



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
NEVADO DEL HUILA, PURACÉ, SOTARÁ Y SUCUBÚN
FEBRERO DE 2022**

Popayán, marzo de 2022



**El futuro
es de todos**

Minenergía

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Oscar Eladio Paredes Zapata
Director General

Marta Lucía Calvache Velasco
Directora Técnica Geoamenazas

Adriana del Pilar Agudelo Restrepo
Coordinadora Técnica OVS Popayán

AUTORES

Cristian Camilo Santacoloma
Andrés Hernando Narvárez Zúñiga
Carlos Alberto Ospina Caicedo
Diana Marcela Quintero García
Jaime Raigosa Arango
Jesús David Cerón Bravo
Jorge Armando Alpala Aguilar
José Eduardo Gómez Daza
Julián Sánchez Vargas
Laura Camila Barrantes Diago
Luisa Fernanda Meza Maldonado
Nicolás Antonio Oliveras Mercado
Oscar Hernán Manzo Ortiz
Rosa Liliana Alpala Aguilar

Grupo de trabajo

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán

Citación: Santacoloma, C. (2022). Informe mensual de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Puracé, Sotará y Sucubún. Popayán:Servicio Geológico Colombiano.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN		9
1	FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO VOLCÁNICO Y SÍSMICO DEL SEGMENTO CENTRAL DEL PAIS	11
1.1	Red de vigilancia Volcán Nevado del Huila	11
1.1.1	Generalidades	11
1.1.1.1	Red de estaciones sísmicas.	11
1.1.1.2	Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo.	11
1.1.1.3	Cámaras web.	13
1.1.1.4	Deformación volcánica.	13
1.1.1.5	Electromagnetismo.	13
1.1.1.6	Sensor de infrasonido.	13
1.1.2	Funcionamiento de estaciones	14
1.2	Red de vigilancia Volcán Puracé	15
1.2.1	Generalidades	15
1.2.1.1	Red de estaciones sísmicas.	15
1.2.1.2	Red de deformación.	17
1.2.1.3	Cámaras web.	18
1.2.1.4	Electromagnetismo.	18
1.2.1.5	Geoquímica.	19
1.2.1.6	Meteorología.	20
1.2.1.7	Sensor de infrasonido.	20
1.2.2	Funcionamiento de estaciones	20
1.3	Red de vigilancia Volcán Sotará	21
1.3.1	Generalidades	21
1.3.1.1	Red de estaciones sísmicas.	21
1.3.1.2	Red de deformación.	21
1.3.1.3	Geoquímica.	22
1.3.1.4	Cámaras web.	23
1.3.2	Funcionamiento de estaciones	23
1.4	Red de vigilancia Volcán Sucubún	24
1.4.1	Generalidades	25
1.4.1.1	Red de estaciones sísmicas.	25
1.4.1.2	Cámaras web.	26
1.4.2	Funcionamiento de estaciones	27
2	VOLCÁN NEVADO DEL HUILA	28

2.1	SISMOLOGÍA	28
2.1.1	Actividad sísmica	28
2.1.2	Energía sísmica liberada	29
2.1.3	Localización de eventos sísmicos	30
2.1.3.1	Localización de eventos asociados a procesos de fractura.	30
2.2	DEFORMACIÓN	32
2.2.1	Inclinometría electrónica	33
2.2.2	Procesamiento de líneas base GNSS	33
2.2.3	Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK	34
2.2.4	Interferometría diferencial de radar (D-INSAR)	35
2.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	35
2.3.1	Registro de la actividad superficial	35
2.4	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	38
2.5	GEOQUÍMICA	39
2.5.1	Medidas móviles del flujo de dióxido de azufre (SO_2)	39
2.6	CONCLUSIÓN.	42
3	VOLCÁN PURACÉ	43
3.1	SISMOLOGÍA	44
3.1.1	Actividad sísmica	44
3.1.2	Energía sísmica liberada	44
3.1.3	Localización de eventos sísmicos	45
3.1.3.1	Localización de eventos asociados con procesos de fractura.	45
3.2	DEFORMACIÓN	47
3.2.1	Inclinometría electrónica	47
3.2.2	Procesamiento de líneas base GNSS	48
3.2.3	Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK	49
3.2.4	Interferometría diferencial de radar (D-INSAR)	50
3.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	50
3.4	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	53
3.4.1	Potenciales eléctricos espontáneos	53
3.4.2	Magnetometría	53
3.5	GEOQUÍMICA	55
3.5.1	Medidas de dióxido de carbono	55
3.5.2	Medidas de gas Radón	58
3.5.3	Fuentes Termales	59
3.5.4	Termometría	59
3.5.4.1	Medidas con termocupla portátil fuentes termales	61
3.5.4.2	Medidas con termocupla telemétrica en fumarola lateral	61
3.5.5	Medidas de dióxido de azufre	62
3.6	CONCLUSIÓN.	65
4	VOLCÁN SOTARÁ	66
4.1	SISMOLOGÍA	67
4.1.1	Actividad sísmica	67
4.1.2	Energía sísmica liberada	68
4.1.3	Localización de eventos sísmicos	69

4.1.3.1	Localización de eventos asociados con procesos de fractura.	69
4.2	DEFORMACIÓN	71
4.2.1	Inclinometría electrónica	71
4.2.2	Procesamiento de líneas base GNSS	71
4.2.3	Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK	72
4.2.4	Interferometría diferencial de radar (D-InSAR)	72
4.2.5	Medición electrónica de distancias (EDM)	72
4.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	74
4.3.1	Registro de actividad superficial	74
4.4	CONCLUSIÓN	75
5	VOLCÁN SUCUBÚN	76
5.1	SISMOLOGÍA	77
5.1.1	Actividad Sísmica	77
5.2	DEFORMACIÓN	77
5.2.1	Interferometría diferencial de radar	77
5.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	78
5.3.1	Registro de actividad superficial	78
5.4	CONCLUSIÓN.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Funcionamiento de las estaciones de la red de vigilancia.	11
Figura 2	Mapa de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.	12
Figura 3	Red de monitoreo de estaciones sísmicas del volcán Nevado del Huila. .	12
Figura 4	Red de monitoreo de la actividad superficial del volcán Nevado del Huila.	13
Figura 5	Red de vigilancia en deformación actual del volcán Nevado del Huila. .	14
Figura 6	Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Nevado del Huila.	14
Figura 7	Mapa de la red de vigilancia del volcán Puracé.	15
Figura 8	Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé.	18
Figura 9	Red de vigilancia en deformación actual del volcán Puracé.	19
Figura 10	Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la activi- dad superficial en el volcán Puracé.	19
Figura 11	Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Puracé. . .	20
Figura 12	Red de vigilancia en fisicoquímica del Volcán Puracé	21
Figura 13	Red de vigilancia del volcán Sotará.	22
Figura 14	Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará.	23
Figura 15	Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará.	24
Figura 16	Red de vigilancia en fisicoquímica del volcán Sotará.	24
Figura 17	Red de vigilancia de actividad superficial del volcán Sotará.	25
Figura 18	Red de vigilancia del volcán Sucubún.	25
Figura 19	Red de vigilancia en sismología del volcán Sucubún.	26
Figura 20	Red de vigilancia en actividad superficial del volcán Sucubún.	26
Figura 21	Volcán Nevado del Huila.	28
Figura 22	Mapa de localización del Volcán Nevado del Huila.	29
Figura 23	Número de eventos registrados diariamente en el volcán Nevado del Huila.	29
Figura 24	Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Nevado del Huila entre enero de 2021 y febrero de 2022.	30
Figura 25	Raíz de la energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el VNH entre el 1 y el 28 de febrero de 2022.	30
Figura 26	Raíz del valor acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el VNH entre enero de 2021 y febrero de 2022.	31
Figura 27	Mapa de localización de los eventos volcano–tectónicos del volcán Ne- vado del Huila para el mes de febrero de 2022.	32
Figura 28	Distribución de magnitudes de los eventos localizados en el VNH du- rante el último año.	32

Figura 29	Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto.	33
Figura 30	Serie de tiempo líneas base del volcán Nevado del Huila.	34
Figura 31	Serie temporal para la estación GNSS permanente CALO.	34
Figura 32	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Nevado del Huila.	35
Figura 33	Velocidades promedio día. Modelo pronóstico IDEAM–WRF VNH.	36
Figura 34	Imágenes captadas por la cámara web Tafxnú.	36
Figura 35	Imágenes captadas por la cámara web Caloto.	37
Figura 36	Imágenes captadas por la cámara web Maravillas.	37
Figura 37	Imágenes captadas por la cámara web La Palma.	38
Figura 38	Campo magnético local en la estación de Caloto (nT) del volcán Nevado del Huila.	39
Figura 39	Detalle de la columna de SO_2 medida el 14 de febrero de 2022.	40
Figura 40	Rutas Medidas móviles de flujo de SO_2 7 y 14 de febrero de 2022.	40
Figura 41	Flujo de SO_2 calculado enero de 2011 y febrero de 2022.	41
Figura 42	Velocidades del viento asumidas para el cálculo de flujo de SO_2 emitido por el VNH.	41
Figura 43	Volcán Puracé.	43
Figura 44	Mapa de localización del volcán Puracé y la cadena volcánica de Los Coconucos.	44
Figura 45	Número de sismos registrados diariamente en el volcán Puracé durante el mes de febrero de 2022.	45
Figura 46	Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Puracé en el último año.	45
Figura 47	Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el mes de febrero de 2022.	46
Figura 48	Acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el último año.	46
Figura 49	Mapa de localización de eventos volcano–tectónicos del volcán Puracé.	47
Figura 50	Diagrama de dispersión de los valores de magnitud local calculados para eventos tipo VT localizados el último año en el volcán Puracé.	47
Figura 51	Comportamiento del inclinómetro electrónico Guañarita	48
Figura 52	Localización de las líneas base, volcán Puracé.	48
Figura 53	Resultados de líneas Base del volcán Puracé.	49
Figura 54	Serie temporal para la estación GNSS permanente CURI.	49
Figura 55	Velocidades diarias registradas por los anemómetros de Mina, Cocuy y Agua Bonita.	51
Figura 56	Mosaico de imágenes cámara web Mina.	51
Figura 57	Mosaico de imágenes cámara web Lavas Rojas.	52
Figura 58	Mosaico de imágenes cámara web Anambío.	52
Figura 59	Imagen cámara web de Cerro Sombrero.	53
Figura 60	Potencial eléctrico espontáneo registrado en el volcán Puracé.	54
Figura 61	Campo magnético local en la estación de Laguna (nT) del volcán Puracé.	54
Figura 62	Campo magnético local en la estación de Agua Blanca (nT) del volcán Puracé.	55
Figura 63	Variación de la concentración de CO_2 en suelo de la estación Cráter.	56

Figura 64	Variación de la concentración de CO_2 en suelo de la estación Cocuy3.	57
Figura 65	Variación de la concentración de CO_2 en suelo de la estación Piñuelas.	57
Figura 66	Variación de la concentración de CO_2 en suelo de la estación San Juan.	57
Figura 67	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Guañarita.	58
Figura 68	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Cráter.	58
Figura 69	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Cocuy3.	59
Figura 70	Imágenes de algunas de las fuentes termales.	60
Figura 71	Variación del pH en fuentes termales del Volcán Puracé.	60
Figura 72	Variación de la conductividad eléctrica en las fuentes termales del Volcán Puracé.	61
Figura 73	Variación de temperatura en las fuentes termales (medidas directas) del volcán Puracé.	62
Figura 74	Temperaturas campo fumarólico.	63
Figura 75	Direcciones preferenciales del viento en el volcán Puracé.	64
Figura 76	Representación del flujo diario de SO_2 emitido por el volcán Puracé, estación Vinagre.	64
Figura 77	Representación del flujo diario de SO_2 emitido por el volcán Puracé, estación Vinagre.	65
Figura 78	Fotografía panorámica del volcán Sotará.	66
Figura 79	Mapa de localización del volcán Sotará.	67
Figura 80	Número de eventos registrados diariamente en el Volcán Sotará.	68
Figura 81	Número de eventos registrados mensualmente en el volcán Sotará entre febrero de 2021 y febrero de 2022.	68
Figura 82	Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará.	69
Figura 83	Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sotará entre febrero de 2021 y febrero de 2022.	69
Figura 84	Mapa de localización de eventos volcano–tectónicos del volcán Sotará.	70
Figura 85	Magnitud Local de los eventos VT localizados en el volcán Sotará durante el mes de febrero de 2022.	70
Figura 86	Comportamiento del inclinómetro electrónico Triángulo.	71
Figura 87	Localización de líneas base GNSS en el volcán Sotará.	71
Figura 88	Resultados de líneas Base del volcán Sotará.	72
Figura 89	Serie temporal para la estación GNSS permanente DANT.	73
Figura 90	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Sotará.	73
Figura 91	Línea base de mediciones EDM en el volcán Sotará desde las base FL1.	74
Figura 92	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Cerro Crespo.	74
Figura 93	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas–Sotará.	75
Figura 94	Fotografía panorámica del volcán Sucubún.	76
Figura 95	Mapa de localización del volcán Sucubún.	77
Figura 96	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Sucubún.	78
Figura 97	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas–Sucubún.	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila. . . .	15
Tabla 2	Características de la red de vigilancia telemétrica del volcán Puracé. . .	16
Tabla 3	Características de la red de vigilancia no telemétrica del volcán Puracé.	17
Tabla 4	Características de la red de vigilancia telemétrica del volcán Sotará. . .	22
Tabla 5	Características de la red de vigilancia no telemétrica del volcán Sotará. .	23
Tabla 6	Características de la red de vigilancia del volcán Sucubún.	27
Tabla 7	Resumen de las ubicaciones de las columna de SO_2 detectadas en el mes de febrero 2022.	39
Tabla 8	Resultado de las medidas de SO_2 realizadas en el mes de febrero 2022.	39
Tabla 9	Potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica para las fuentes termales asociadas al volcán Puracé.	60
Tabla 10	Listado de temperaturas de fuentes termales.	62

RESUMEN

Durante el mes de febrero de 2022 los volcanes del segmento central de Colombia presentaron un comportamiento estable. Los datos obtenidos mediante las diferentes técnicas usadas en el monitoreo volcánico mostraron que la actividad de los volcanes permaneció dentro de los niveles observados en los últimos meses, con algunas variaciones que son normales dentro de su dinámica natural.

La actividad sísmica del **volcán Nevado del Huila** registrada entre el 1 y el 28 de febrero se caracterizó por tener predominio de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, la cual no presentó variaciones a destacar, con número de eventos y valores de energía liberada que estuvieron dentro de lo observado durante los últimos meses. Por su parte, los eventos VT localizados se concentraron en las fuentes sísmicas usuales en este volcán, 23 *km* al SE del Pico Central se presentó un sismo de magnitud 3.5 M_L , el día 5 de febrero, que fue reportado como sentido por habitantes del municipio de Páez (Cauca). Las demás técnicas implementadas para la vigilancia volcánica, como deformación del suelo, electromagnetismo, ondas de infrasonido y cámaras web para el monitoreo de la actividad superficial, no detectaron cambios asociados a variaciones en la actividad del volcán.

Durante el mes de febrero la actividad del **volcán Puracé** mostró un leve incremento en el número de eventos diarios registrados y en la energía liberada por los mismos, que por el momento no representa alteraciones en el comportamiento habitual del sistema volcánico. El registro sísmico obtenido para el periodo evaluado permitió observar un amplio predominio de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, lo cual corresponde al comportamiento observado en los últimos años para este sistema volcánico. La sismicidad tipo VT se localizó principalmente en un radio menor a 2.5 *km* respecto al cráter del volcán, con profundidades entre 1 y 5 *km*. El análisis realizado a las imágenes obtenidas mediante las cámaras web para el monitoreo de la actividad superficial, no presentó variaciones en el comportamiento del flujo de gases emitido a través de las fumarolas interna y lateral del volcán. El monitoreo de las emisiones de SO_2 (Dióxido de azufre) y CO_2 (Dióxido de Carbono) de la zona circundante al cráter y en los flancos del edificio volcánico, al igual que los parámetros fisicoquímicos y de temperatura en las fuentes termales asociadas al volcán Puracé, mostró valores que se encuentran dentro de las líneas base que se tienen estimadas para el volcán. Los datos obtenidos a partir del monitoreo de deformación del suelo muestran un proceso deformativo leve, asociado probablemente a una fuente superficial, que seguirá siendo evaluado constantemente, con el fin de evaluar su incidencia en la actividad volcánica. Las estaciones de electromagnetismo, potencial eléctrico espontáneo y ondas de infrasonido no mostraron variaciones que puedan indicar cambios en la actividad del volcán.

La actividad del **volcán Sotará** en el mes de febrero se mantuvo dentro de los rangos registrados en los últimos meses. Predominó levemente la ocurrencia de sismicidad asociada a la dinámica de fluidos sobre la sismicidad de tipo VT. Las localizaciones obtenidas se concentraron principalmente bajo el edificio volcánico, con profundidades menores a 5 *km*. Tanto la sismicidad de fluidos como la sismicidad tipo VT presentaron valores bajos de energía liberada. Los datos obtenidos mediante la red de monitoreo de la deformación del suelo y la técnica de interferometría diferencial de radar, continuaron mostrando una tendencia estable. Finalmente, las imágenes obtenidas por las cámaras web no mostraron variaciones a

destacar.

Durante el periodo evaluado, el **volcán Sucubún** no presentó actividad sísmica, de igual forma no se detectaron cambios con la técnica de interferometría diferencial de radar, ni hubo registro de actividad superficial.

1 FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO VOLCÁNICO Y SÍSMICO DEL SEGMENTO CENTRAL DEL PAIS

Los valores del porcentaje de funcionamiento para todas las estaciones telemétricas (transmisión por radio constante y recepción de datos ininterrumpida) se calculan en función del funcionamiento de su sistema telemétrico y de adquisición de datos (50%), así como de la calidad de la señal (50%); es decir, validando que los datos adquiridos sean aptos para su procesamiento. La fórmula que se aplica es la raíz cuadrada de la multiplicación de la adquisición y la calidad. La gráfica de estimación del funcionamiento de estaciones se muestra en la figura 1.

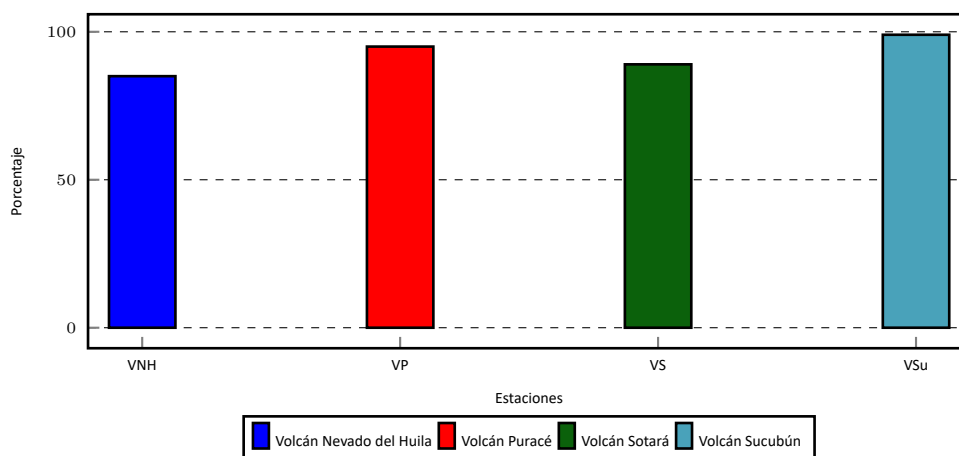


Figura 1: Funcionamiento de las estaciones de la red de vigilancia durante febrero de 2022.

1.1 Red de vigilancia Volcán Nevado del Huila

La red de vigilancia del volcán Nevado del Huila está compuesta por 16 estaciones, equipadas con instrumentos empleados para medir diferentes parámetros físicos en el área de influencia del volcán, mediante técnicas tales como Geofísica, Geoquímica y Deformación. Constantemente se hace un seguimiento al desempeño y operatividad de toda la red de vigilancia, la cual se evalúa en términos porcentuales. En la tabla 1 se observan las características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila, mientras que en la figura 2 se ilustra la localización de cada estación operativa que conforma la de red de vigilancia.

