiento de cada imagen tomada por las cámaras de vigilancia es necesario obtener dichas imágenes, para lo cual se cuenta con dos opciones:

- **Acceso directo al servidor NAS:** La primera opción es obtener las imágenes directamente desde el sistema de almacenamiento conectado a la red NAS. Para ello, se debe acceder a la ruta de red \CENVUL\sremotos\camaras.
- **Descarga mediante FTP:** La segunda opción es emplear el protocolo FTP para la transferencia de archivos. Este método requiere la configuración de un cliente FTP y credenciales autorizadas (usuario y contraseña) para ingresar a las carpetas de cada cámara.

IP	10.0.10.45
User	OVS
Pass	*****

6.3.2. Organización y almacenamiento:

Una vez descargadas las imágenes, estas se organizan en carpetas para garantizar la trazabilidad de la información y facilitar su búsqueda para análisis posteriores. La siguiente imagen muestra una propuesta de estructura de carpetas para la organización de las imágenes descargadas.



	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Figura 3. Propuesta de estructura de carpetas para organizar la información descargada.

6.3.3. Ingreso de parámetros visuales

El software VulCAN, procesa de forma interactiva las imágenes en serie para extraer los parámetros más relevantes de cada emisión volcánica. Este procedimiento comprende las siguientes etapas:

a. Asignación de la altura de la emisión:

- Se debe identificar la hora de inicio (jet) de cada emisión y la hora final correspondiente al momento en que la columna alcanza su máxima altura antes de ser dispersada por el viento.
- Las imágenes disponibles en la base de datos ya cuentan con una escala automática en metros o kilómetros, lo que facilita la obtención de la altura real.
- Es obligatorio registrar la altura inicial (jet) y la altura máxima de la emisión para mantener un control estandarizado (Figura 4).

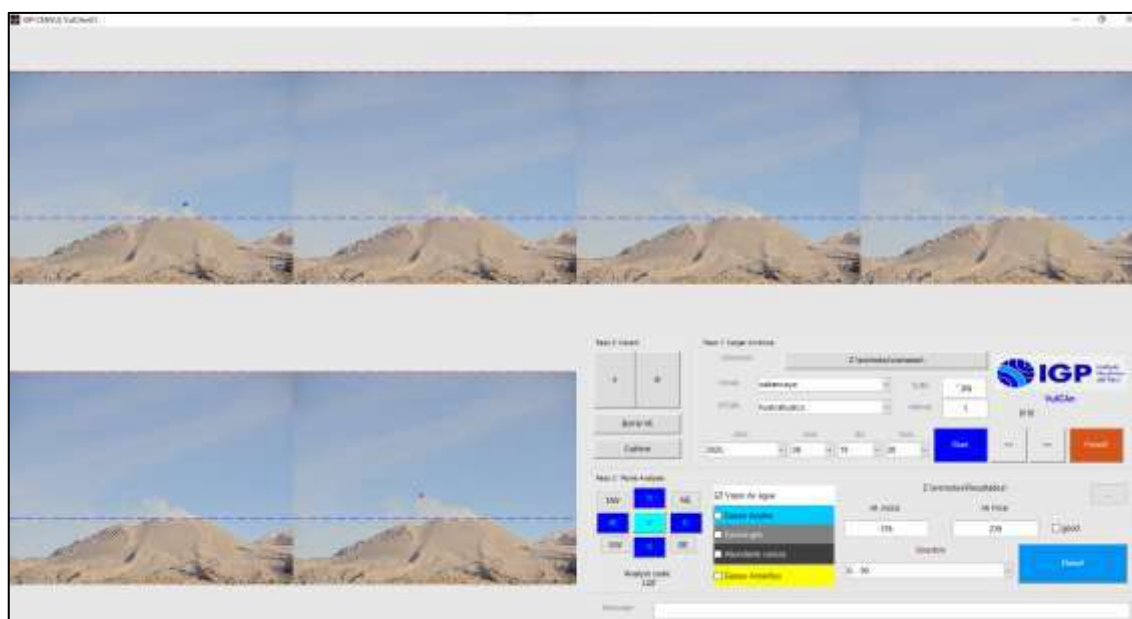


Figura 4.- Picado de la altura inicial (punto azul) y altura máxima de la emisión (punto rojo).