1.1.1 Generalidades

1.1.1.1 Red de estaciones sísmicas. El volcán Nevado del Huila cuenta en la actualidad con una red de seis (6) estaciones sísmicas, cinco (5) de tipo banda ancha y uno (1) de corto período, en el orden mencionado, se denominan y ubican en los siguientes sectores: Buco (BUCBA), 10.9 km al SO del Pico Central; Maravillas (MARBA), 12.5 km al SE del Pico Central; Tafxnú (TAFBA), 21.5 km al SO del Pico Central; La Palma (PALBA), 34.2 km al SE del Pico Central; La Bella (BELBA), 28.1 km al NE del Pico Central; y Caloto (CALCO), 4.04 km al SO del Pico Central (figura 3).

1.1.1.2 Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo. La red de estaciones para monitoreo de flujos de lodo fue instalada en octubre de 2006, bajo el convenio interinstitucional suscrito entre el entonces denominado INGEOMINAS (OVS-Popayán), la Corporación

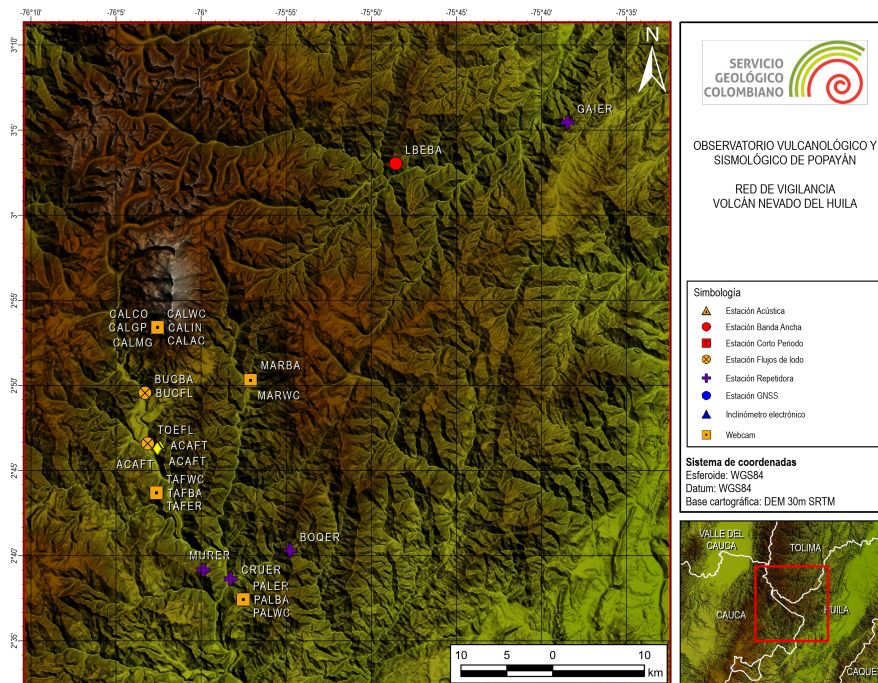


Figura 2: Mapa de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.

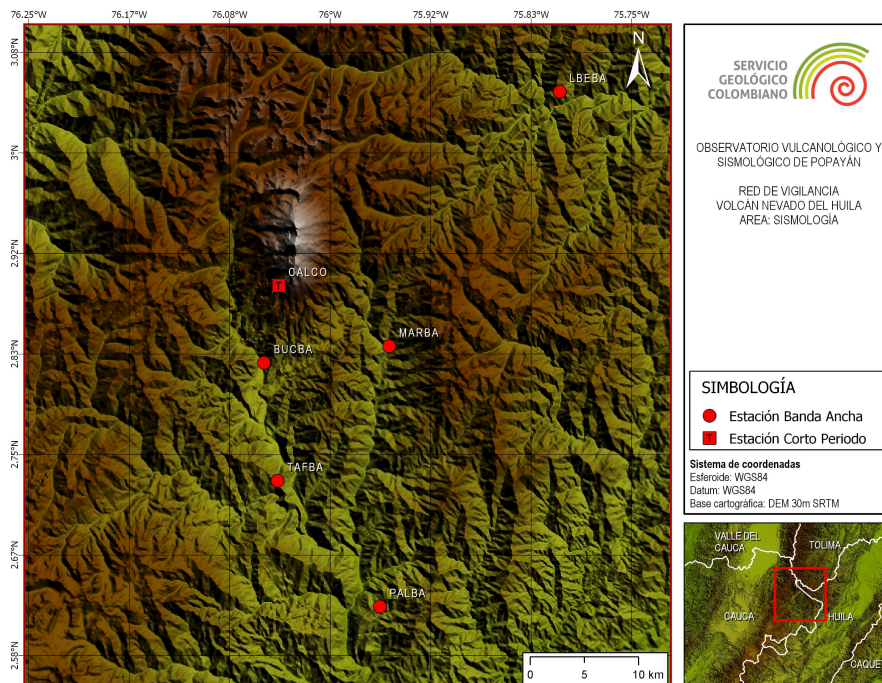


Figura 3: Red de monitoreo de estaciones sísmicas del volcán Nevado del Huila.

NASA KIWE, la DGPAD (ahora UNGRD) y la alcaldía de Páez. La red de monitoreo de flujos de lodo actualmente está compuesta por dos (2) estaciones instaladas sobre la cuenca del río Páez.

1.1.1.3 Cámaras web. El volcán Nevado del Huila cuenta con cuatro (4) cámaras con conexión IP para el monitoreo de la actividad superficial. Estos equipos se encuentran ubicados en el extremo S del edificio volcánico, en los sectores denominados Tafxnú (21.8 km al SO del Pico Central), Maravillas (12.6 km al SE del Pico Central), Caloto (4.04 km al SO del Pico Central) y La Palma (34 km al SE del Pico Central) (figura 4).

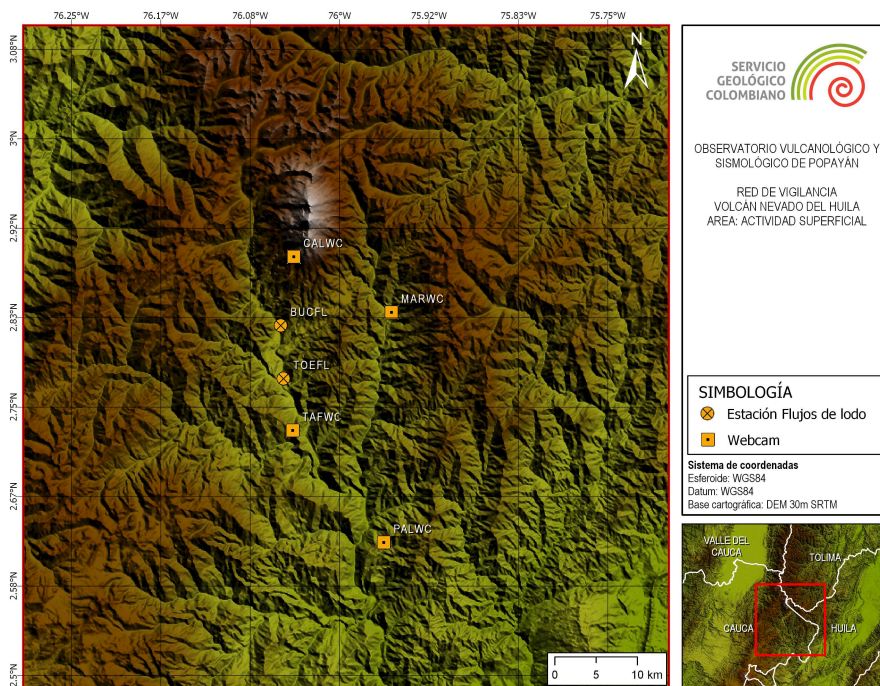


Figura 4: Red de monitoreo de la actividad superficial del volcán Nevado del Huila.

1.1.1.4 Deformación volcánica. Para la vigilancia de la deformación del edificio volcánico, se dispone de un inclinómetro electrónico (CALIN) y de un GNSS permanente (CALGP), ambos localizados en la estación Caloto, a una distancia de 4.04 km al SO del Pico Central y a una altura de 4184 m.s.n.m. (figura 5).

1.1.1.5 Electromagnetismo. En cuanto a las mediciones del campo magnético local y sus variaciones a través del tiempo, el volcán Nevado del Huila cuenta con un magnetómetro instalado en la estación Caloto (CALMG) a 4.04 km al SO del Pico Central (figura 6).

1.1.1.6 Sensor de infrasonido. Se encuentra en la estación Caloto, equipada con un sensor de infrasonido, mediante el cual se obtienen registros acústicos relacionados con la actividad volcánica. Este equipo se encuentra instalado a 4.04 km al SO del Pico Central.

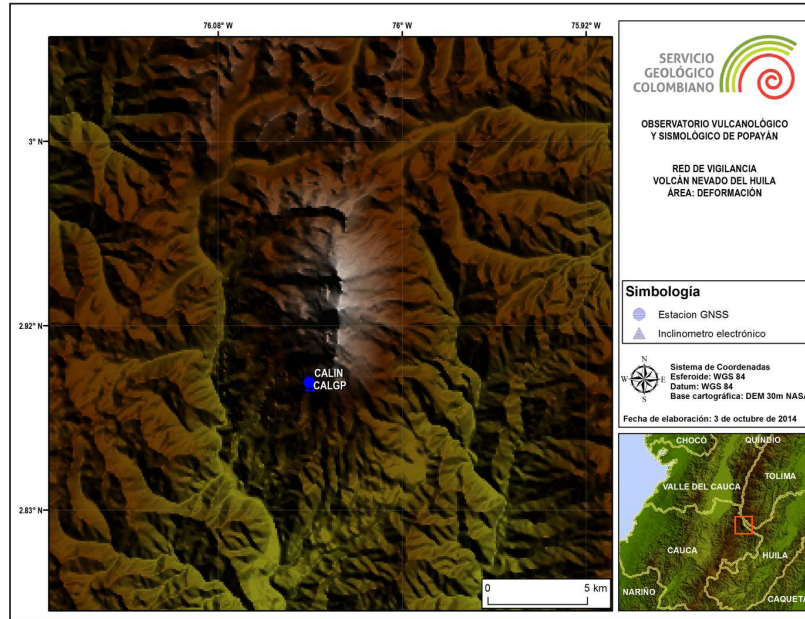


Figura 5: Red de vigilancia en deformación del volcán Nevado del Huila.

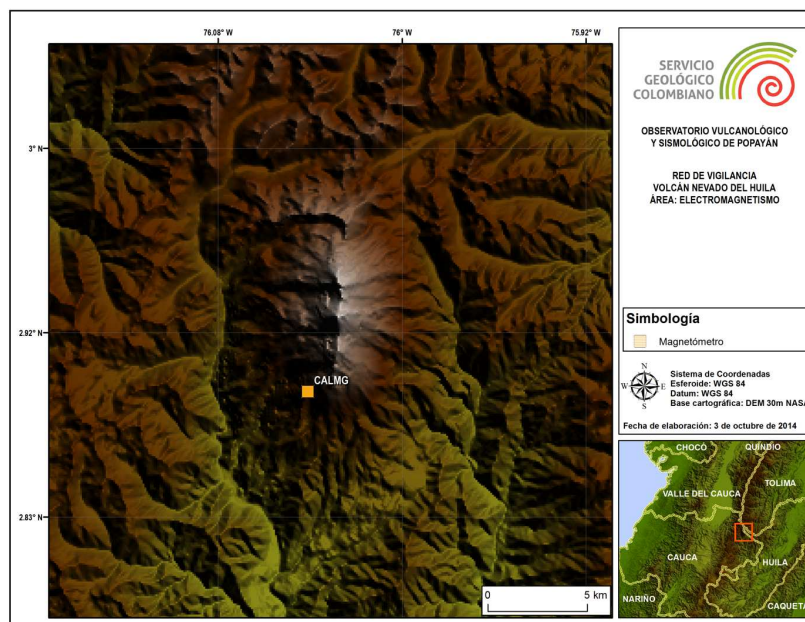


Figura 6: Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Nevado del Huila.

1.1.2 Funcionamiento de estaciones

El funcionamiento de la red de monitoreo volcánico y sísmico del segmento central del país, la cual incluye estaciones telemétricas y no telemétricas (toma de datos *in situ*) alcanzó un valor de 92% para el mes de febrero de 2022. A su vez, la red de vigilancia del Volcán Nevado del Huila presentó un porcentaje de funcionamiento del 85% sobre este valor total.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Pico Central (km)	Operativa
Buco	Estación Banda Ancha	2.8265	76.0548	2310	10.9	SI
Caloto	Estación Corto Período	2.8901	76.0426	4184	3.8	SI
	Cámara web					SI
	Estación Acústica					SI
	Estación GNSS					SI
	Inclinómetro Electrónico					SI
Magnetómetro	SI					
La Bella	Estación Banda Ancha	3.0489	75.8102	2518	28.1	SI
La Palma	Estación Banda Ancha	2.6237	75.9586	2230	34	SI
	Cámara web					SI
Maravillas	Estación Banda Ancha	2.8397	75.9510	2207	12.5	SI
	Cámara web	2.8383	75.9515	2194	12.6	SI
Muralla	Flujos de lodo	2.6526	75.9977	2420	30.3	SI
Tafxnú	Estación Banda Ancha	2.7281	76.0437	2410	21.5	SI
	Cámara web					SI
Tóez	Flujos de lodo	2.7765	76.0523	1987	16.3	SI

Tabla 1: Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.

1.2 Red de vigilancia Volcán Puracé

El volcán Puracé cuenta actualmente con una red de vigilancia compuesta por 104 estaciones, de las cuales 53 poseen un sistema de telemetría de datos (tabla 2), mientras que en las 51 restantes los datos son adquiridos directamente en puntos de muestreo (tabla 3). Estas estaciones se emplean para medir diferentes parámetros, mediante técnicas tales como sismología, deformación, geofísica, geoquímica y actividad superficial (figura 7).

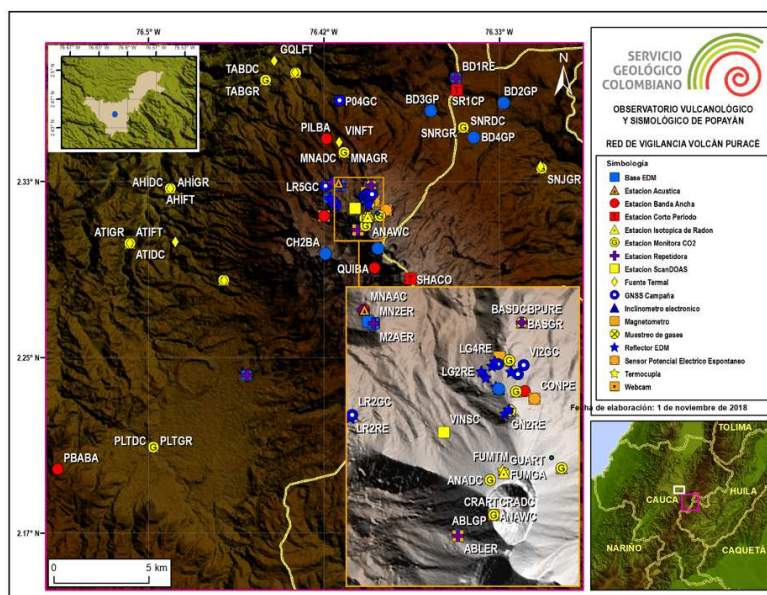


Figura 7: Mapa de la red de vigilancia del volcán Puracé.

1.2.1 Generalidades

1.2.1.1 Red de estaciones sísmicas. El volcán Puracé cuenta con una red operativa de 13 estaciones sismológicas cuya distribución cubre todos los flancos del volcán como se describe a continuación: la estación San Rafael está ubicada a una distancia de 8.5 km al NE del

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Cráter (km)		
Agua Blanca	Estación Corto Período	2.3103	76.4005	4374	0.7		
	Inclinómetro electrónico						
	Magnetómetro						
	Estación GNSS	2.3105	76.4004	4380	0.7		
Agua Bonita	Estación Banda Ancha	2.2415	76.4532	3196	10.3		
	Estación Meteorológica						
	Estación GNSS			3201			
Anambio	Estación de CO_2	2.3124	76.3969	4595	0.4		
	Cámara web						
Bedón1	Estación GNSS	2.3826	76.3538	3603	8.9		
Bedón2	Estación GNSS	2.3708	76.3310	3460	9.6		
Bedón3	Estación GNSS	2.3670	76.3657	3452	6.7		
Bedón4	Estación GNSS	2.3544	76.3453	3461	7.3		
Buenavista	Estación Banda Ancha	2.30954	76.38300	4306	1.5		
Chagartón2	Banda ancha	2.2991	76.4158	4304	2.7		
	Estación GNSS						
Cerro Sombrero	Cámara web	2.2681	76.5683	3331	19.6		
Cocuy2	Banda Ancha	2.3199	76.3864	4289	1.4		
	Inclinómetro electrónico						
	Estación GNSS	2.3197	76.3861	4299	1.4		
	Potencial Eléctrico Espontáneo	2.3199	76.3871	4312	1.3		
Cocuy3	Estación isotópica de Radón	2.3171	76.3901	4452	1.0		
	Estación monitora de CO_2						
Cocuy4	Estación Meteorológica	2.3182	76.3910	4440	0.9		
Cóndor	Estación Banda Ancha	2.3249	76.3938	4294	1.1		
	Potencial Eléctrico Espontáneo	2.3241	76.3928	4324			
Cráter	Estación Isotópica de Radón	2.3124	76.3969	4547	0.5		
	Estación monitora de CO_2						
Curiqinga	Inclinómetro electrónico	2.3009	76.3908	4507	1.8		
	Banda Ancha						
	Estación GNSS					2.3018	76.3912
Fumarola	Termocupla	2.3170	76.3960	4500	0.3		
Guañarita	Estación Isotópica de Radón	2.3166	76.3959	4545	0.3		
Guañarita2	Estación GNSS	2.3250	76.3963	4248	1.0		
	Inclinómetro electrónico						
Laguna	Magnetómetro	2.3282	76.3963	4177	1.3		
Lavas Rojas	Estación Banda Ancha	2.3171	76.4166	4049	2.0		
	Cámara web						
	Estación GNSS			2.3255		76.4140	4051
	Inclinómetro electrónico			2.3171		76.4165	4058
Mina	Estación Corto Período	2.3330	76.4098	4049	2.2		
	Estación Meteorológica						
	Sensor Acústico						
	Estación GNSS	2.3147	76.4090	3904	1.2		
	Cámara web	2.3316	76.4089	4082	2.0		
Pilimbalá	Estación Banda Ancha	2.3537	76.4155	3565	4.5		
Piñuelas	Estación monitora de CO_2	2.3404	76.4008	3774	2.7		
Quintín	Estación Banda Ancha	2.2924	76.3926	4239	2.8		
San Juan	Estación monitora de CO_2	2.3397	76.3133	3237	9.8		
San Rafael	Corto Período	2.3771	76.3526	3518	8.5		
Shaka	Corto Período	2.2873	76.3755	4445	4.1		
Vinagre	ScanDOAS	2.3207	76.4018	4226	0.6		
Vinagre2	ScanDOAS	2.31884	76.3959	4407	0.6		

Tabla 2: Características de la red de vigilancia telemétrica del volcán Puracé.

cráter; las estaciones Mina, Lavas Rojas, Pilimbalá, Curiqinga, Quintín y Shaka, se encuentran distribuidas hacia los sectores NO y SE del edificio volcánico, y a distancias entre 2 y 4.5 km del mismo; las estaciones Cóndor, Cocuy2, Buenavista (instalada el 2 de diciembre

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud O	Altitud (ms.n.m.)	Distancia al Cráter (km)
Agua Hirviendo	Estación Monitora de CO_2	2.3301	76.4896	2649	10.2
	Fuente Termal				
Agua Tibia	Estación Monitora de CO_2	2.3041	76.5088	2683	12.3
	Fuente Termal				
Base	Estación Isotópica de Radón	2.3317	76.3941	4056	1.8
	Estación Monitora de CO_2				
Cóndor	Estación Monitora de CO_2	2.3248	76.3946	4317	1.0
Fumarola	Muestreo de gases	2.3166	76.3959	4545	0.3
Guañarita	Estación Monitora de CO_2	2.3229	76.3952	4393	0.8
	Reflector EDM	2.3253	76.3966	4293	1.0
Guañarita2	Reflector EDM	2.3226	76.3957	4386	0.8
Guañarita3	Reflector EDM	2.3230	76.3954	4384	0.8
Guarquelló	Fuente Termal	2.3907	76.4402	2802	9.5
Hornos Tres	Fuente Termal	2.3048	76.4872	2747	9.9
Hornos Siete	Fuente Termal	2.3049	76.4873	2743	9.9
Laguna	Estación Monitora de CO_2	2.3279	76.3953	4196	1.3
	GNSS Campaña	2.3275	76.3964	4207	1.3
	Reflector EDM	2.3262	76.3977	4233	1.1
Laguna2	Reflector EDM	2.3268	76.3981	4206	1.2
Laguna3	Reflector EDM	2.3274	76.3971	4206	1.2
Laguna4	Reflector EDM	2.3278	76.3968	4005	1.3
Lavas Rojas2	GNSS Campaña	2.3225	76.4110	4059	1.5
	Reflector EDM	2.3222	76.4112	4087	1.5
Lavas Rojas3	GNSS Campaña	2.3239	76.4123	4077	1.7
	Reflector EDM	2.3239	76.4122	4067	1.7
Lavas Rojas4	Reflector EDM	2.3256	76.4135	4019	1.9
Lavas Rojas5	GNSS Campaña	2.3313	76.4160	3951	2.5
Mina	Base EDM	2.3316	76.4089	4075	2.0
	Estación monitora de CO_2	2.3473	76.4072	3670	3.6
	Fuente Termal	2.3530	76.4180	3237	4.6
Mina2	GNSS Campaña	2.3310	76.4097	3959	2.0
	Base EDM				
Mina3	GNSS Campaña	2.3329	76.4121	3956	2.4
Paletará	Estación monitora de CO_2	2.2074	76.4977	2986	16.4
Pilimbala4	GNSS Campaña	2.3719	76.4093	3279	6.3
Pozo Azul	Estación monitora de CO_2	2.2867	76.4642	3125	8.0
	Fuente Termal	2.2865	76.4641	3115	8.0
Pululó	Estación monitora de CO_2	2.3851	76.4301	2867	8.4
	Fuente Termal	2.3852	76.4302	2889	8.4
San Juan	Fuente Termal	2.3406	76.3138	3265	9.8
San Rafael	Estación monitora de CO_2	2.3592	76.3504	3425	7.2
Tabío	Estación monitora de CO_2	2.3815	76.4444	2861	8.8
Versalles	Fuente Termal	2.3169	76.2611	2761	15.3
Vinagre	GNSS Campaña	2.3265	76.3945	4258	1.2
	Reflector EDM	2.3268	76.3951	4260	1.2
	Fuente Termal	2.3521	76.4093	3624	4.1
Vinagre2	GNSS Campaña	2.3275	76.3939	4222	1.3

Tabla 3: Características de la red de vigilancia no telemétrica del volcán Puracé.

de 2021), Agua Blanca y Chagartón2, están instaladas hacia los sectores NE y SO del cráter del volcán, ubicadas en un rango de distancia que oscila entre 0.6 y 2.7 km; finalmente, la estación Agua Bonita se localiza 10.3 km al SE del cráter del volcán (figura 8).

1.2.1.2 Red de deformación. Para el monitoreo de los procesos deformativos asociados con la actividad volcánica, el volcán Puracé esta instrumentado con un total de 19 estaciones telemétricas, cinco (5) de ellas son inclinómetros electrónicos, los cuales están ubicados respecto al cráter, de la siguiente manera: Agua Blanca a 0.7 km al SW; Cocuy2 a 1.4 km al NE;

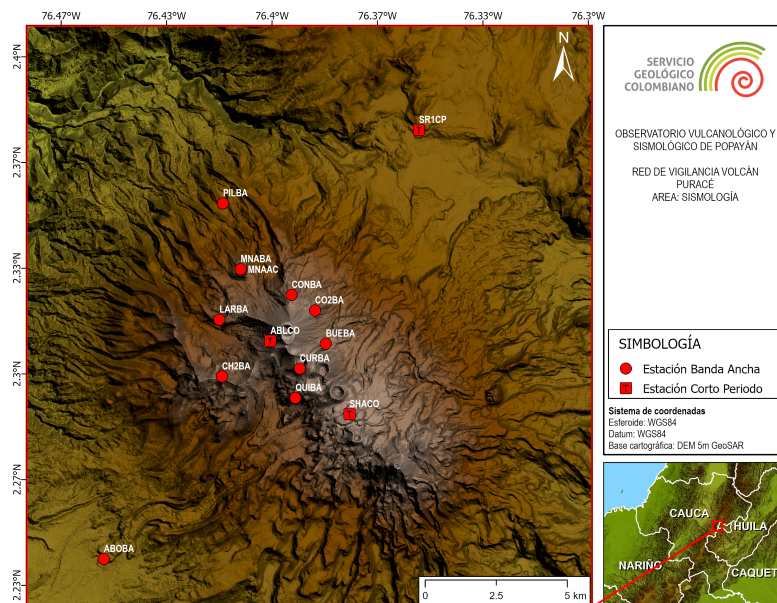


Figura 8: Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé.

Lavas Rojas y Guañarita2 a 2 *km* al NW, y Curiquina a 1.8 *km* al SE. Las 14 estaciones restantes corresponden a estaciones GNSS permanentes, distribuidas en todos los flancos del volcán a las siguientes distancias desde cráter: Agua Blanca, Chagarton2 y Agua Bonita a 0.7, 2.7 y 10.3 *km* al SW, respectivamente; Cocuy2 a 1.4 *km* al NE; al NW se encuentra Guañarita2 a 1 *km*, Lavas Rojas y Mina ambas a 2 *km*; y Curiquina y Buena Vista a 1.9 y 1.5 *km* al SE respectivamente, esta última instalada entre el 2 y 3 de marzo de 2022. Hacia el NE en la zona de San Rafael, se encuentran instaladas las estaciones Bedón1, Bedón2, Bedón3 y Bedón4 a distancias de entre 9 y 7 *km* del edificio volcánico. La estación GNSS Popayán (ubicada en el aeropuerto Guillermo León Valencia), localizada a 27 *km* al NE del edificio volcánico, es la estación de referencia para los diferentes tipos de procesamiento. Finalmente, esta red de monitoreo se complementa con dos (2) bases y 11 reflectores EDM, mediante los cuales se realizan medidas periódicas de control topográfico, así como con nueve (9) puntos de control para ocupaciones con GNSS de campaña (figura 9).

1.2.1.3 Cámaras web. El monitoreo de la actividad superficial del volcán Puracé se realiza a través de cuatro (4) cámaras con conexión IP; La Mina y Lavas Rojas, localizadas a 2 *km* en dirección NO y O del cráter del volcán respectivamente, Anambío, ubicada dentro del cráter activo, y Cerro Sombrero, que se encuentra ubicada 18 *km* al SO del cráter del volcán (figura 10).

1.2.1.4 Electromagnetismo. Para el monitoreo de las variaciones del campo natural del potencial eléctrico y del campo magnético local, se han instalado en el volcán Puracé dos sensores de potencial eléctrico espontáneo, Cóndor y Cocuy, ambos ubicados al NE del edificio volcánico a distancias de 1.1 y 1.3 *km* del cráter, respectivamente. Igualmente se cuenta con dos magnetómetros: Laguna y Agua Blanca; el primero de ellos localizado a 1.3 *km* al N de la cima volcánica, y el segundo instalado a 0.7 *km* al W del volcán (figura 11).

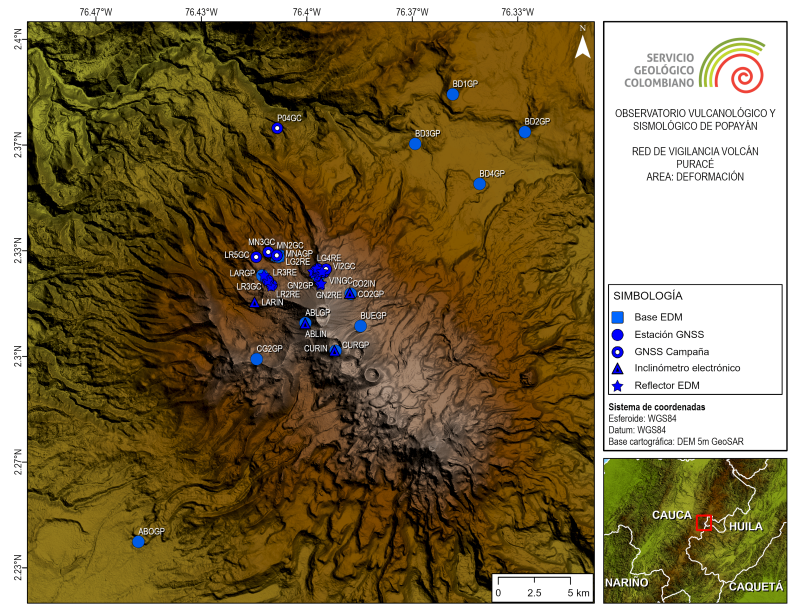


Figura 9: Red de vigilancia en deformación actual del volcán Puracé.

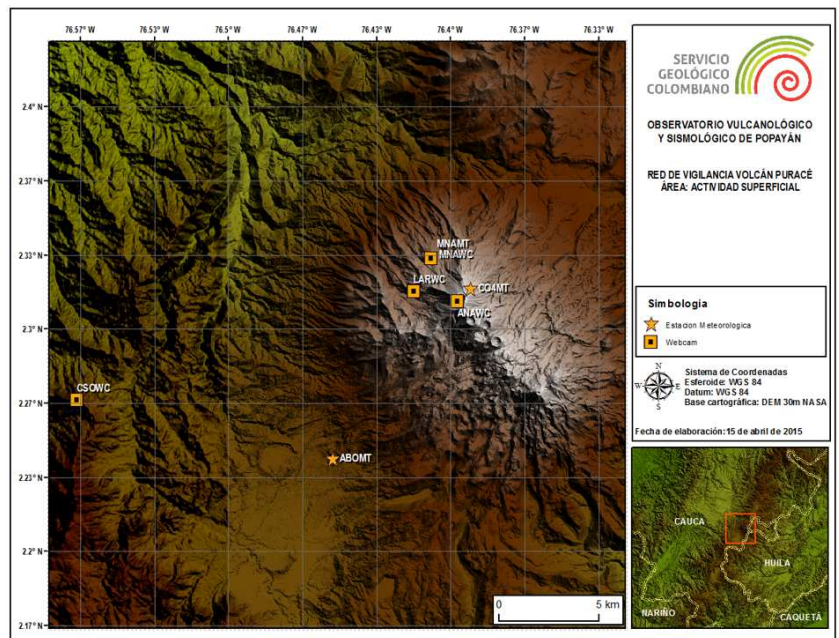


Figura 10: Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Puracé.

1.2.1.5 Geoquímica. La red de vigilancia en geoquímica del volcán Puracé se encuentra conformada actualmente por ocho (8) estaciones para el monitoreo de los gases difusos en suelo Radón (Rn) y Dióxido de Carbono (CO_2), las cuales funcionan de forma telemétrica, estas son: Cocuy 3 ^{222}Rn y Cocuy 3 CO_2 , ubicadas 1 km al NE del cráter; Cráter ^{222}Rn y Cráter CO_2 , localizadas 0.5 km al NO del cráter; Guañarita ^{222}Rn a 0.3 km al N del cráter; Anambío CO_2 , ubicada a 0.2 km al SO del mismo, Piñuelas Flujo CO_2 , localizada 2.7 km al N

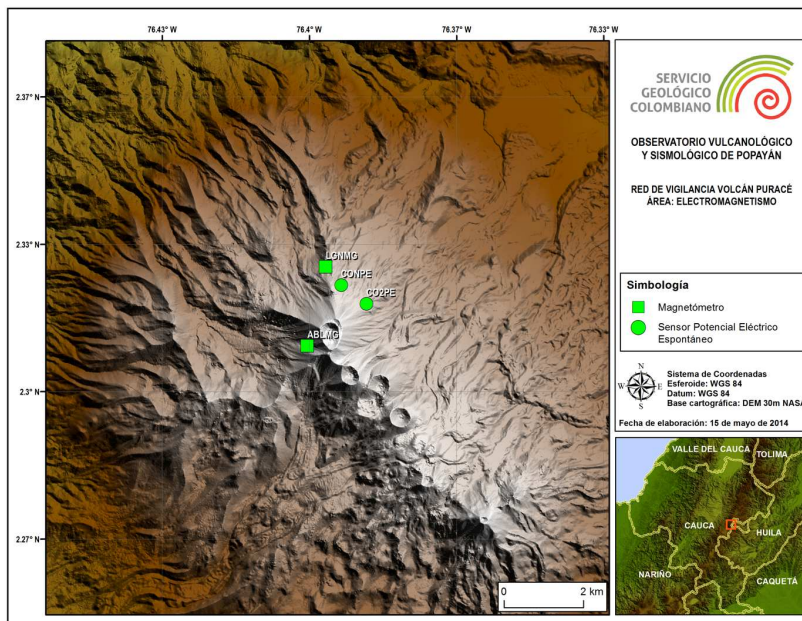


Figura 11: Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Puracé.

del cráter, y San Juan CO_2 ubicada a 9.8 km en dirección NE del cráter. Se cuenta también con 13 estaciones no telemétricas para el monitoreo de CO_2 . El monitoreo de gases involucra también mediciones continuas del flujo de Dióxido de Azufre (SO_2) emitido a través de las fumarolas, para tal fin se cuenta con las estaciones ScanDOAS Vinagre y Vinagre2, ubicadas a 0.6 km, al NO y N del cráter, respectivamente. Por otro lado, muestreos fisicoquímicos periódicos en los que se miden temperaturas y parámetros fisicoquímicos de manera *in situ* en 10 fuentes termales (12 puntos de muestreo), y en el campo fumarólico que está ubicado en el flanco norte del cráter (borde exterior); este último punto, localizado a 0.3 km al NO del cráter, cuenta con un sistema de acople de termocuplas con transmisión telemétrica de los datos de temperatura en tres (3) puntos equidistantes del campo fumarólico (figura 12).

1.2.1.6 Meteorología. El volcán Puracé cuenta con tres estaciones meteorológicas que son: Mina, la cual se localiza a 2.2 km al NO del cráter; Cocuy 4, que está ubicada a aproximadamente 0.7 km al NE del cráter; y Agua Bonita, ubicada a 10.3 km al SO del cráter del volcán. Estas estaciones obtienen datos de dirección y velocidad del viento, así como de los niveles de precipitación que se presentan en la zona de influencia del volcán.

1.2.1.7 Sensor de infrasonido. Se encuentra en la estación Mina, equipado con un sensor de infrasonido, mediante el cual se obtienen registros acústicos relacionados con la actividad volcánica. Este equipo se encuentra instalado 2.2 km al NE del cráter del volcán Puracé.

1.2.2 Funcionamiento de estaciones

Las estaciones de monitoreo volcánico instaladas en el volcán Puracé presentaron un valor de funcionamiento del 95%, sobre el 92% del total de la red de monitoreo del segmento central del país para este período.

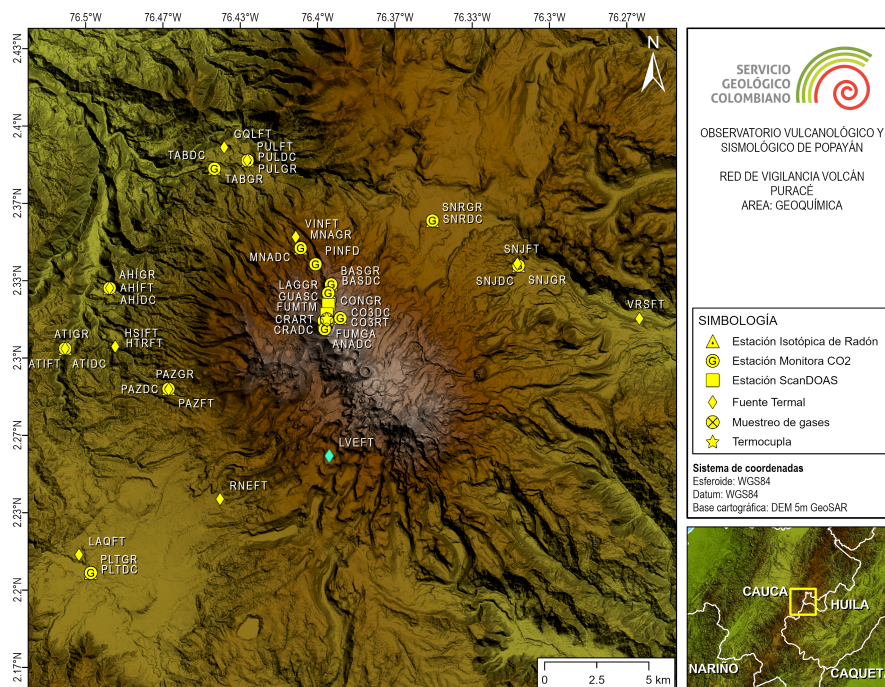


Figura 12: Red de vigilancia en fisicoquímica del Volcán Puracé.

1.3 Red de vigilancia Volcán Sotará

El volcán Sotará cuenta en la actualidad con una red de vigilancia compuesta por 34 estaciones, 20 de ellas cuentan con un sistema de telemetría de datos (telemétricas); mientras que en las 14 restantes los datos son adquiridos directamente en puntos de muestreo (no telemétricas). Estas estaciones se emplean para medir diferentes parámetros físicos, mediante técnicas como geofísica, deformación y geoquímica. En la figura 13 se muestra la red de vigilancia del volcán Sotará, mientras que en las tablas 4 y 5 se detallan las principales características de las estaciones que componen la red de vigilancia de este volcán.

1.3.1 Generalidades

1.3.1.1 Red de estaciones sísmicas. Actualmente el volcán Sotará cuenta con 10 estaciones sísmicas. Dos (2) de ellas son corto período; en orden de cercanía a la cima del volcán, son: Triángulo a 0.7 km al N y Cerro Gordo a 2.9 km al SE. Las siete (7) estaciones restantes poseen sensores de banda ancha y están dispuestas, también con respecto a la cima del volcán, así: al NE las estaciones Triangulo2 a 1.4 km, Pirámide a 1.8 km, Peñón Bajo a 11.3 km y Cerro Sombrero a 18 km; al NO se encuentran las estaciones Oso2 a 0.8 km y Sotará a 3.1 km y Las Vegas a 9.2 km, que fue instalada el 13 de noviembre de 2021; finalmente, al S está localizada la estación de Aguas Rojas a 1.1 km (figura 14).