b. Identificación de la dirección de la emisión:

- Se debe determinar la dirección de desplazamiento de la pluma eruptiva, comprendida entre el jet inicial y la altura máxima alcanzada.
- Para ello, se utiliza la roseta de direcciones en grados sexagesimales (Tabla 1), confirmando la orientación mediante:
 - Las imágenes satelitales en tiempo real proporcionadas por el GOES-19.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- Los reportes de dirección de vientos proporcionados por el SENAMHI.
- En los casos en que un volcán cuente con al menos dos o tres cámaras ubicadas estratégicamente, es recomendable aplicar un método de triangulación para obtener una estimación más precisa de la dirección de la emisión.

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°
V	NAN	NAN

c. Tipificación de la densidad de la emisión:

- Mediante la observación directa de las imágenes, se clasifica la densidad de la emisión la cual está relacionada con el contenido de ceniza, vapor de agua y gases volcánicos.
- Esta caracterización se basa en la coloración observada (Tabla 2), que permite diferenciar entre emisiones de vapor, aerosoles de SO₂, ceniza moderada o ceniza abundante.

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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Blanco	Vapor de agua	3
Gris	Ceniza	4
Gris oscuro	Ceniza abundante	5

6.4 Resultados y actualización de la base de datos

6.4.1 Catálogo Visual

Al concluir el análisis de las imágenes obtenidas por las cámaras de vigilancia, el programa VulCAN genera de manera automática un archivo en formato .csv. Este archivo constituye el catálogo visual de emisiones volcánicas y contiene los parámetros básicos para su caracterización y seguimiento.

El archivo es almacenado en el NAS del CENVUL, dentro de la carpeta de resultados, en la siguiente ruta de red:

Y:\CENVUL\sremotos\resultados\visual

El archivo constituye la salida estandarizada del monitoreo visual y contiene los parámetros esenciales para la caracterización de las emisiones volcánicas. Su estructura es la siguiente (Figura 5):

- **startTime:** Fecha y hora del inicio de la emisión (jet inicial), expresada en formato UTC.
- **endTime:** Fecha y hora correspondientes a la altura máxima de la emisión, expresada en formato UTC.
- **jetHeight:** Altura inicial de la emisión, en metros.
- **maxHeight:** Altura máxima alcanzada por la emisión, en metros.
- **angle:** Dirección de desplazamiento de la emisión en grados sexagesimales (según Tabla 1).
- **description:** Clasificación de la densidad de la emisión, vinculada con su coloración y contenido (ceniza, vapor de agua, SO₂, etc.). Los resultados se codifican de acuerdo con los valores 1 a 5 (Tabla 2).
- **idVolcano:** Identificador del volcán analizado, representado mediante un código de hasta tres dígitos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