1.3.1.2 Red de deformación. Esta red se encuentra conformada por tres (3) inclinómetros electrónicos: Oso2 y Sotará, localizados a 0.7 y 3.1 km al NO de la cima del volcán respectivamente y Triangulo ubicado a 0.7 km al NE del edificio volcánico. De igual manera, se cuenta con (5) cinco estaciones GNSS permanentes distribuidas desde la cima del volcán de la siguiente manera: Oso a 0.7 km al NO; Pirámide a 1.8 km al NE; Corona 0.3 km al SO, Aguas

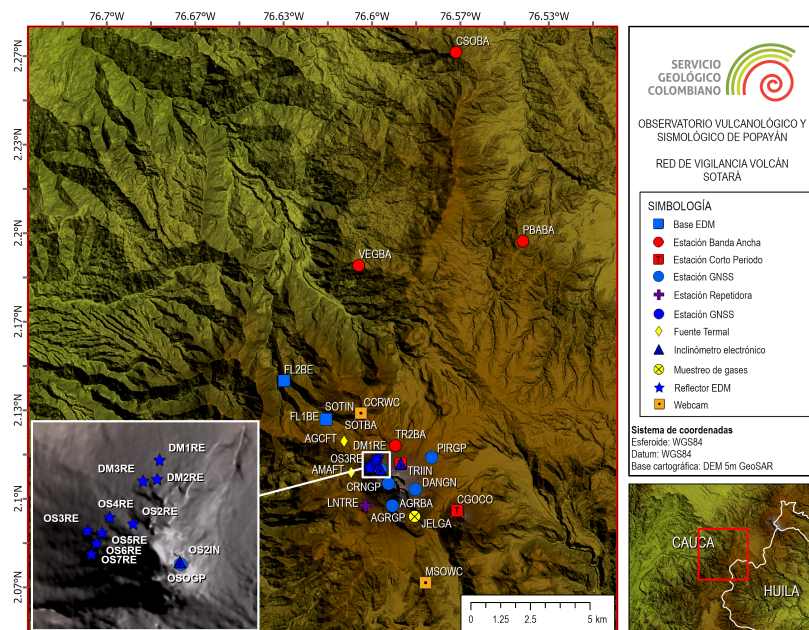


Figura 13: Red de vigilancia del volcán Sotará.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Cráter (km)
Aguas Rojas	Estación Banda Ancha	2.0974	76.5923	4039	1.1
	Estación GNSS				
Cerro Crespo	Cámara web	2.1322	76.6041	3848	3.1
Cerro Gordo	Estación Corto Período	2.0954	76.5678	3874	2.9
Cerro Sombrero	Estación Banda Ancha	2.0954	76.5678	3874	2.9
Corona	Estación GNSS	2.1057	76.5937	4337	0.3
Danta	Estación GNSS	2.1035	76.5836	4091	0.9
Las Vegas	Estación Banda Ancha	2.18784	76.60500	3088	9.2
Majusas–Sotará	Cámara web	2.0684	76.5798	3650	4.5
Oso	Estación GNSS	2.1111	76.5968	4189	0.7
Oso2	Estación Banda Ancha	2.1115	76.5966	4106	0.8
	Inclínómetro electrónico				
Peñón Bajo	Estación Banda Ancha	2.1970	76.5430	3330	11.3
Pirámide	Estación Banda Ancha	2.1155	76.5775	3759	1.8
	Estación GNSS				
Sotará	Estación Banda Ancha	2.1322	76.6042	3795	3.1
	Inclínómetro electrónico			3874	
Triángulo	Estación Corto Período	2.1132	76.5891	4166	0.7
	Inclínómetro electrónico				
Triángulo 2	Estación Banda Ancha	2.1200	76.5911	3764	1.4

Tabla 4: Características de la red de vigilancia telemétrica del volcán Sotará.

Rojas a 1.1 km al SE y Danta a 0.7 km al E. Adicionalmente, se han instalado dos (2) bases y nueve (9) reflectores EDM para la realización de medidas periódicas de control topográfico (figura 15).

1.3.1.3 Geoquímica. El monitoreo en geoquímica del volcán Sotará actualmente se encuentra enfocado en tres (3) puntos de muestreo, las fuentes termales Aguas Calientes y Las Amarillas y el campo fumarólico Jelima. Con el fin de obtener datos que permitan establecer líneas base de comportamiento y hacer un seguimiento de las variaciones en los parámetros

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Cráter (km)
Aguas Calientes	Fuente Termal	2.1216	76.6105	3670	2.7
Amarillas	Fuente Termal	2.1099	76.6078	3611	1.9
Domo1	Reflector EDM	2.1158	76.5977	3932	1.2
Domo2	Reflector EDM	2.1149	76.5978	3988	1.1
Domo3	Reflector EDM	2.1148	76.5985	3969	1.2
Flautas1	Base EDM	2.1299	76.6172	3408	3.8
Flautas2	Base EDM	2.1444	76.6331	3225	6.2
Jelimá	Muestreo de gases	2.0933	76.5839	3737	1.8
Oso2	Reflector EDM	2.1129	76.5989	4050	1.1
Oso3	Reflector EDM	2.1126	76.6010	3916	1.2
Oso4	Reflector EDM	2.1132	76.6000	3993	1.2
Oso5	Reflector EDM	2.1125	76.6003	3979	1.2
Oso6	Reflector EDM	2.1120	76.6006	3973	1.2
Oso7	Reflector EDM	2.1115	76.6008	3964	1.2

Tabla 5: Características de la red de vigilancia no telemétrica del volcán Sotará.

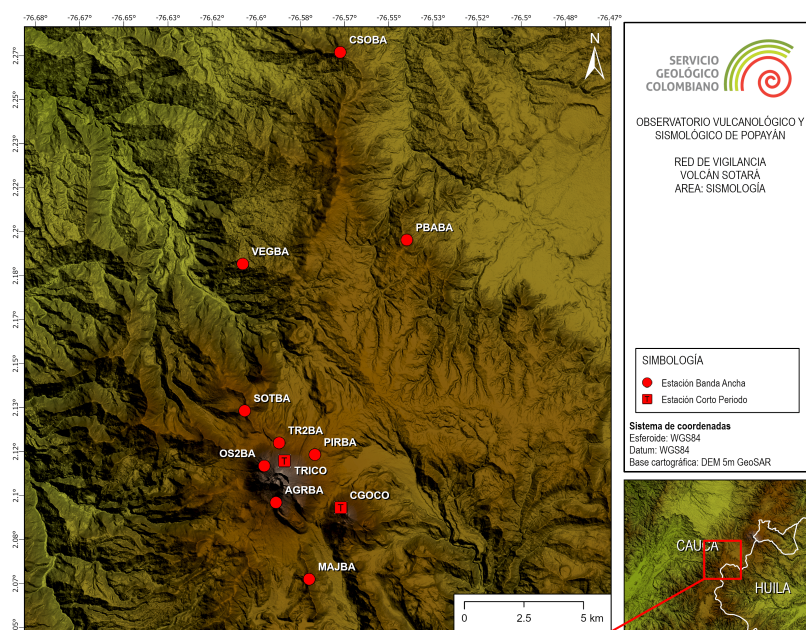


Figura 14: Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará.

físico–químicos del sistema volcánico–hidrotermal, se realizan muestreos periódicos *in situ*, simultáneos con medidas físico–químicas. En la figura 16 se muestra la localización geográfica de los puntos muestreados.

1.3.1.4 Cámaras web. Para el monitoreo de la actividad superficial del volcán Sotará se cuenta con dos (2) cámaras web con conexión IP, las cuales se encuentran instaladas en los sectores Cerro Crespo y Majuas, los cuales respecto al edificio volcánico, se encuentran ubicados a 3.1 km al NO y 4.5 km al SE, respectivamente (figura 17).

1.3.2 Funcionamiento de estaciones

Durante el mes de febrero de 2022 la red de vigilancia del volcán Sotará tuvo un porcentaje de funcionamiento del 89%, sobre el 92% del total de la red de monitoreo del OVSPPO, la cual incluye estaciones telemétricas y no telemétricas.

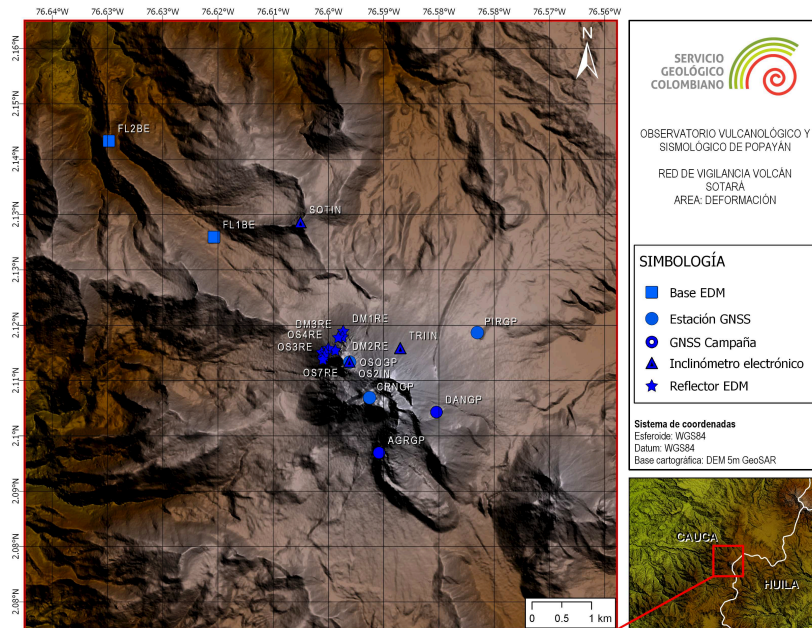


Figura 15: Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará.

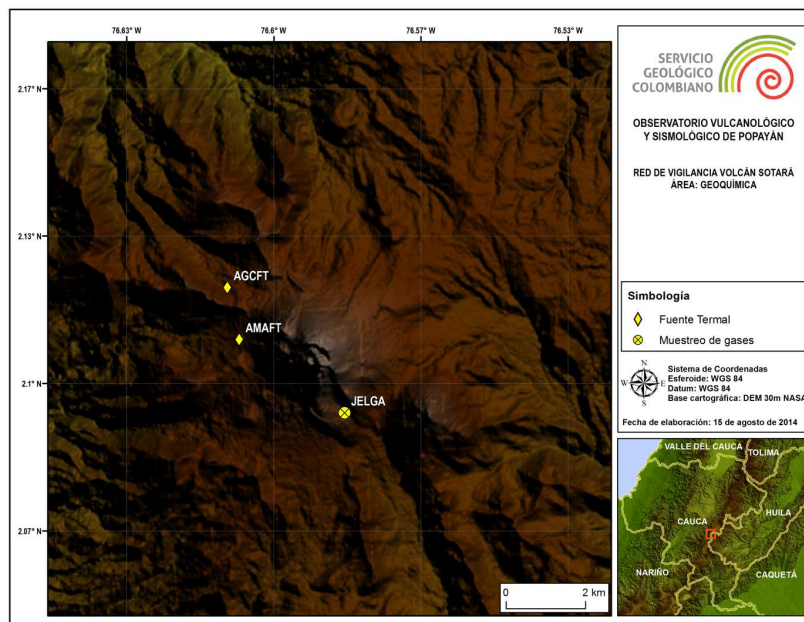


Figura 16: Red de vigilancia en fisicoquímica del volcán Sotará.

1.4 Red de vigilancia Volcán Sucubún

A partir del mes de agosto de 2018 se dio inicio al monitoreo sísmico y de la actividad superficial en el volcán Nevado del Sucubún, y se espera construir gradualmente una red de monitoreo con diferentes técnicas de monitoreo (figura 18).

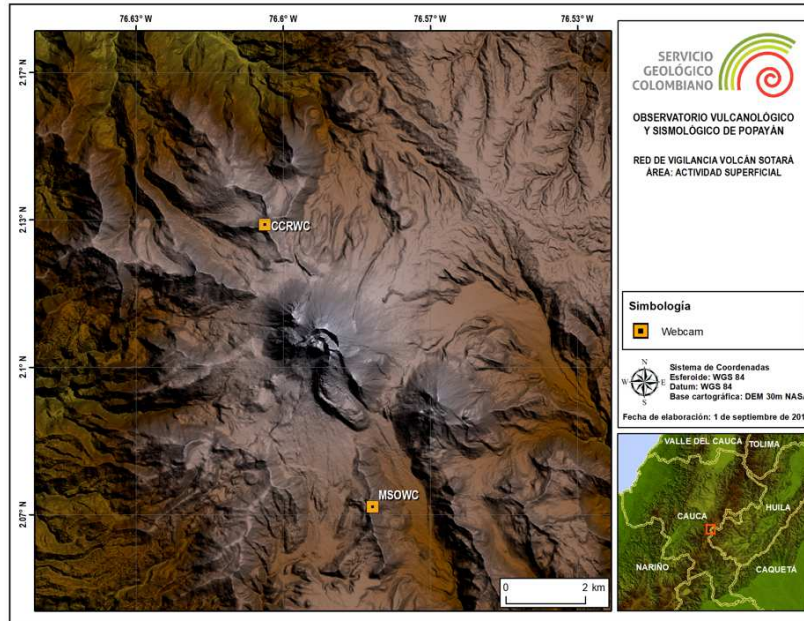


Figura 17: Red de vigilancia de actividad superficial del volcán Sotará.

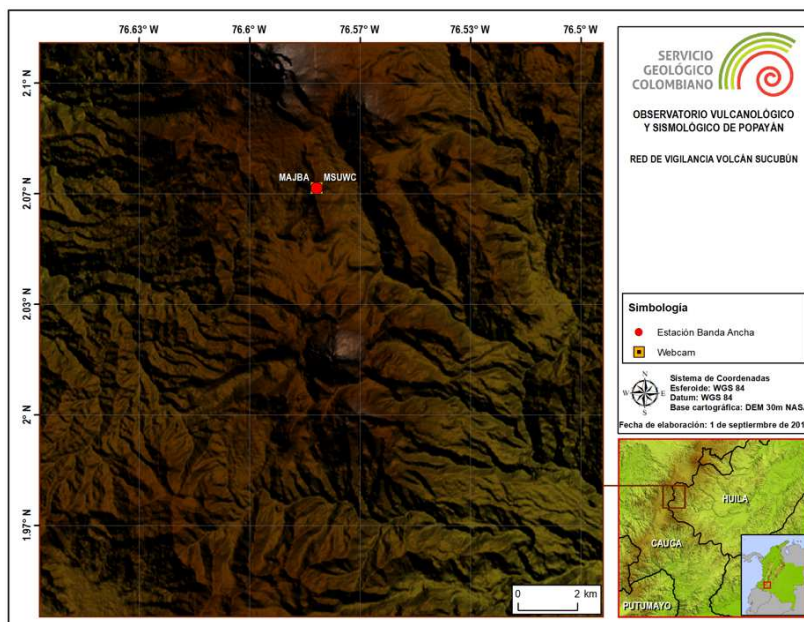


Figura 18: Red de vigilancia del volcán Sucubún.

1.4.1 Generalidades

A partir del mes de agosto de 2018 se dio inicio al monitoreo sísmico y de la actividad superficial en el volcán Nevado del Sucubún, y se espera construir paulatinamente una red de monitoreo con diferentes técnicas de monitoreo.

1.4.1.1 Red de estaciones sísmicas. El volcán Sucubún cuenta con una (1) estación de tipo Banda denominada Majuas, ubicada a 5.7 *km* en dirección NO del edificio volcánico

(figura 19).

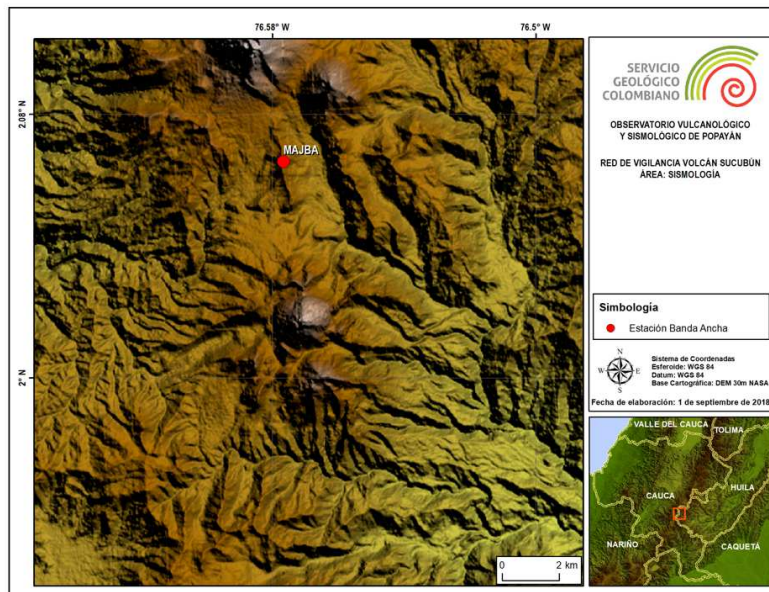


Figura 19: Red de vigilancia en sismología del volcán Sucubún.

1.4.1.2 Cámaras web. Para el monitoreo de la actividad superficial el volcán Sucubún esta instrumentado con una (1) cámara con conexión IP, la cual se encuentra ubicada en el extremo NO del edificio volcánico, a 5.7 *km* de distancia (figura 20).

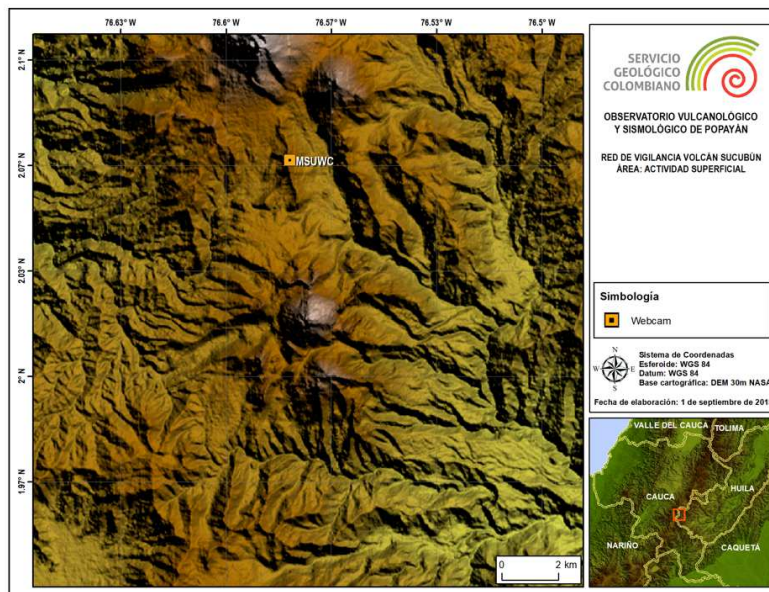


Figura 20: Red de vigilancia en actividad superficial del volcán Sucubún.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Cráter (km)
Majuas– Sucubún	Estación Banda Ancha	2.0974	76.5923	4039	5.7
	Cámara web				

Tabla 6: Características de la red de vigilancia del volcán Sucubún.

1.4.2 Funcionamiento de estaciones

Las estaciones de monitoreo volcánico instaladas en el volcán Sucubún presentaron un valor de funcionamiento del 99%, sobre el 92% del total de la red de monitoreo del segmento central del país para este período.

2 VOLCÁN NEVADO DEL HUILA



Figura 21: Volcán Nevado del Huila, visto desde el costado norte del edificio volcánico. Imagen captada durante sobrevuelo efectuado el 11 de enero de 2011.

El volcán Nevado del Huila (ver figura 21) se localiza en límites de los departamentos del Cauca, Huila y Tolima, en las coordenadas geográficas $2^{\circ} 55' N$ y $76^{\circ} 03' W$, a una distancia aproximada de 90 km al NE de Popayán (ver figura 22).

Este complejo volcánico presenta una forma elongada en dirección N–S, con ejes basales de 16 km en sentido N–S y 11 km en sentido E–W; su cima está cubierta por un casquete glaciar de 7.5 km^2 (Pulgarín et. al, en preparación), en la que sobresalen las topografías que se conocen como picos Norte, La Cresta, Central y Sur, alineados en dirección N–S, respectivamente (figura 21). De igual manera, en el sector sur de esta estructura volcánica se localizan los domos Cerro Negro y Morrillo, los cuales fueron descubiertos a partir del retroceso glaciar de los últimos años. Durante los procesos eruptivos ocurridos en noviembre de 2008 y octubre de 2009, se presentó la extrusión de un nuevo domo lávico, el cual se encuentra emplazado en la parte alta del edificio volcánico entre los picos Central y Sur.

El Pico Central es la máxima altura del complejo volcánico con 5364 m.s.n.m. , siendo también la máxima altura de la cadena montañosa de los Andes Colombianos; así mismo, éste representa el eje central de la actividad volcánica actual, dado que en él se concentran los principales focos de actividad fumarólica, además de representar una fuente generadora recurrente de actividad sísmica.

2.1 SISMOLOGÍA

2.1.1 Actividad sísmica

Durante el mes de febrero de 2022 las estaciones sismológicas ubicadas en el área de influencia del volcán Nevado del Huila (VNH) registraron 1194 eventos sísmicos, de los cuales, 457 estuvieron relacionados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 737 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos. De estos últimos, 682 fueron catalogados como eventos de Largo Periodo (tipo LP), siete (7) estuvieron relacionados tanto con procesos de fractura como con dinámica de fluidos, por lo que fueron clasificados como eventos híbridos (tipo HB), y 48 correspondieron a pulsos de tremor de bajo aporte energético (tipo TR).

Durante el mes de febrero la actividad sísmica del VNH continuó estando relacionada principalmente con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, específicamente con la

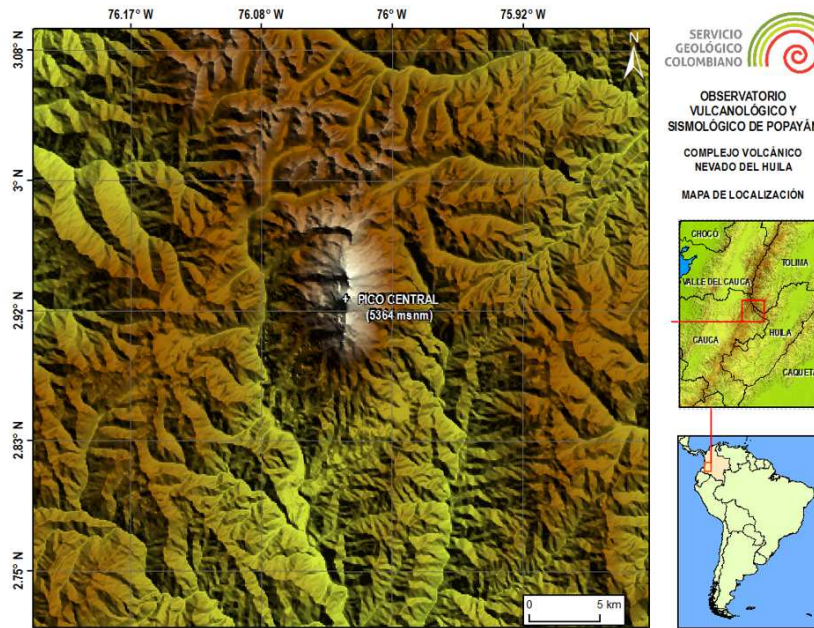


Figura 22: Mapa de localización del Volcán Nevado del Huila.

sismicidad de tipo LP. Los valores en el número de eventos registrados diariamente no mostraron variaciones a destacar, manteniéndose dentro de lo observado durante el último año de monitoreo sísmico (figura 23). La figura 24 muestra la variación mensual en el número de sismos registrados según la fuente generadora en el VNH durante el último año de monitoreo sísmico, en la que se aprecia la tendencia observada en el volcán para los diferentes tipos de eventos.

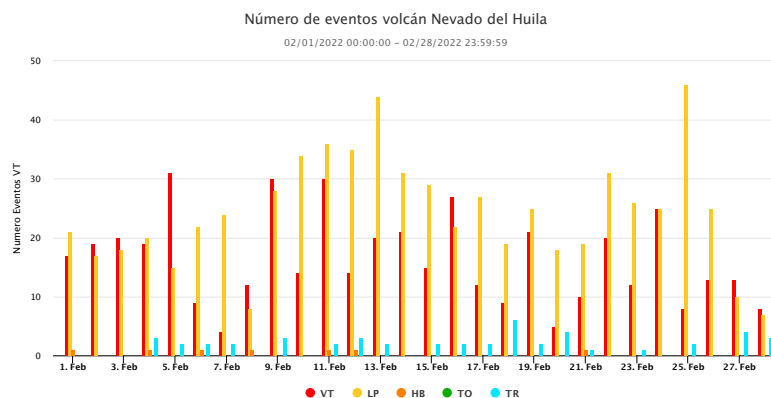


Figura 23: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Nevado del Huila durante el mes de febrero de 2022.

2.1.2 Energía sísmica liberada

La energía sísmica liberada por los eventos VT y LP registrados en el mes de febrero de 2022 en el volcán Nevado del Huila, continuó mostrando estabilidad. Para la sismicidad de fractura se destaca el pico energético del 5 de febrero con un valor de $4.17E+15$ *ergios*, asociado al

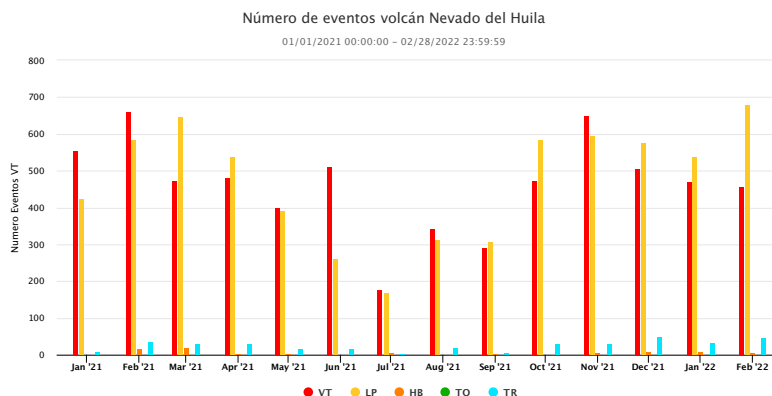


Figura 24: Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Nevado del Huila entre enero de 2021 y febrero de 2022.

registro de 10 eventos de fractura, dos (2) de los cuales alcanzaron magnitudes de 3.5 y 2.5 M_L , superando ampliamente los valores de magnitud calculados para los demás eventos VT registrados durante el mes. En el caso de la sismicidad LP, se destacan los aportes energéticos de los días 9 y 12 de febrero, en los que se registraron 28 y 35 sismos, respectivamente, estando dentro de estos los eventos más energéticos (figura 25).

En la figura 26 se aprecia el comportamiento de la energía sísmica evaluada de forma acumulada durante el último año de monitoreo sísmico; en ella se evidencia que las variaciones en la liberación de energía, descritas anteriormente, no representaron cambios en la dinámica del sistema volcánico, permaneciendo dentro de la tendencia observada durante los últimos años en el VNH.

Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada para facilitar su análisis y visualización.

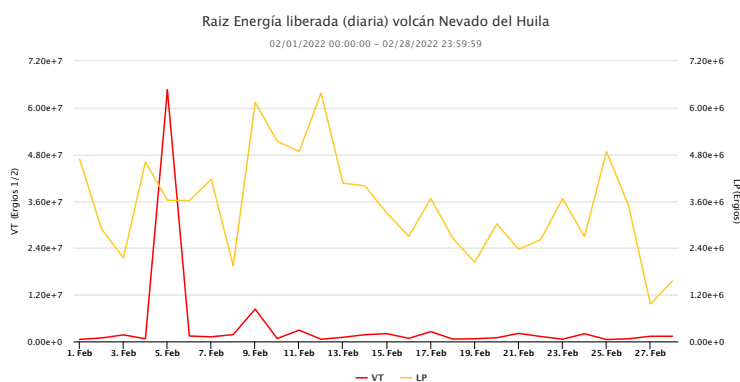


Figura 25: Raíz de la energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP entre el 1 y el 28 de febrero de 2022.

2.1.3 Localización de eventos sísmicos

2.1.3.1 Localización de eventos asociados a procesos de fractura. Durante el mes de febrero de 2022 fue posible localizar 44 eventos sísmicos, los cuales se localizaron principalmente en áreas distales al edificio volcánico (ver figura 27). La zona con mayor concentración

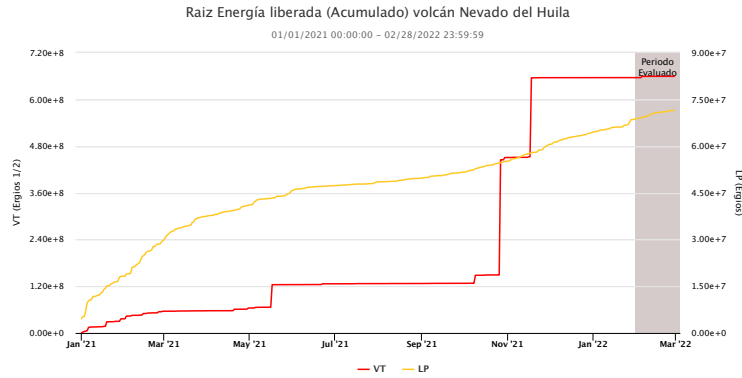


Figura 26: Raíz del valor acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el VNH entre enero de 2021 y febrero de 2022.

epicentral se ubicó al SE del edificio volcánico, en un rango de distancia a la cima que osciló entre 22 y 24 *km*, aproximadamente. En total fueron localizados en este sector 19 sismos de fractura, 10 de ellos el 5 de febrero, día en el que ocurrió el sismo de magnitud 3.5 M_L a las 05:22 (UTC), localizado a 23 *km* al SE del Pico Central, a una profundidad de 15 *km*. Posterior a este evento, se localizaron allí mismo nueve (9) sismos VT con magnitudes que variaron entre 2.5 y -0.1 M_L , en un rango de profundidad entre 13 y 16 *km*. Los nueve (9) eventos restantes localizados en esta zona, mostraron una variación en las magnitudes calculadas entre 1.4 y 0.3 M_L , ocurriendo de manera dispersa hacia mediados y finales del mes de febrero. En la fuente NE del volcán Nevado del Huila fueron localizados nueve (9) sismos VT en un rango de distancia epicentral a la cima volcánica que varió entre 11 y 17 *km*. La máxima magnitud calculada fue de 2.1 M_L , que corresponde a un sismo ocurrido el día 9 de febrero a las 05:10 (UTC), a una profundidad aproximada de 7 *km*.

En la parte alta del edificio volcánico fueron localizados cinco (5) sismos de fractura en un rango hipocentral entre 1 y 3 *km*, considerados como superficiales, con magnitudes entre 0.8 y 1.7 M_L ; así mismo, fueron localizados cinco (5) eventos VT al SO del volcán, los cuales alcanzaron magnitudes entre 1.1 y 1.5 M_L , en un rango de profundidad entre 6 y 10 *km*. La sismicidad restante se localizó de manera dispersa hacia el este del Pico Central, en un rango de distancia entre 7 y 15 *km*, caracterizándose por tener hipocentros entre los 6 y 9 *km*. De igual forma, fueron localizados dos (2) eventos a distancias de 21 y 24 *km* al SO de la cima volcánica, los cuales se caracterizaron por ocurrir a profundidades de 5 y 6 *km*, así como por ser de bajo aporte energético, con magnitudes calculadas inferiores a 1.0 M_L .

La figura 28 muestra la distribución de las magnitudes calculadas para los eventos localizados en el VNH durante el último año, en ella se aprecia como las magnitudes obtenidas durante el mes de febrero se mantienen en su mayoría dentro del rango habitual, destacándose el evento de 3.5 M_L , ocurrido el día 5 de febrero.

De acuerdo con el comportamiento observado en la actividad sísmica del volcán Nevado del Huila durante el mes de febrero de 2022, se considera que el sistema volcánico permaneció estable. Las variaciones descritas, tanto para el número de sismos como para la energía liberada, se mantuvieron dentro de la dinámica usual de este volcán. Así mismo, la recurrencia de los eventos de fractura observada en las diferentes fuentes sísmicas identificadas para este volcán, no mostró un incremento marcado para ninguna de ellas, ni se observaron

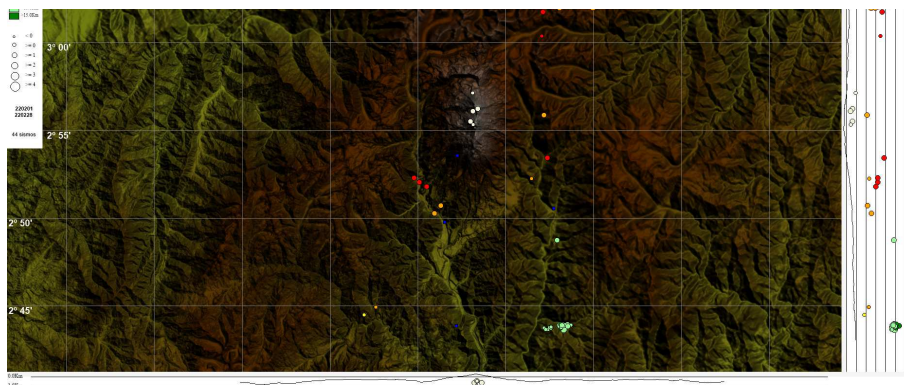


Figura 27: Mapa de localización de los eventos volcánico-tectónicos del volcán Nevado del Huila para el mes de febrero de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyo color y tamaño varían según su profundidad y magnitud respectivamente. Los cuadros azules representan las estaciones sísmicas.

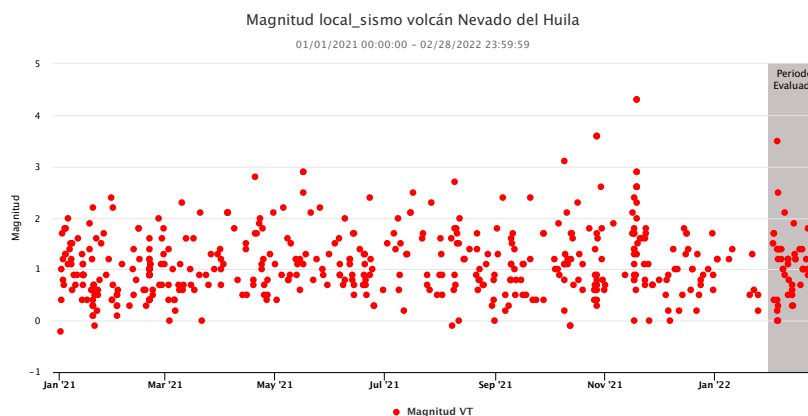


Figura 28: Distribución de magnitudes de los eventos localizados en el VNH durante el último año.

cambios importantes en los valores de magnitud calculados durante el periodo evaluado.

2.2 DEFORMACIÓN

El monitoreo en deformación volcánica permite cuantificar y cualificar las deformaciones en la superficie del edificio volcánico, mediante el procesamiento, sistematización, análisis e interpretación de los datos tomados en campo y adquiridos teleméricamente, para llevar un control comparativo que, ligado estrechamente al comportamiento sísmico, geofísico, químico y geológico de un volcán, permita determinar el grado y la cantidad de deformación sufrida por el edificio volcánico, en un periodo determinado.

Para medir los procesos deformativos que ocurren en un volcán (inflación o deflación) se emplean métodos geodésicos y topográficos de alta precisión (estaciones GNSS permanentes, medición electrónica de distancias, estaciones GNSS de campaña) y métodos electrónicos de alta sensibilidad (inclinómetros electrónicos), dado que las deformaciones volcánicas dependiendo del tipo de volcán y el volumen de magma involucrado en una reactivación, se presentan en diferentes órdenes de magnitud como centimétrico, milimétrico, sub-milimétrico y en ángulos tan pequeños como microradianes.

2.2.1 Inclínometría electrónica

Un inclinómetro electrónico es un instrumento que mide las inclinaciones de la superficie del volcán por medio de una plataforma de nivelación triangular, la cual posee dos sensores de inclinación (de niveles electrolíticos) orientados ortogonalmente (norte-sur y este-oeste) y un sensor de temperatura para control de cambios térmicos.

Durante el mes de febrero de 2022 el inclinómetro Caloto mostró un comportamiento estable en sus dos componentes. En la figura 29 se presentan las tendencias de las componentes este- σ E y norte- σ N sin efectos por deriva y temperatura en el instrumento para el periodo evaluado.

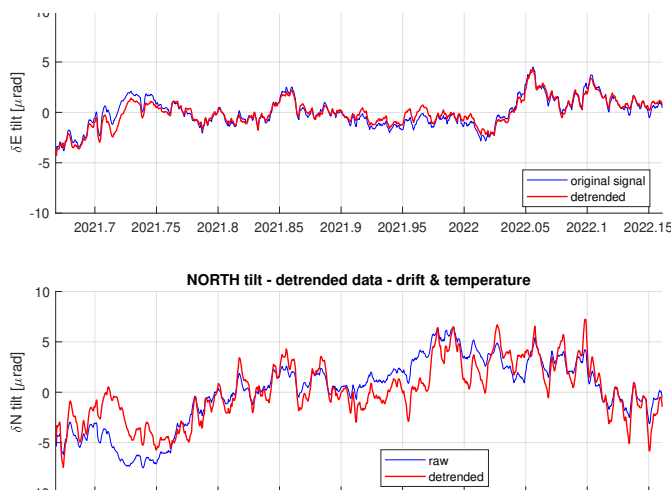


Figura 29: Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. Superior componente Este e inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento.

2.2.2 Procesamiento de líneas base GNSS

Esta técnica se basa en comparar la diferencia de distancia entre dos estaciones *GNSS* para un periodo determinado; las estaciones se definen buscando atravesar zonas de deformación volcánica, fuentes sísmicas, fallas geológicas, zonas de actividad tectónica, y, en general, zonas de manifestación de cualquier tipo de actividad volcánica de interés. Para el volcán Nevado del Huila se han establecido dos líneas base entre la estación *GNSS* CALO y las estaciones *GNSS* MINA y BED1 del volcán Puracé, los resultados para el mes de febrero se muestran en la figura 30, y evidencian que no hay cambios en la serie temporal, es decir, que no se han presentado procesos de deformación entre las estaciones evaluadas.

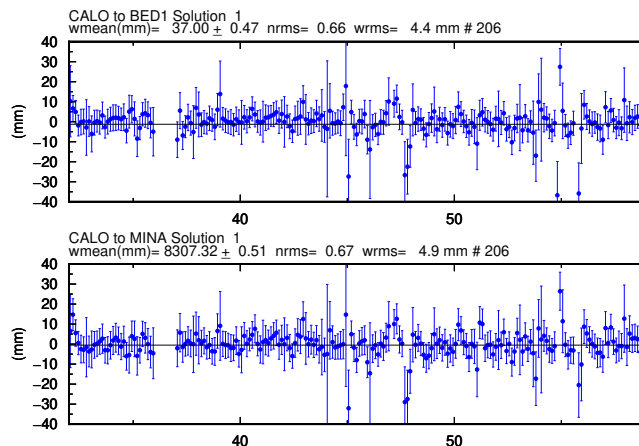


Figura 30: Series de tiempo líneas base del volcán Nevado del Huila. CALO–BED1 y CALO–MINA. Febrero de 2022.

2.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Usando el software GAMIT/GLOBK v.10.7 y tomando como referencia estaciones de la placa Suramericana y estaciones regionales del proyecto GEORED, se removió el efecto tectónico de las estaciones GNSS de monitoreo para obtener las series de tiempo netamente debidas a la actividad volcánica. El procesamiento se realizó usando orbitas finales y correcciones de marea y cargas oceánicas. Los resultados para las componentes Norte, Este y Altura de la estación GNSS de Caloto muestran estabilidad en las tres componentes. En la figura 31 se presenta la serie temporal para los tres últimos años.

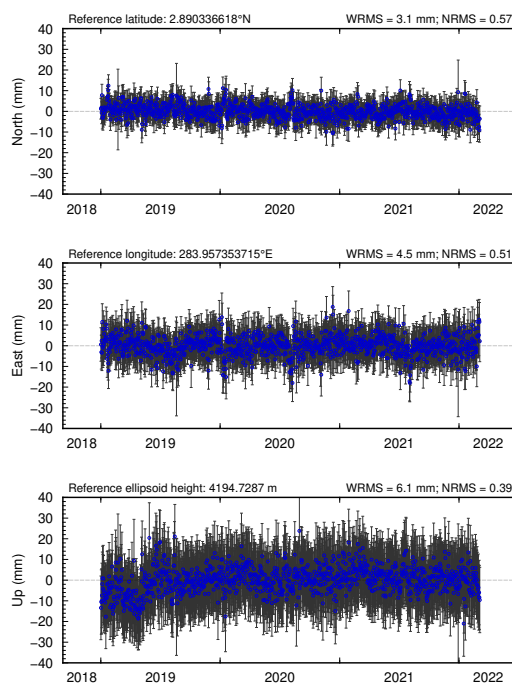


Figura 31: Serie temporal para la estación GNSS permanente CALO, enero de 2019 a febrero de 2022.

2.2.4 Interferometría diferencial de radar (D-INSAR)

La interferometría diferencial es una técnica de teledetección que usa imágenes de radar, para medir la interferencia de fase entre un par de imágenes SAR (radar de apertura sintética) adquiridas en dos momentos distintos. Esta técnica permite detectar deformaciones de la corteza cubriendo grandes superficies. Para el área volcán Nevado del Huila, se procesó el par interferométrico del 18-01-2022 y 23-02-2022 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente, cuyos resultados se presentan en la figura 32, y evidencian que para el periodo evaluado no se registran procesos deformativos.