startTime	endTime	jetHeight	maxHeight	angle	description	idVolcano
2023-01-01T10:34:00.00	2023-01-01T10:56:30.00	100	800	270	3	SAB
2023-01-01T11:00:00.00	2023-01-01T11:02:30.00	100	1000	270	3	SAB
2023-01-01T14:00:00.00	2023-01-01T14:02:30.00	2700	3000	270	3	SAB
2023-01-01T15:12:00.00	2023-01-01T15:17:30.00	2200	2700	270	3	SAB
2023-01-01T15:12:00.00	2023-01-01T15:17:30.00	2200	2700	270	3	SAB
2023-01-02T13:58:00.00	2023-01-02T14:01:30.00	700	2000	270	3	SAB
2023-01-03T10:59:00.00	2023-01-03T11:02:30.00	200	1800	270	3	SAB
2023-01-03T19:40:00.00	2023-01-03T19:41:30.00	300	1000	270	3	SAB
2023-01-03T20:06:00.00	2023-01-03T20:07:30.00	200	1100	270	3	SAB
2023-01-03T20:36:00.00	2023-01-03T20:38:30.00	200	1800	270	3	SAB
2023-01-03T22:13:00.00	2023-01-03T22:15:30.00	300	1000	270	3	SAB
2023-01-03T10:59:00.00	2023-01-03T22:44:30.00	200	1800	270	3	SAB
2023-01-04T11:56:00.00	2023-01-04T11:59:30.00	500	1500	270	3	SAB
2023-01-04T11:56:00.00	2023-01-04T11:59:30.00	500	1500	270	3	SAB
2023-01-04T12:02:00.00	2023-01-04T12:59:30.00	700	1500	270	3	SAB
2023-01-04T12:02:00.00	2023-01-04T12:59:30.00	700	1500	270	3	SAB
2023-01-07T11:40:30.00	2023-01-07T11:42:00.00	700	1600	45	4	SAB
2023-01-07T12:57:30.00	2023-01-07T12:58:00.00	250	1000	45	4	SAB
2023-01-07T11:40:30.00	2023-01-07T11:42:00.00	700	1600	45	4	SAB
2023-01-07T17:57:30.00	2023-01-07T17:59:00.00	1500	2000	45	4	SAB
2023-01-08T10:27:01.00	2023-01-08T10:29:00.00	200	1000	45	4	SAB
2023-01-08T19:04:01.00	2023-01-08T19:06:00.00	700	1000	45	4	SAB
2023-01-08T19:15:01.00	2023-01-08T19:16:00.00	400	1000	45	4	SAB
2023-01-08T19:31:01.00	2023-01-08T19:32:00.00	600	1000	45	4	SAB
2023-01-08T19:54:01.00	2023-01-08T19:56:00.00	500	1200	45	4	SAB
2023-01-08T20:44:01.00	2023-01-08T20:046:00.00	400	1400	45	4	SAB
2023-01-09T11:31:01.00	2023-01-09T11:34:01.00	939	2106	45	4	SAB
2023-01-09T11:42:07.00	2023-01-09T11:45:01.00	649	1382	45	4	SAB
2023-01-09T11:52:01.00	2023-01-09T11:54:11.00	424	1006	45	4	SAB

Figura 5.- Catálogo de 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.

6.4.2 Visualización de series de tiempo

Con los datos actualizados del monitoreo visual, se generan de manera automática series de tiempo que representan las alturas de las emisiones volcánicas registradas diariamente. Estas series se encuentran disponibles a través del dashboard institucional del CENVUL, el cual permite la visualización dinámica y en tiempo real de la información procesada (Figura 6).

La disponibilidad de estas series de tiempo resulta de gran importancia, ya que:

- Facilita el seguimiento continuo de la actividad eruptiva.
- Permite correlacionar los resultados del monitoreo visual con los obtenidos mediante otras técnicas instrumentales (sismología, geodesia, geoquímica, entre otros).
- Contribuye a la elaboración de informes técnicos y alertas volcánicas, respaldados en evidencias gráficas y datos cuantitativos.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Figura 6. Grafica de series de tiempo de altura de emisiones.

VII. MONITOREO DE LAHARES MEDIANTE CÁMARAS DE VIGILANCIA

Similar al monitoreo de emisiones volcánicas, el monitoreo de lahares se realiza mediante observación visual a través de un sistema de cámaras de vigilancia instaladas estratégicamente en los alrededores de dos volcanes activos del sur país: Sabancaya y Misti. Estas cámaras constituyen una herramienta fundamental para el seguimiento en tiempo real de la actividad superficial, complementando la información obtenida a través del monitoreo sísmico.

El uso de cámaras de vigilancia permite:

- Detectar de manera temprana el descenso de lahares.
- Obtener registros visuales que sirvan como evidencia y apoyo para la elaboración de alertas, boletines y reportes técnicos.
- Complementar la interpretación de señales sísmicas para confirmar la ocurrencia y características del flujo de lahares.

Actualmente, los volcanes activos con vigilancia mediante cámaras en tiempo real se localizan en la región de Arequipa. La distribución es la siguiente:

- **Volcán Sabancaya:** dispone de una cámara (Pinchollo).
- **Volcán Misti:** dispone de nueve cámaras (Huarangal 1, Huarangal 2, Huarangueros 1, Huarangueros 2, Venezuela 1, Venezuela 2, San Lázaro 2, Pastores 1 y El Pato 1).