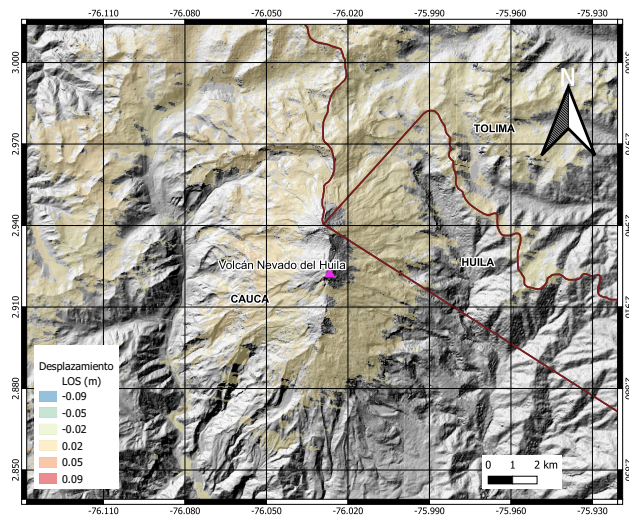


Figura 32: Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18-01-2022/23-02-2022 del satélite Sentinel-1A, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Huila.

2.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

2.3.1 Registro de la actividad superficial

Durante el mes de febrero se lograron registrar imágenes con línea de vista al edificio volcánico, donde fue posible evidenciar los procesos de desgasificación en forma de columnas fumarólicas de color blanco (gases y vapor de agua) que son emitidas principalmente desde la superficie del cuerpo dómico, y desde el sistema de grietas que recorren y atraviesan en sentido norte—suroeste el Pico Central del volcán Nevado del Huila.

Las plumas alcanzaron alturas mayores a un kilómetro, aproximadamente (≤ 1 km), debido a las bajas velocidades del viento, lo que permite a estas sostenerse y ganar altura. Se dispersaron preferencialmente hacia el noroeste—suroeste del edificio volcánico, siguiendo la tendencia asociada al patrón de vientos predominante en la zona, consistente con lo reportado por el pronóstico del IDEAM para este periodo evaluado (Modelo WRF/VNH); en donde se reportaron velocidades máximas diarias de hasta de 8 m/s, equivalentes a 29 km/h, con un promedio mensual de 4.3 m/s equivalentes a 15.5 km/h para un estrato de $18\ 000$ ft (5486 m.s.n.m.), valores considerados como altos de acuerdo a lo registrado en año, y un máximo de 3.5 m/s, equivalentes a 13 km/h con un promedio mensual de 1.2 m/s, equivalentes a 4.3 km/h para un estrato de $10\ 000$ ft (3048 m.s.n.m.). Estos valores reportados son considerados como bajos de acuerdo a lo registrado en su línea base (ver figura 33).

Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Puracé, Sotará y Sucubún
Febrero de 2022



Figura 33: Velocidades promedio día. Modelo pronóstico IDEAM–WRF VNH, febrero de 2022.

En la revisión y clasificación de las imágenes desde el campo visual que cubren las cámaras web de Caloto, Maravillas y Tafxnú, fue posible tener registro en horas de la mañana y al caer la tarde (5:00 a. m. – 6:50 p. m.). La cámara web La Palma presentó línea de vista durante el periodo evaluado (ver figuras 34, 35, 36, 35 y 37). Algunas imágenes captadas por las cámaras web del volcán Nevado del Huila se presentan a continuación:

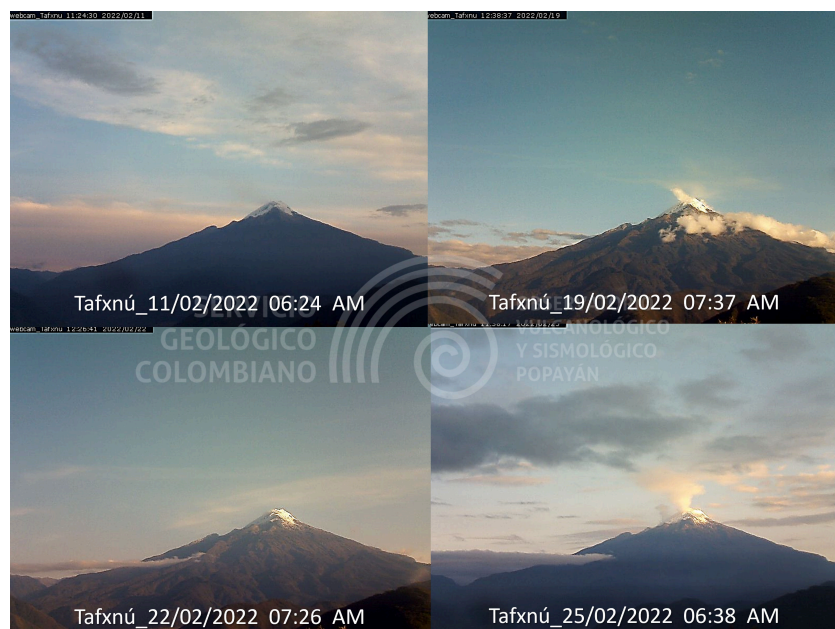


Figura 34: Imágenes captadas por la cámara web Tafxnú, febrero de 2022.

Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Puracé, Sotará y Sucubún
Febrero de 2022



Figura 35: Imágenes captadas por la cámara web Caloto, febrero de 2022.



Figura 36: Imágenes captadas por la cámara web Maravillas, febrero de 2022.



Figura 37: Imágenes captadas por la cámara web La Palma, 22 de febrero de 2022.

2.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

El volcán Nevado del Huila posee la estación magnetométrica Caloto, cuyo objetivo es el de realizar el monitoreo del campo magnético local. La ocurrencia de eventos como ascenso de material magmático y emisiones de ceniza a la atmósfera, entre otros fenómenos asociados a cambios en la actividad de un volcán, pueden originar variaciones en el campo magnético local, razón por la que el método geofísico que mide el campo magnético local se ha implementado en la vigilancia volcánica. Para lograr observar cambios lentos (ver figura 38) se usa el filtrado de la señal, además de tomar en cuenta periodos de tiempo en los que se presentaron tormentas solares y otros efectos no deseados, seguido del cálculo del QNTV (*Quiet Night Time Value*), valor medio entre las 01:00 y 04:00 horas (hora local); intervalo en el que las interacciones del viento solar con el campo geomagnético son menores. Se realiza una comparación entre las señales QNTV con el magnetómetro de referencia Kourou (instalado en Guyana Francesa y administrado por el Instituto Central del Magnetismo Terrestre, con sede en París–Francia).

Durante el mes de febrero de 2022 el magnetómetro Caloto mostró un comportamiento estable (ver figura 38), con ciclos de oscilaciones día–noche debidos a las variaciones de la radiación solar, además se identificó la respuesta frente a fluctuaciones asociadas a perturbaciones temporales en la magnetosfera terrestre, como las ocurridas los días 20 y 22 de febrero (causada por eyección de masa coronal del Sol), de acuerdo a lo comparado con los datos de la estación magnetométrica de referencia, así como las alertas de tormentas geomagnéticas proporcionadas por el SWPC (por sus siglas en inglés: *Space Weather Prediction Center*) y registradas por el magnetómetro acoplado al satélite DSCOVR (*Deep Space Climate Observatory*).

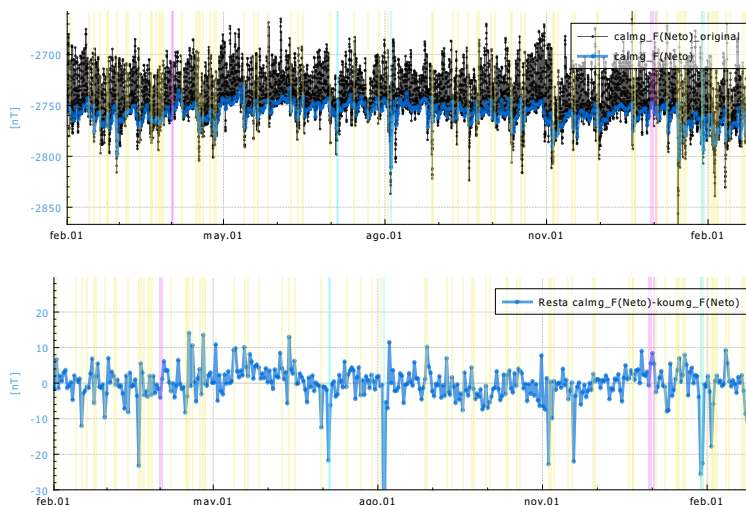


Figura 38: Campo magnético local en la estación de Caloto (nT) del volcán Nevado del Huila. *Arriba:* Campo magnético local en la estación de Caloto [nT] del volcán Nevado del Huila (color negro) y valores QNTV (color azul) entre el 1 de febrero de 2021 y el 28 de febrero de 2022. *Abajo:* Resta de los valores QNTV entre los magnetómetros de Caloto y Kourou. Las áreas subrayadas de color amarillo representan los días en los que se conoce, hubo tormentas geomagnéticas, las áreas subrayadas de azul representan periodos en los que no hubo buen registro en una o todas las estaciones, como fueron los días 28 y 29 de enero 2022 y las áreas subrayadas de rosado, corresponden a actividad antrópica cerca de la estación.

2.5 GEOQUÍMICA

2.5.1 Medidas móviles del flujo de dióxido de azufre (SO_2)

Durante el mes de febrero 2022 se realizaron dos (2) medidas móviles de flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila. Las mediciones fueron realizadas mediante la técnica DOAS (por la sigla en inglés *Differential Optical Absorption Spectroscopy*), obtenidos a través del proyecto internacional NOVAC. El mayor valor calculado se obtuvo el día 14 de febrero, con un valor de $1254 t/d$, equivalentes a $14.5 kg/s$; columna dispersa detectada entre los corregimientos de Popayán y Mondomo (Cauca), lo cual corresponde a una dirección de 270 grados azimutales, al costado surroccidental del edificio volcánico (ver figura 39). El detalle de las medidas realizadas en el mes de febrero y los resultados de los cálculos efectuados del flujo de dióxido de azufre (SO_2) se compilan en las tablas 7 y 8.

Fecha	Ruta	Dispersión de la Columna
7/feb/2022	Popayán (Cauca) y Cali (Valle del Cauca)	NO
14/feb/2022	Popayán (Cauca) y Villa Rica (Cauca)	NO

Tabla 7: Resumen de la ubicación de las columnas de SO_2 detectadas en el mes de febrero 2022.

Fecha	Dirección del viento (grados azimut)	Velocidad del viento (m/s)	Flujo ($t SO_2/dia$)	Flujo ($kg SO_2/dia$)
7/feb/2022	270	6.2	948	11
14/feb/2022	270	6	1254	14.5

Tabla 8: Resultado de las medidas de SO_2 realizadas en el mes de febrero 2022.

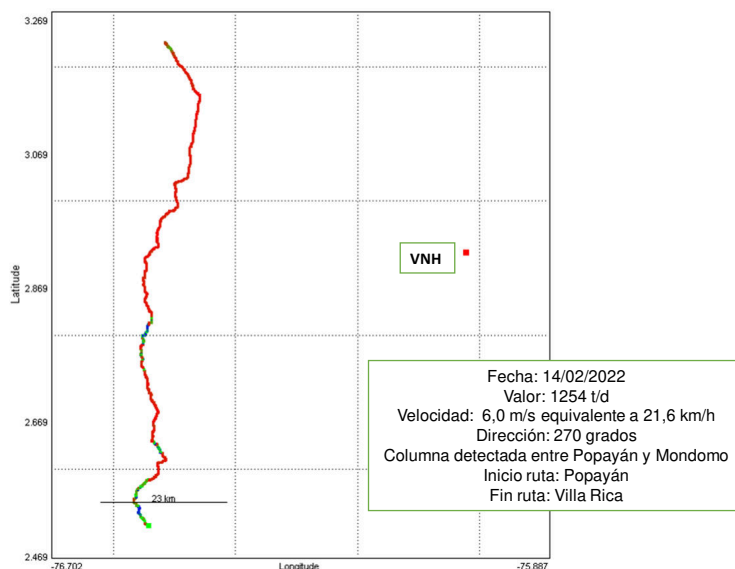


Figura 39: Detalle de la columna de SO_2 medida el 14 de febrero de 2022.

En la figura 40 se presenta el modelamiento de dispersión del Dióxido de Azufre, con los trayectos y espectros de las columnas detectadas en las mediciones realizadas el mes de febrero. Es importante mencionar que del seguimiento realizado a través de las mediciones periódicas de SO_2 para el volcán Nevado del Huila, así como de la interpretación y análisis de las variables meteorológicas, se ha determinado que las columnas detectadas para el volcán presentan en algunas ocasiones bifurcación, debido posiblemente al tránsito de la pluma volcánica a través de estratos atmosféricos diferentes, con velocidades y direcciones del viento que fluctúan entre los 10.000 y 18.000 *pies* (3000 y 5500 *m*, aprox.). Estas plumas presentaron una tendencia preferencial hacia el costado W y SW del edificio volcánico.

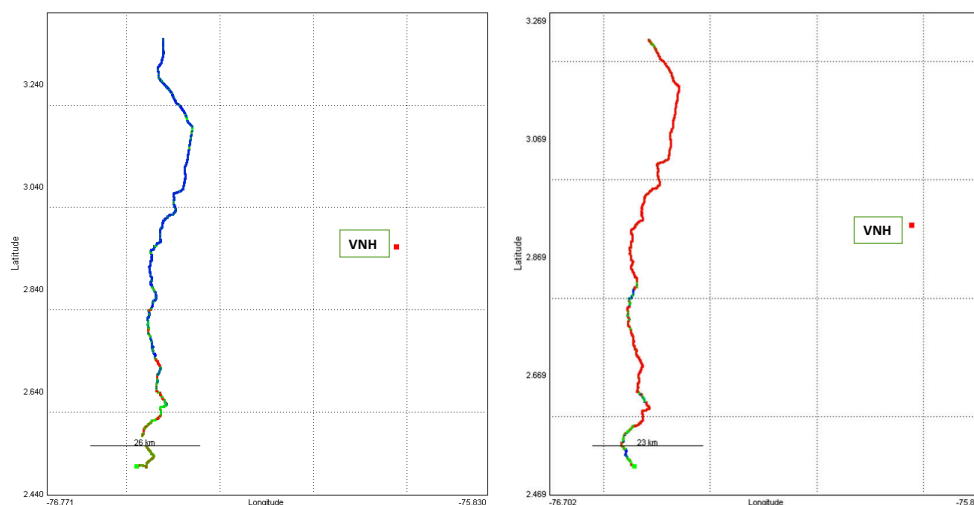


Figura 40: Rutas Medidas móviles de flujo de SO_2 7 y 14 de febrero de 2022.

La gráfica de la figura 41 muestra los valores de los flujos de SO_2 calculados y reportados en los últimos años; las mediciones correspondientes a febrero de 2022 se resaltan en color

azul.

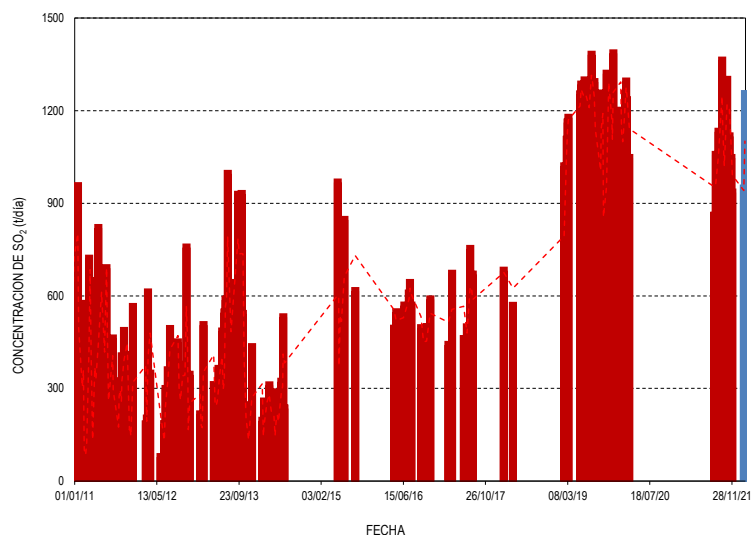


Figura 41: Flujo de SO_2 calculado enero de 2011 y febrero de 2022 mediante la técnica DOAS móvil para el VNH.

El flujo de SO_2 fue calculado con valores de velocidad del viento obtenidos por el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*), pronósticos horarios suministrados por el IDEAM para el volcán Nevado del Huila (figura 42). Teniendo en cuenta la altura del edificio volcánico (5365 m.s.n.m.), se emplean las velocidades del modelo a 18.000 ft (5486 m.s.n.m.), para esta medida se utilizaron valores entre 6.2 y 6 m/s .

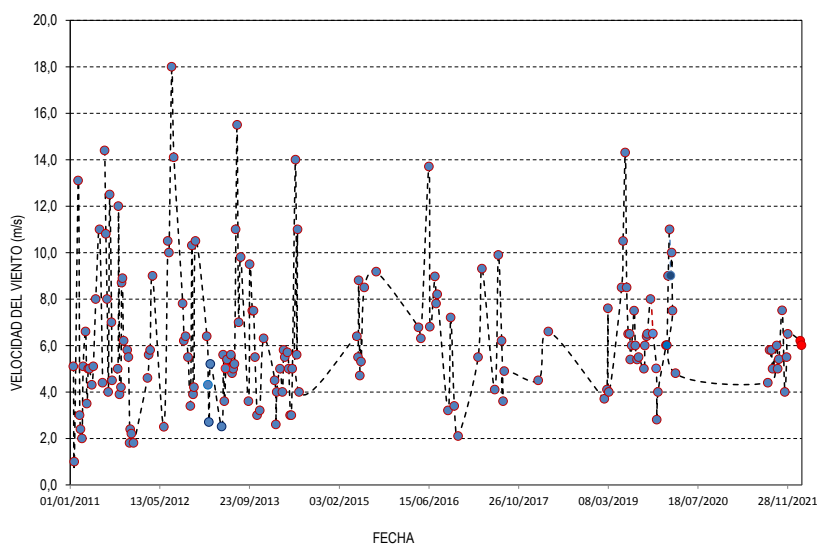


Figura 42: Velocidades del viento asumidas para el cálculo de flujo de SO_2 emitido por el VNH, enero de 2011 a febrero 2022.

Se concluye que durante el período evaluado el sistema volcánico continúa su proceso fluctuante de emisión de gases, generalmente caracterizado por vapor de agua; el aporte del

dióxido de azufre (SO_2) a la atmósfera se mantiene en niveles considerados bajos, de acuerdo a los valores registrados en la línea base para este volcán.

2.6 CONCLUSIÓN.

De acuerdo con el análisis de la información derivada de las diferentes técnicas de vigilancia utilizadas en el monitoreo del volcán Nevado del Huila, se concluye que durante el mes de febrero de 2022 los niveles de actividad volcánica permanecieron estables. Del seguimiento realizado a la sismicidad, actividad superficial y la desgasificación del sistema volcánico, así como del análisis de los datos registrados por los instrumentos que miden la deformación del suelo y los campos magnéticos locales, no se encontraron variaciones a destacar. Por lo tanto, el OVS–Popayán mantiene el nivel de actividad volcánica en *NIVEL III: CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA*.

3 VOLCÁN PURACÉ



Figura 43: Volcán Puracé. Imagen captada durante sobrevuelo del 22 de octubre de 2011.

El Puracé es un estrato-volcán activo, cuyo registro más reciente muestra actividad predominantemente explosiva; su edificio tiene forma de cono truncado con laderas de 30° de inclinación; y presenta un cráter interno y otro externo, ambos concéntricos de 500 m y 900 m de diámetro, respectivamente (ver figura 43). Se encuentra ubicado en el departamento del Cauca, en las coordenadas geográficas $2^\circ 22' \text{ N}$ y $76^\circ 23' \text{ O}$, a una distancia de 26 km al SE de la ciudad de Popayán. Hace parte de la cadena volcánica de Los Coconucos, la cual está compuesta por 15 centros eruptivos alineados con una orientación $\text{N}40^\circ\text{O}$, siendo el Puracé el más septentrional de la cadena (figura 44).

La actividad fumarólica está concentrada en una grieta que atraviesa el fondo del cráter, y en un importante campo fumarólico ubicado en el flanco noroccidental externo del volcán (denominada Fumarola Lateral). Su actividad volcánica ha sido reportada desde el siglo XVIII, con la ocurrencia de al menos 15 erupciones históricas bien documentadas, las cuales han causado daños materiales y pérdidas de vidas humanas; su última erupción ocurrió el 19 de marzo de 1977.

Existen al menos 15 fuentes termales ubicadas alrededor del edificio volcánico, las cuales presentan temperaturas comprendidas entre 20 y 90°C , siendo las más destacadas por sus características térmicas las fuentes termales de Pozo Azul, Hornos y La Mina, mientras que las fuentes termales de San Juan, Agua Hirviendo y Pozo Azul se destacan por su emisividad de H_2S y CO_2 .

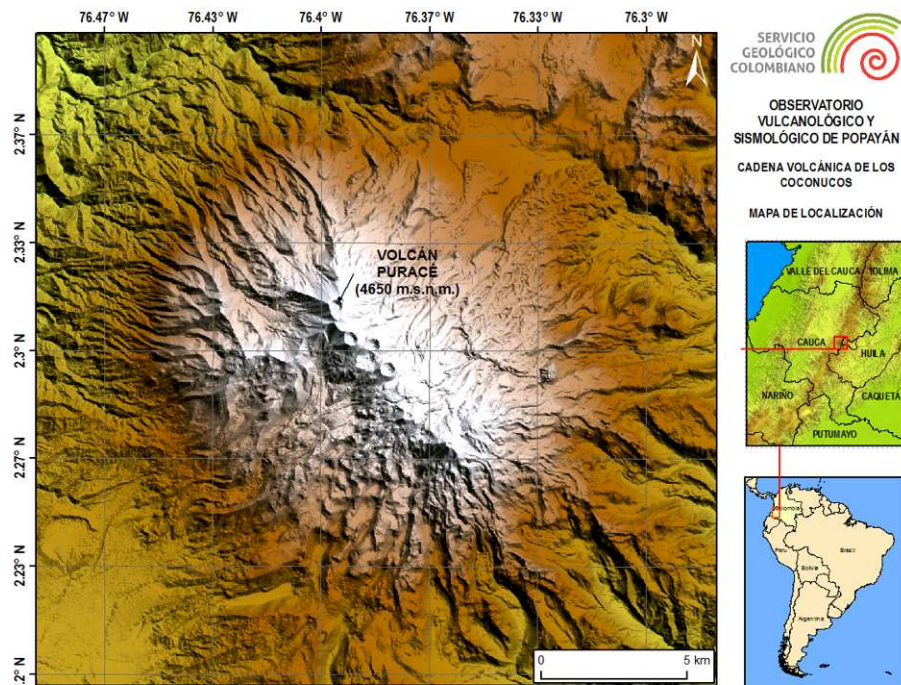


Figura 44: Mapa de localización del volcán Puracé y la cadena volcánica de Los Coconucos.

3.1 SISMOLOGÍA

3.1.1 Actividad sísmica

La red de estaciones sismológicas del volcán Puracé registró durante el mes de febrero de 2022 un total de 2876 eventos sísmicos, de los cuales 619 estuvieron asociados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 2257 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos, 1533 fueron catalogados como eventos de largo periodo (tipo LP), 615 como pulsos de tremor de bajo nivel energético (tipo TR), 27 como tornillos (tipo TO) y 82 como híbridos (tipo HB), los cuales muestran características de fracturamiento de roca y a la vez dinámica de fluidos.

La figura 45 muestra el número de sismos registrados diariamente durante el mes de febrero de 2022 en el volcán Puracé, donde se hace evidente el predominio de la actividad generada por la dinámica de fluidos. La figura 46 permite observar, a partir del número acumulado de sismos mensuales del último año, un incremento durante el último cuatrimestre, tanto en la sismicidad asociada con procesos de fracturamiento de roca como con la dinámica de fluidos, los cuales hasta el momento no se han relacionado con cambios adicionales en el comportamiento de este volcán.

3.1.2 Energía sísmica liberada

La energía sísmica liberada por eventos VT y LP durante el mes de febrero de 2022 muestra una tendencia estable. El máximo aporte energético observado para la sismicidad tipo VT se presentó los días 1 y 2, así como el 12. En el primer caso, los valores de energía liberada se calcularon en $1.06 \text{ E}+07$ *ergios*, asociado con la ocurrencia de sismos con magnitudes de hasta $1.8 M_L$; del mismo modo, para el día 12 se presentó un valor de $1.07 \text{ E}+07$ *ergios*, el

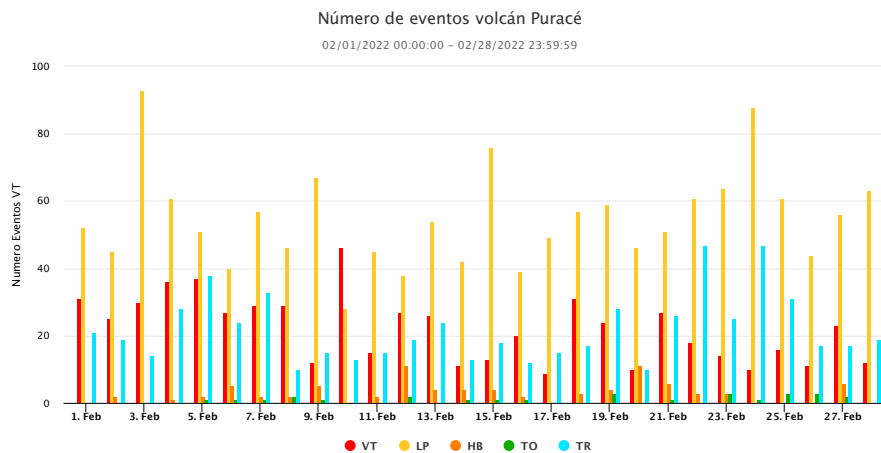


Figura 45: Número de sismos registrados diariamente en el volcán Puracé durante el mes de febrero de 2022.

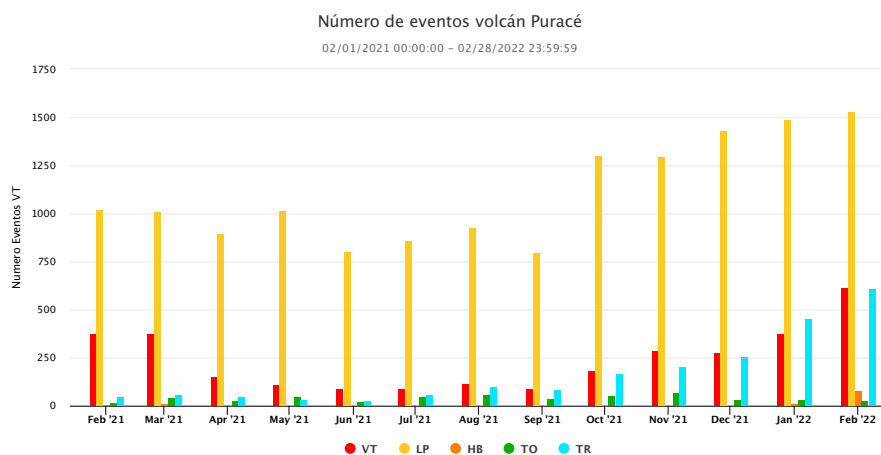


Figura 46: Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Puracé en el último año.

cual se debió a la ocurrencia de dos (2) eventos con magnitudes de 1.4 y 1.2 M_L . La sismicidad de tipo LP por su parte, presentó el mayor valor de energía liberada el día 22, con 1.47 E+06 *ergios*, el cual estuvo asociado con la ocurrencia de cuatro eventos sísmicos de magnitudes 1.3, 1.4, 1.8 y 2.0 M_c (figura 47) a lo largo del día. En la figura 48 se puede apreciar la energía sísmica acumulada diaria para el último año, tanto para la sismicidad VT como para los sismos tipo LP se observa una tendencia estable, con leves incrementos en la pendiente de la curva asociada a la sismicidad de fluidos, la cual por el momento no se relaciona con algún otro cambio en los parámetros observados habitualmente en este sistema volcánico.

Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada y en ejes distintos para facilitar su visualización.

3.1.3 Localización de eventos sísmicos

3.1.3.1 Localización de eventos asociados con procesos de fractura. Entre el 1 y el 28 de febrero de 2022 se localizaron 220 eventos sísmicos tipo VT en el volcán Puracé (figura 49), la mayoría de los cuales se ubicaron en la parte alta del edificio volcánico, en un radio no mayor a 2.5 *km* respecto al cráter y profundidades de 1 a 5 *km*, con una magnitud máxima alcanzada

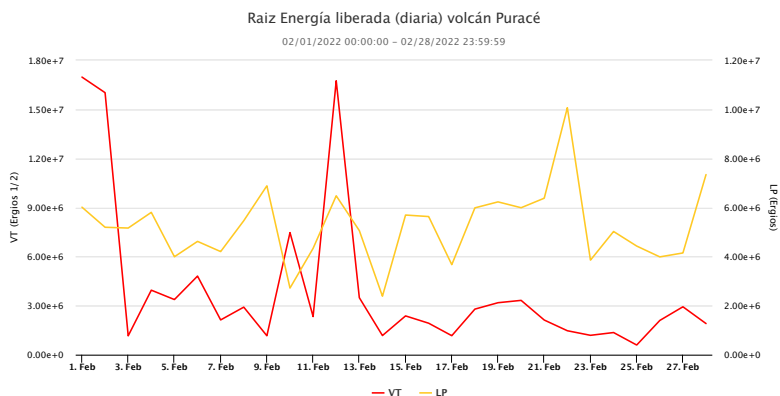


Figura 47: Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el mes de febrero de 2022.

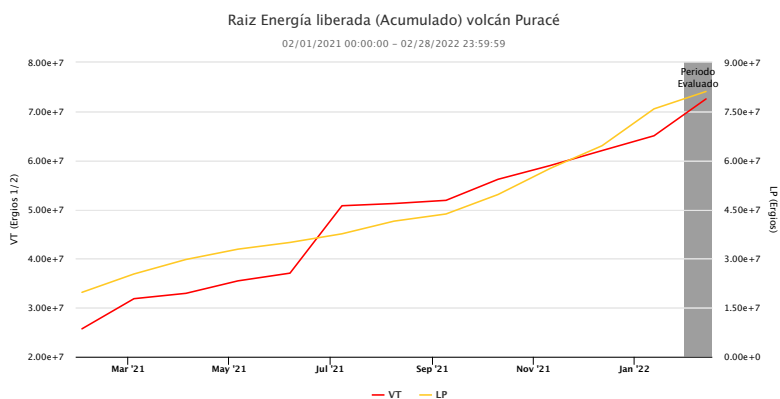


Figura 48: Acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el último año.

de $1.9 M_L$. Los sismos restantes se ubicaron de manera dispersa en el sector del Valle de Paletará y hacia el nororiente del edificio volcánico, en el primero las distancias epicentrales estuvieron entre 15 y 17 km al SW del edificio volcánico, con profundidades de 6 a 9 km y una magnitud máxima de $2.0 M_L$; mientras que, en el segundo las distancias epicentrales se distribuyeron entre 8 y 13 km , a profundidades entre 5 y 10 km y una magnitud máxima de $1.5 M_L$.

La figura 50 muestra la distribución de las magnitudes para los eventos localizados durante el último año, resaltando el periodo evaluado, en ella se puede observar como el valor de magnitudes para los sismos tipo VT en el volcán Puracé ha permanecido estable. Un evento de magnitud $2.0 M_L$, registrado el día 1 y localizado en el Valle de Paletará, corresponde a la mayor magnitud calculada para el periodo evaluado.

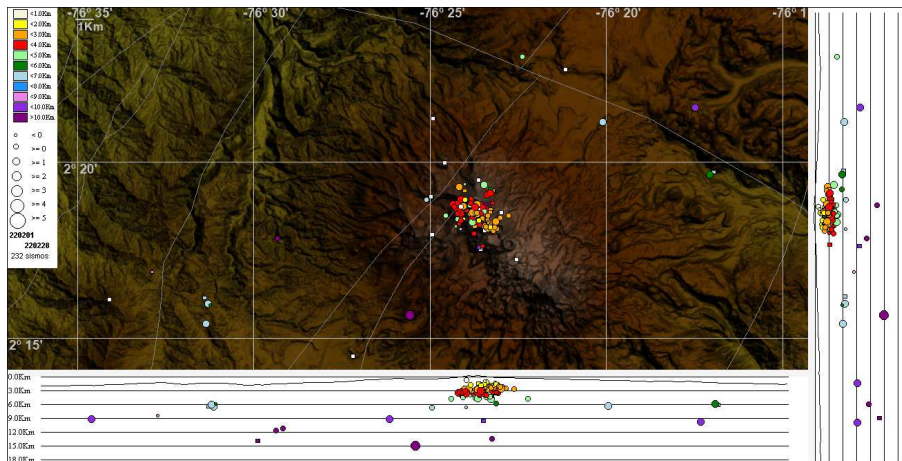


Figura 49: Mapa de localización de los eventos volcánico-tectónicos del volcán Puracé para el mes de febrero de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud Local (M_L). Los cuadros azules representan las estaciones sísmicas.

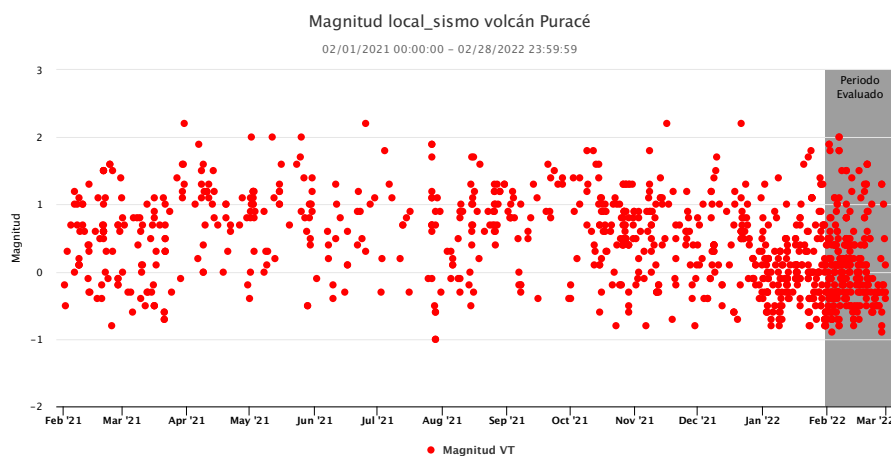


Figura 50: Diagrama de dispersión de los valores de magnitud local calculados para eventos tipo VT localizados el último año en el volcán Puracé. Se resalta el periodo evaluado.

La actividad sísmica del volcán Puracé durante el mes de febrero de 2022 se caracterizó por mostrar una tendencia estable. Los niveles de actividad sísmica evaluados en cuanto al número de sismos registrados diariamente, así como al aporte energético de los mismos, no presentan cambios a destacar, manteniéndose dentro de la tendencia observada durante los últimos años de monitoreo sísmico. De igual forma, las fuentes sísmicas en las que se concentran los sismos, no muestran cambios en su distribución y características.

3.2 DEFORMACIÓN

3.2.1 Inclínometría electrónica

Los inclinómetros Guañarita, Cocuy2, Lavas Rojas, Curiquinga y Agua Blanca presentaron un comportamiento estable durante el mes de febrero. En la figura 51 se presenta la tendencia de las componentes este- σ E y norte- σ N del inclinómetro Guañarita, como uno de los incli-

nómetros representativos de esta red de vigilancia, sin efectos por deriva y temperatura en el instrumento.

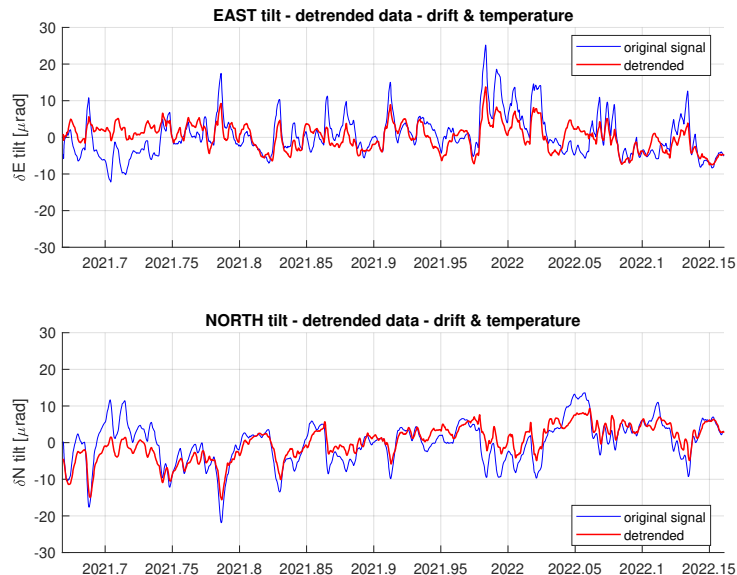


Figura 51: Comportamiento del inclinómetro electrónico Guañarita para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento.

3.2.2 Procesamiento de líneas base GNSS

Para el volcán Puracé se han definido cuatro líneas base que atraviesan fuentes sísmicas activas y la zona del cráter como se observa en la figura 53. Los resultados del procesamiento para el periodo evaluado no muestran procesos deformativos (figura 53).

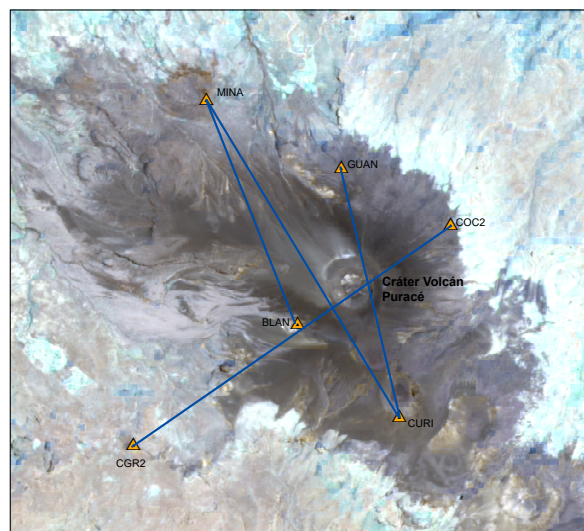


Figura 52: Localización de las líneas base, volcán Puracé.

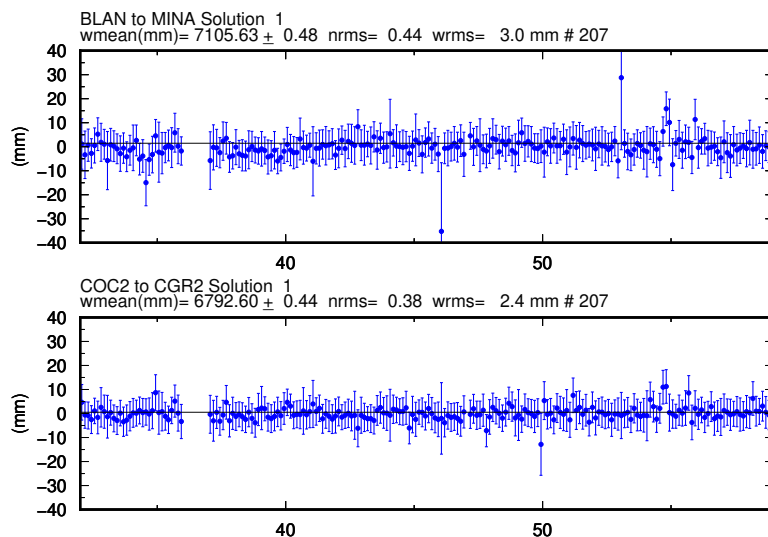


Figura 53: Series de tiempo líneas Base del volcán Puracé. BLAN-MINA, COC2-CGR2. Febrero de 2022.