Estas cámaras permiten la observación en tiempo real, facilitando la detección temprana de lahares que descienden por las quebradas y además contribuyen significativamente al análisis científico y técnico del comportamiento de cada volcán, tal como se ilustra en las Figura 7 y 8.

Es importante destacar que la cámara ubicada en Pinchollo es la única que opera de forma continua las 24 horas del día durante todo el año. En contraste, las cámaras instaladas en el Misti funcionan únicamente de manera temporal, entre los meses de octubre y marzo, coincidiendo con la temporada de lluvias. Estas cámaras se observan en la web CENVUL (<https://grd.igp.gob.pe/lahares-huacos/>).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

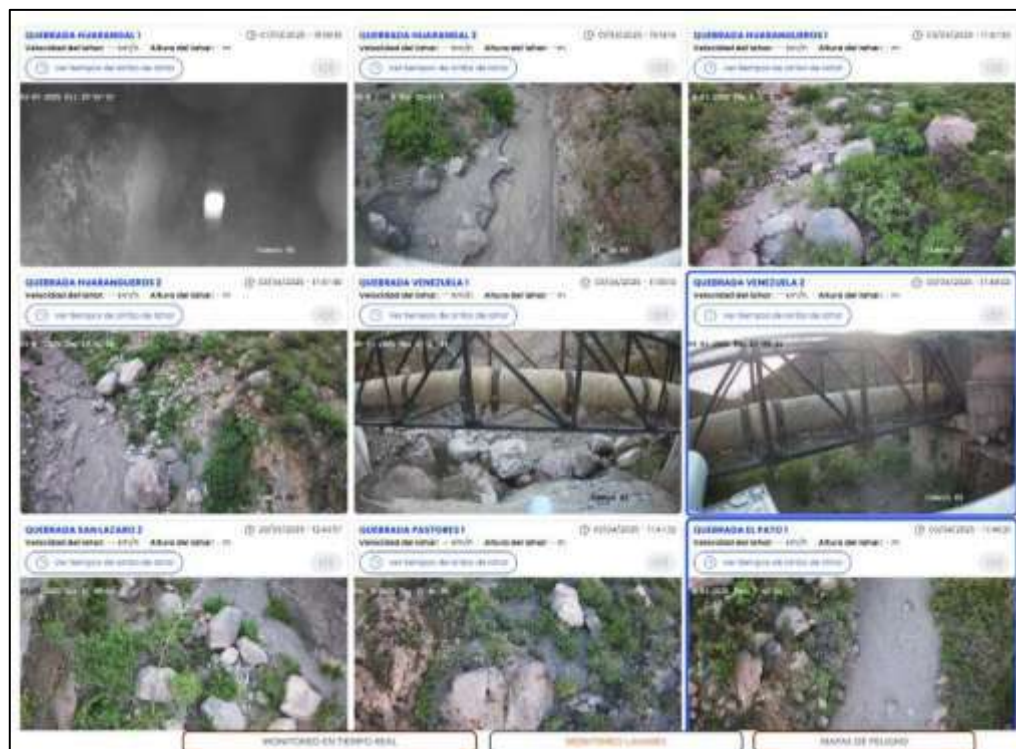


Figura 7.- Imágenes de 9 cámaras de vigilancia ubicadas estratégicamente en las quebradas del volcán Misti.



Figura 8.- Imagen de cámara de vigilancia ubicada en la quebrada Huayuray (Pinchollo).

7.1 Procedimiento de Monitoreo Visual de Lahares

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Este procedimiento se aplica de manera específica durante la temporada de lluvias, comprendida entre los meses de octubre y marzo en la ciudad de Arequipa, periodo en el cual aumenta la probabilidad de ocurrencia de lahares.

A. Antes del evento (*fase preventiva*)

- Verificar el correcto funcionamiento de las cámaras de vigilancia.
- Revisar la disponibilidad para acceder a las páginas web de las cámaras de vigilancia, web CENVUL.
- Confirmar que el registro de datos (imágenes) se almacenen de forma automática en el servidor (solo para la cámara pinchollo).
- Mantener un registro actualizado de las condiciones meteorológicas (lluvias, deshielos) que puedan favorecer la ocurrencia de lahares.

B. Durante el evento (*fase de observación en tiempo real*)

- Observar continuamente las cámaras durante periodos de lluvias intensas o señales sísmicas asociadas a lahares.
- Identificar y describir las características del flujo: inicio, hora, duración, volumen aparente, color, velocidad y trayecto.
- Capturar imágenes y/o videoclips representativos del evento.
- Registrar las observaciones en la bitácora de monitoreo (fecha, hora, cámara, descripción).
- El analista de turno deberá informar de manera inmediata la ocurrencia del lahar al coordinador de CENVUL. Posteriormente, y de acuerdo con los protocolos establecidos, se procederá a la emisión y publicación de las Alertas Vulcanológicas de Lahares dirigidas a las autoridades competentes, en caso de que el evento represente riesgo o peligro para la población.

C. Después del evento (*fase de documentación y análisis*)

- Revisar y clasificar las imágenes almacenadas, seleccionando los fragmentos más relevantes como evidencia.
- Generar insumos (imágenes, videos y descripciones) para boletines, informes y alertas a la población.

7.2 Tabla de registro de monitoreo visual de lahares

Este formato permite documentar las observaciones realizadas mediante cámaras de vigilancia durante las fases de preevento, durante y postevento de lahares (ver Tabla 3).

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Tabla 3.- Registro de monitoreo visual de lahares.

Fecha	Hora	Volcán	Cámara / Quebrada	Condiciones previas (lluvia / señales)	Descripción del evento	Hora fin / Duración	Evidencia (foto/video)	Acciones tomadas	Responsable

7.3 Recomendación para el registro en ausencia de lahares

Cuando no se presenten lahares durante el turno de vigilancia, el analista deberá completar igualmente la tabla de registro con los campos básicos de fecha, hora, volcán y cámara observada, a fin de garantizar la continuidad del monitoreo.

Para los demás campos se deberá consignar la información de la tabla 4:

Tabla 4.- Registro de ausencia de lahares

Campo	Qué registrar cuando no hay lahares
Descripción del evento	"Sin ocurrencia de lahares"
Condiciones previas	"Cielo despejado" / "Lluvia ligera" / "Sin señales sísmicas anómalas"
Acciones tomadas	"Monitoreo rutinario, sin novedad"

VIII. 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 cuenta con una plataforma desarrollada en 2025 (<http://10.0.10.45/goes19/>) que permite visualizar en tiempo real diversos productos de monitoreo, tales como imágenes de cámaras, viento-GFS, viento-WRF, GOES-19/Geocolor y GOES-19/Ceniza. Los modelos de dispersión que facilitan el análisis y la proyección del comportamiento de cenizas volcánicas y otros fenómenos atmosféricos son los siguientes:

8.1 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

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 9).

La página web es la siguiente:

<https://www.senamhi.gob.pe/site/volcan/?p=ModeloWrf>



Figura 9.- 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 10).



Figura 10.- Reporte del pronóstico del tiempo para el volcán Ubinas.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

8.2 GOES-19

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 11).

La página web es la siguiente:

https://rammb-slider.cira.colostate.edu/?sat=goes-19&sec=full_disk&x=10848&y=10848&z=0&angle=0&im=12&ts=1&st=0&et=0&speed=130&motion=loop&p%5B0%5D=geocolor&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



Figura 11.- Aplicativo web del satélite GOES-19.

8.3 Ash3D

El software Ash3d es un modelo atmosférico euleriano tridimensional utilizado para simular el transporte, dispersión y deposición 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 12) para emitir boletín u alerta por dispersión de ceniza.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Figura 12.- Modelo numérico de dispersión de ceniza Ash3D.

IX. 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 13):

Figura 13.- Formato elaborado para la emisión de alertas por dispersión de cenizas, contiene la información mínima requerida para la respuesta de las autoridades.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

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 contactos mencionados y mantenerla actualizada (Tabla 5). 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 6).

Tabla 5.- 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 6.- Lista de contactos de alcaldes y secretarios técnicos de Defensa Civil.

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

9.1 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 7):

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

Tabla 7.- 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:	• Centro Vulcanológico Nacional: cenvul@igp.gob.pe (+5154369212) • Katherine Vargas: kvargas@igp.gob.pe
Próxima Notificación:	CUANDO SE REGISTREN CAMBIOS SIGNIFICATIVOS EN LA DIRECCIÓN Y ALTURA DE LAS EMISIONES.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- **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)
- **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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

9.1.1 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 14).

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. (*) 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".
Alerta Verde AVIATION COLOR CODE:GREEN	Se considera que la actividad volcánica ha cesado y el volcán ha vuelto a su estado normal.

Figura 14. 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

9.1.2 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 8 y 9):

Tabla 8.- 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 9.- 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS

- **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.

X. ALERTAS DE DESCENSO DE LAHARES MEDIANTE CÁMARAS DE MONITOREO

Una alerta por descenso de lahares es un comunicado oficial que informa sobre la ocurrencia de flujos de lodo volcánico generados por la mezcla de agua y materiales volcánicos (cenizas, bloques, rocas, entre otros), los cuales descienden por las laderas y quebradas de un volcán.

Este tipo de alerta detalla la hora, ubicación, zonas de posible afectación y recomendaciones para la población y autoridades, con el objetivo de prevenir daños y reducir riesgos. Además, es importante destacar que, mientras se cuenta con cámaras instaladas en los volcanes Sabancaya y Misti, en los otros 11 volcanes se utilizan registros sísmicos de lahares para monitoreo, y se emiten las alertas correspondientes (ver Figura 15).

- **Día:** fecha.
- **Hora:** hora local (HL) (hh:mm am/pm).
- **Localización:** describir el sector y detallar la quebrada por la que desciende el lahar.
- **Áreas de posible afectación:** mencionar las zonas a ser afectadas.
- **Tipo de evento:** especificar que evento se observa.
- **Observaciones:** detallar de que se trata el evento mencionado.
- **Recomendaciones:** se mencionan las recomendaciones para la población y otra para las autoridades.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	MANUAL DE MONITOREO VISUAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS SUPERFICIALES	Código: MU N° 005-2024-IGP Sigla de Área: DCTS



Figura 15.- Formatos elaborado para la emisión de alertas por descenso de lahares, contiene la información mínima requerida para la respuesta de las autoridades.

El envío de la alerta es realizado por el analista de monitoreo visual de turno a través de correo electrónico y Grupo de WhatsApp de monitoreo. Asimismo, el responsable del monitoreo visual debe comunicar telefónicamente la ocurrencia del descenso de lahares a los contactos registrados en una base de datos, priorizando aquellos ubicados en los pueblos potencialmente afectados.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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 02

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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
02	02/09/2025	2. Se actualiza contenido y redacción
FORMULADO CENTRO VULCANOLÓGICO NACIONAL	REVISADO Y VISADO OFICINA DE PLANEAMIENTO, PRESUPUESTO Y MODERNIZACIÓN	APROBADO DIRECCIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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° 005-2025-MINAM - Decreto Supremo que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP.
- 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** Directiva N.° 002-2025-IGP, que regula la aprobación, modificación o derogación de documentos normativos del IGP.
- 2.11** Resolución de Gerencia General N° 034-IGP/2025, que dispone, con efectividad desde el 01 de junio de 2025, mantener vigentes o se cambie la dependencia, de las Unidades Funcionales que actualmente tiene el IGP, de conformidad con las funciones de las unidades de organización y la estructura orgánica establecida en el Anexo N° 1 del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Geofísico del Perú – IGP, aprobado por el Decreto Supremo N° 005-2025-MINAM.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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 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 Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT) 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 Comunicaciones (OTIC) 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

- 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.

VII. ÁREAS DE SOPORTE

7.1 Dirección de instrumentación geofísica y desarrollo tecnológico (DIGDT)

La DIGDT 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 Comunicaciones (OTIC)

La OTIC, 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 (Datos Brutos) 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: 02
	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: DCTS

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 “Loki.exe”. 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 catalogo 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: 02
	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: DCTS

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).

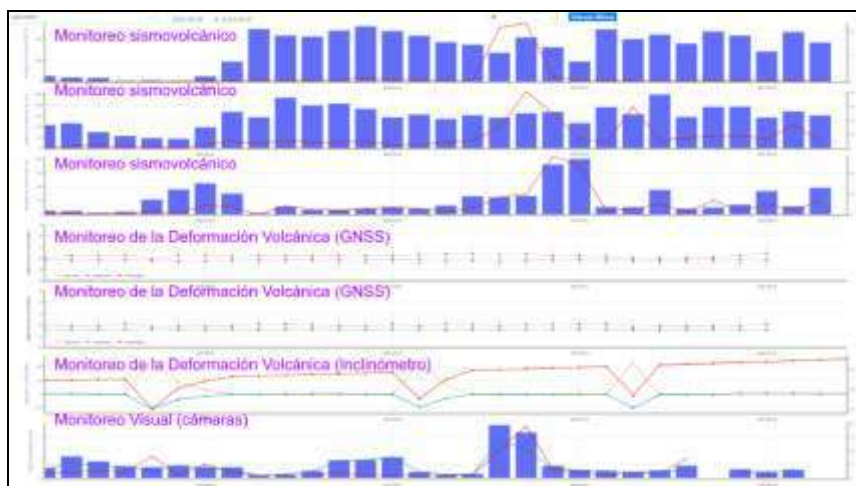


Figura 1.- Dashboard de monitoreo del CENVUL: datos multiparamétricos del volcán Ubinas, utilizados para el análisis de la información, correlación y posterior interpretación.

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: 02
	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: DCTS

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 vulcanología de la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida (DCTS) 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.

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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 Mensual	MEDIO Quincenal	ALTO Semanal	MUY ALTO Quincenal
Parámetros de actividad volcánica				
Deformación Superficial	Sin deformación de la superficie por actividad volcánica.	Possible deformación de la superficie mayor a un centímetro por año debido a intrusiones magmáticas.	Possible deformación de la superficie debido a intrusiones magmáticas (>3cm/año) y/o fuentes superficiales.	Deformación crítica de la superficie debido a intrusiones magmáticas 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 Ton/d. 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)	Emisiones de gases con alturas menores a 500 m. Campos fumarólicos reducidos, con emisiones casi imperceptibles.	Se registra incremento en la cantidad y altura de las emisiones fumarólicas. Eventual contenido de ceniza.	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 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.	Presencia de anomalías térmicas, VRP < 10 MW.	Presencia de anomalías térmicas, VRP < 100 MW.	Presencia de anomalías térmicas, VRP > 100 MW.
Productos Volcánicos Emitidos y Procesos Asociados:	En esta etapa no se presentan emisiones de ceniza.	Emisión de algunos bloques balísticos (fragmentos rocosos) de menor tamaño con alcance menor a 1 km. Cada 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. Caida 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 .	Cada 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: 02
	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: DCTS

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,

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

el alcance de los productos volcánicos (si hubiese) y las 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: 02
	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: DCTS



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: 02
	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: DCTS

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	• 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	• 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: 02
	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: DCTS

	alto riesgo. • Ante la caída de ceniza, cubrirse la nariz y boca con paños húmedos o mascarillas. Mantener cerradas las puertas y ventanas de las viviendas.
3	• 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	• 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	• 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: 02
	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: DCTS

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 de la Dirección en Ciencias de la Tierra Sólida (DCTS).

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.

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 acuerdo al cronograma mensual de monitoreo del CENVUL, identifica, luego del análisis y correlación de la información vulcanológica, un comportamiento

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

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	- Mantener el monitoreo constante. Cualquier señal anómala deberá ser consultada con el coordinador(a) del CENVUL. - De confirmar la actividad anómala, el Coordinador(a) convocará al Comité Evaluador. - Emitir un boletín vulcanológico extraordinario que establezca el cambio de nivel de alerta e informando sobre la intranquilidad o anomalía. - Mantener el monitoreo constante.
2	
3	
4	

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.

Con base en la disponibilidad de instrumentación adicional almacenada en el IGP 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 volcán en emergencia mediante la presentación de un consolidado de programas de trabajo para un periodo no menor a 30 días (Anexo VII). Dicho

	MANUAL DE USUARIO	Versión: 02
	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: DCTS

consolidado se envía al director de la DCTS para la aprobación presupuestaria y ejecución programada.

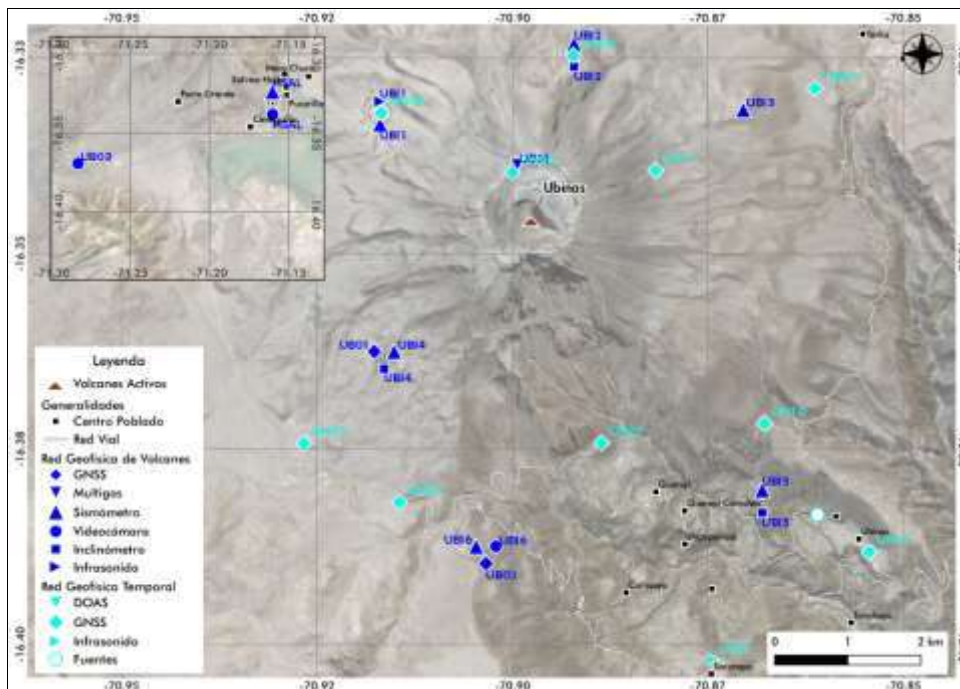


Figura 4.- Ejemplo de Red Geofísica Temporal (símbolos celestes) desplegada en el volcán Ubinas para la crisis eruptiva de 2023.

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: 02
	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: DCTS

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: 02
	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: DCTS

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: DCTS

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:	Diaria	

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

CENVUL	Periodo	Febrero-2024																													
		Días																													
		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	Auquihualo 1 (AUQ1)																														
2	Casiri 1 (CAS1)																														
3	Chachani 1 (CHCH)																														
4	Coropuna 1 (COR1)																														
5	Coropuna 2 (COR2)																														
6	Coropuna 3 (COR3)																														
7	Coropuna 4 (COR4)																														
8	Solimena (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	Cajamarcona (CAJA)																														
19	Patapampa (PATA)																														
20	Sabancaya (SABA)																														
21	Hualca Hualca (HILCA)																														
22	Mucurca (MURCA)																														
23	Pinchillo (PNCHI)																														
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 (SPOR)																														
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 Huata (H5AL)																														
41	Purupuruni (PURU)																														
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	Auquihualo 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: DCTS

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: DCTS

	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: DCTS

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 VEHICULO 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: DCTS

	PROGRAMA DE TRABAJO	Código: 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
TOTAL (2)					S/

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