3.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Los resultados para las componentes Norte y Este de las estaciones GNSS de la red de deformación del volcán Puracé, muestran una ligera tendencia diferente a la línea base de los últimos años, la cual sugiere un proceso deformativo. Sin embargo este leve cambio no se ha observado en la componente vertical de las estaciones, lo cual sugiere una fuente superficial. Como estación representativa se presenta la serie temporal del GNSS CURI que es una de las estaciones donde se observa la tendencia de manera más marcada (figura 54).

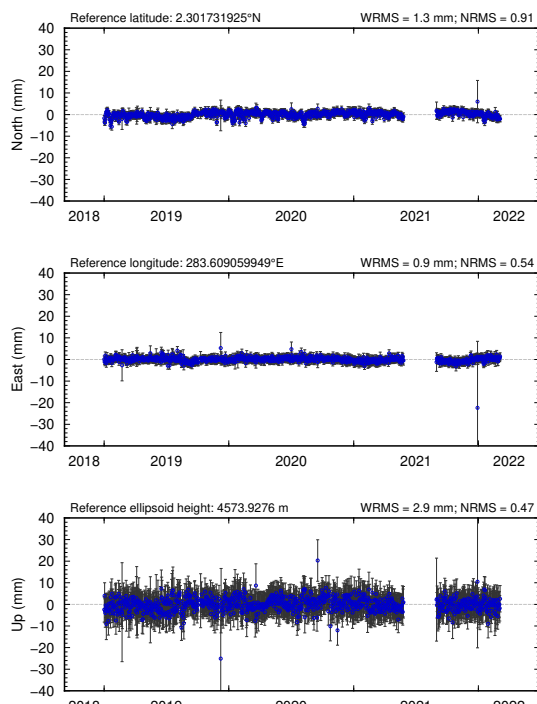


Figura 54: Serie temporal para la estación GNSS permanente CURI, enero de 2019 a febrero de 2022.

3.2.4 Interferometría diferencial de radar (D-INSAR)

Para el área volcán Puracé durante el periodo evaluado no se contó con un par interferométrico disponible que cubra el área de interés.

3.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En el mes de febrero de 2022 a través de las cámaras web fue posible evidenciar procesos de desgasificación en el campo fumarólico lateral; la dispersión de estos gases se vio condicionada principalmente por incidencia de los vientos.

Durante el periodo evaluado la dispersión de los gases emitidos desde los campos fumarólicos (Lateral e Interno) estuvieron condicionados por la acción del viento que circula entre estratos de 10 000 a 15 000 *ft* (3048 – 4572 *m.s.n.m.*). La figura 55 presenta los histogramas de los anemómetros que componen la red de estaciones meteorológicas del volcán Puracé y el pronóstico de referencia del IDEAM, los cuales ilustran el comportamiento del viento durante lo corrido del mes.

El anemómetro de la estación de referencia Cocuy registró valores hasta de 21 *m/s* equivalentes a 76 *km/h* (día 21 de febrero), siendo la máxima velocidad alcanzada durante el mes; esta estación reporta un promedio mensual de 25.2 *km/h*. Los anemómetros de Mina y Agua Bonita presentaron durante el mes unas velocidades promedio de 15.5 y 8 *km/s*. Por otro lado, se presenta el diagrama de Rosa de los vientos, marcando una tendencia con direcciones preferenciales hacia el noroeste del edificio volcánico.

El modelo pronóstico a mesoescala WRF/IDEAM (*Weather Research and Forecasting*) para un estrato de 10 000 *ft*, presentó valores máximos hasta de 5 *m/s*, que equivalen a 18 *km/h* y un promedio mensual de 1.4 *m/s*, que equivalen a 5 *km/h*. La dirección de viento presentada por este modelo mantuvo una dirección hacia el noroeste–sureste. A pesar de tener pulsos con velocidades importantes durante el día, estos valores durante el mes evaluado (promedios mensuales) se consideran como normales, de acuerdo con la línea base registrada durante el año para cada estación.

Las figuras 56, 57 y 58 evidencian procesos de desgasificación que constantemente se emiten desde el campo fumarólico lateral y al interior del cráter del volcán Puracé; esta actividad durante el mes fue captada por las cámaras web Mina, Anambío y Lavas Rojas. Desde el ángulo que cubre la cámara web Cerro Sombrero fue posible obtener registro de la cadena volcánica Los Coconucos, sin cambios a destacar (ver figura 59).

Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Puracé, Sotará y Sucubún
 Febrero de 2022

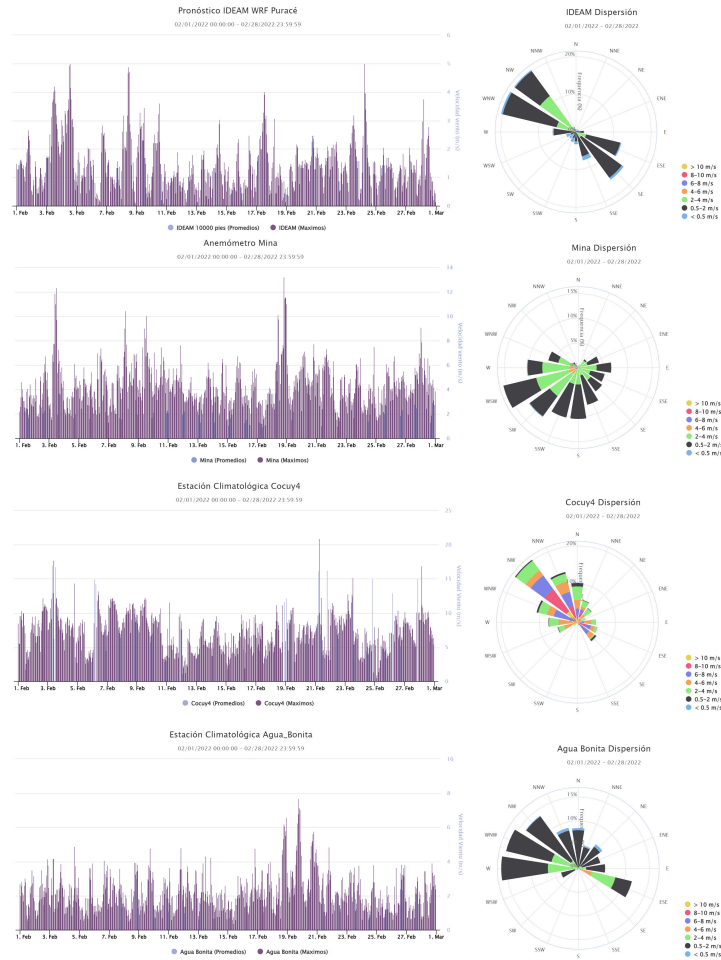


Figura 55: Velocidades diarias y promedios registrados por los anemómetros Mina, Agua Bonita, Cocuy y el pronóstico WRF/Puracé, febrero de 2022.



Figura 56: Mosaico de imágenes cámara web Mina, febrero de 2022.



Figura 57: Mosaico de imágenes cámara web Lavas Rojas, febrero de 2022.

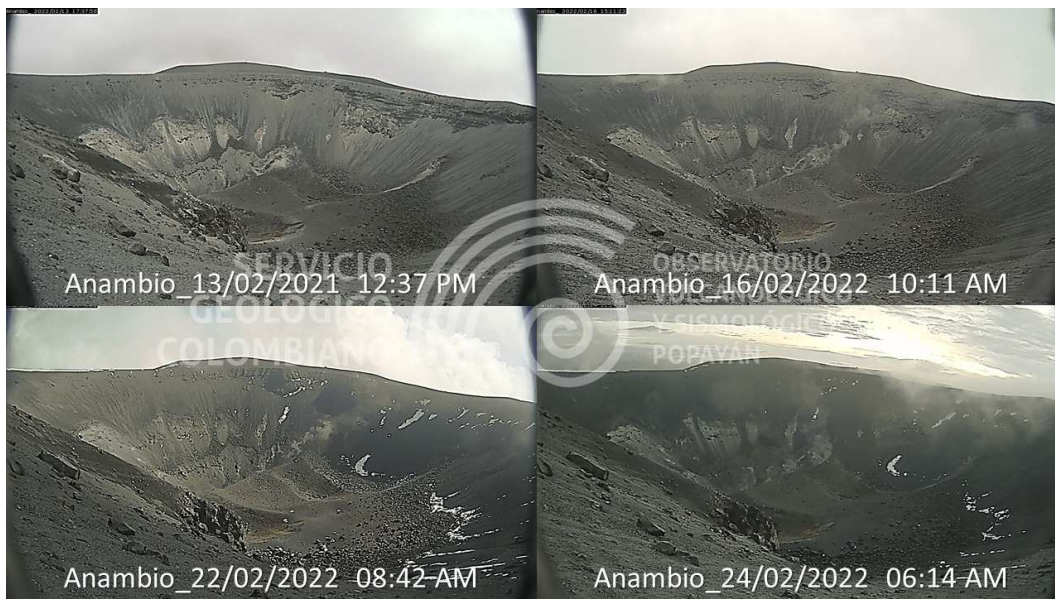


Figura 58: Mosaico de imágenes cámara web Anambío, febrero de 2022.



Figura 59: Imagen cámara web de Cerro Sombrero, 22 de febrero de 2022.

3.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

3.4.1 Potenciales eléctricos espontáneos

Los campos naturales de Potencial Eléctrico Espontáneo (PEE) presentes en los sistemas volcánicos pueden tener variaciones debidas a la actividad del sistema hidrotermal (para volcanes activos), así como por la dinámica del sistema hidrogeológico local circundante. En el volcán Puracé se hace el monitoreo de este campo utilizando la estación de PEE Cocuy2, que cuenta con cuatro electrodos de potencial, un par orientado radialmente y otro tangencialmente respecto al cráter, además se cuenta con la estación PEE Cóndor, que posee un par de electrodos orientados tangencialmente al cráter del volcán.

En el mes de febrero de 2022 los datos obtenidos de la estación de potencial eléctrico Cocuy2 mostraron cambios provocados por variaciones de temperatura (efectos día-noche) y variaciones consideradas normales dentro de la línea base existente para esta técnica. En la figura 60 se aprecian dichos cambios.

3.4.2 Magnetometría

En el mes de febrero de 2022 los sensores Laguna y Agua Blanca mostraron estabilidad (ver figuras 61 y 62). Se observaron ciclos de oscilaciones día-noche debidos a las variaciones de radiación solar. Se presentaron fluctuaciones asociables a perturbaciones temporales en la magnetosfera terrestre (causadas por eyecciones de masa coronal del Sol), de acuerdo con los datos de la estación magnetométrica de referencia Kourou, así como las alertas de tormentas geomagnéticas proporcionadas por el SWPC a través del magnetómetro acoplado al satélite DSCOVR, como las ocurridas los días 20 y 22 de febrero.

En febrero de 2022 no se observaron cambios en los campos electromagnéticos locales, no se evidenció algún comportamiento que pudiese tener correlación con los demás parámetros empleados para el monitoreo volcánico, que a su vez permitiesen identificar cambios asociados al sistema volcánico.

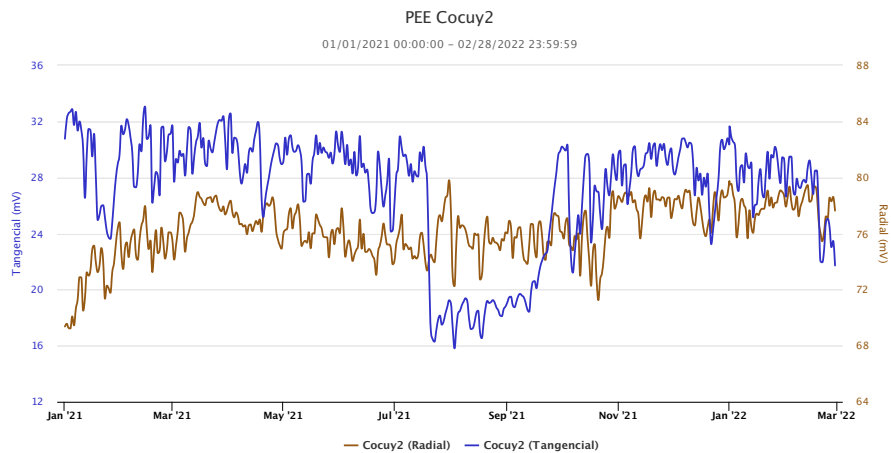


Figura 60: Arriba) Potencial eléctrico espontáneo en la estación Cocuy2, registrado entre el 1 de febrero de 2021 y el 28 de febrero de 2022.

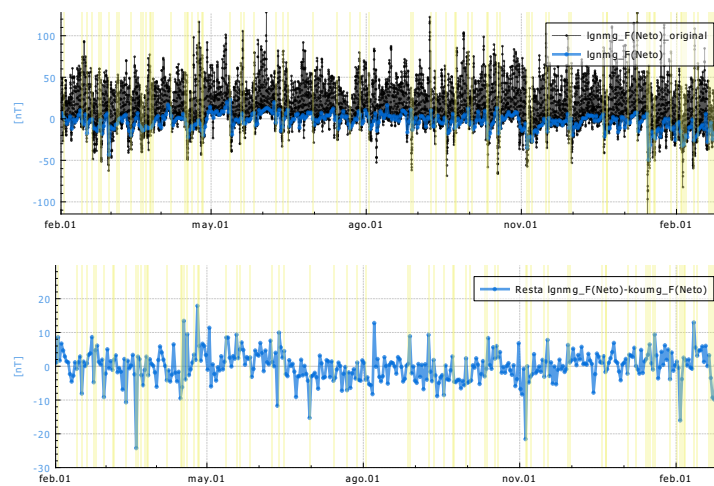


Figura 61: Campo magnético local en la estación de Laguna del volcán Puracé. *Arriba:* Campo magnético local en la estación de Laguna (nT) del volcán Puracé (color negro) y valores QNTV (color azul) entre el 1 de febrero de 2021 y el 28 de febrero de 2022. Las áreas subrayadas de color amarillo representan los días en los que se conoce, hubo tormentas geomagnéticas y las áreas subrayadas de azul representan periodos en los que no hubo buen registro en una o todas las estaciones. *Abajo:* Resta de los valores QNTV entre magnetómetro de Laguna y el magnetómetro Kourou.

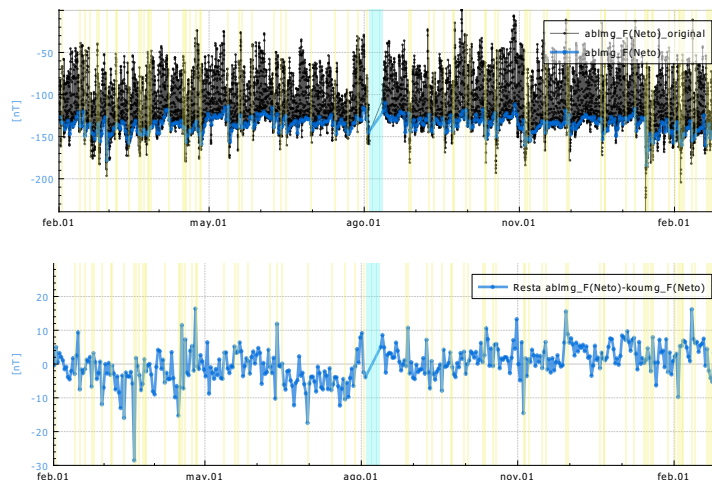


Figura 62: Campo magnético local en la estación de Agua Blanca del volcán Puracé. *Arriba:* Campo magnético local en la estación de Agua Blanca (nT) del volcán Puracé (color negro) y valores QNTV (color azul) entre el 1 de febrero de 2021 y el 28 de febrero de 2022. Las áreas subrayadas de color amarillo representan los días en los que se conoce, hubo tormentas geomagnéticas y las áreas subrayadas de azul representan periodos en los que no hubo buen registro en una o todas las estaciones. *Abajo:* Resta de los valores QNTV entre magnetómetro de Agua Blanca y el magnetómetro Kourou.

3.5 GEOQUÍMICA

El monitoreo fisicoquímico para este volcán involucra muestreos periódicos *in situ* para gases difusos en suelo (^{222}Rn y CO_2), fuentes termales (13 fuentes termales, 15 puntos de muestreo) y campo fumarólico (muestreos de gases SO_2 , medición de la temperatura) del cono activo. Las mediciones fisicoquímicas que se realizan en toda el área de influencia del volcán Puracé y en general de la Cadena Volcánica de Los Coconucos tienen como objetivo el obtener datos que permitan establecer líneas base de comportamiento del sistema volcánico, así como detectar variaciones de diferentes parámetros físicos relacionados con cambios en el mismo, como temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, composición química y relación isotópica.

El monitoreo de la actividad fisicoquímica para el volcán Puracé durante el mes de enero de 2022 comprendió el procesamiento de la información telemétrica de los gases Radón, Dióxido de Carbono y Dióxido de Azufre (^{222}Rn , CO_2 y SO_2) en las estaciones Cráter, Cocuy, Guañarita y Vinagre. Se realizó el muestreo *in situ* de parámetros fisicoquímicos (pH , T° , Conductividad) para los diferentes puntos de muestreos en las fuentes termales y sus respectivas muestras, para los diferentes laboratorios del SGC.

3.5.1 Medidas de dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro e inodoro, ligeramente soluble en agua, y tiene una densidad de 1.799 g/L (Lide, 2005), su origen en sistemas geotermales se debe a las reacciones químicas derivadas de la actividad magmática que se dan en algunos minerales, en rocas carbonatadas y sedimentarias no carbonatadas y en la materia orgánica presente en sedimentos la cual representa la principal fuente de emisión en sistemas volcánicos (Fridriksson, 2009). Debido a esta relación con los procesos que dan origen al vulcanismo, y con

el fin de comprender la interacción de su sistema con la superficie, este gas es monitoreado en el volcán Puracé.

En las figuras 63 y 64 se ilustran las variaciones en el tiempo de las concentraciones de CO_2 registradas por las estaciones Cráter y Cocuy3, desde el 1 de enero del 2020 al 28 de febrero de 2022. Los datos recolectados evidencian aportes de CO_2 bajos, con promedios para el período evaluado de 761.23 ppm (partes por millón) y 324.27 ppm respectivamente. Las estaciones Piñuelas y San Juan permiten medir la concentración de CO_2 a diferentes profundidades (sensores superior e inferior); las figuras 65 y 66 presentan la información obtenida desde el 1 de enero de 2020 hasta el 28 de febrero de 2022, con valores promedio para Piñuelas superior e inferior de 72.23 y 732.23 ppm respectivamente, mientras que los promedios de los sensores para San Juan son de 309.17 y 588.56 ppm, en el mismo orden. Estos registros muestran una variabilidad moderada, la cual se seguirá evaluando de acuerdo con el comportamiento que presente el sistema volcánico.

La información geoquímica que se genera en el monitoreo del volcán Puracé es correlacionada con la actividad sísmica, y a su vez refleja la dinámica de los procesos de desgasificación del sistema, los cuales son muy comunes en este volcán; hasta el momento están enmarcados en lo que se denomina un escenario de bajo nivel de actividad. Se continúa con el seguimiento respectivo para evaluar la dinámica de estos procesos.

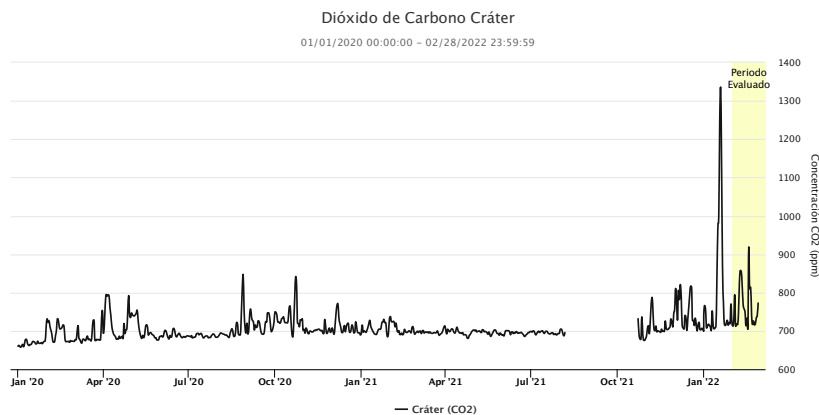


Figura 63: Variaciones en concentración de CO_2 en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Cráter.

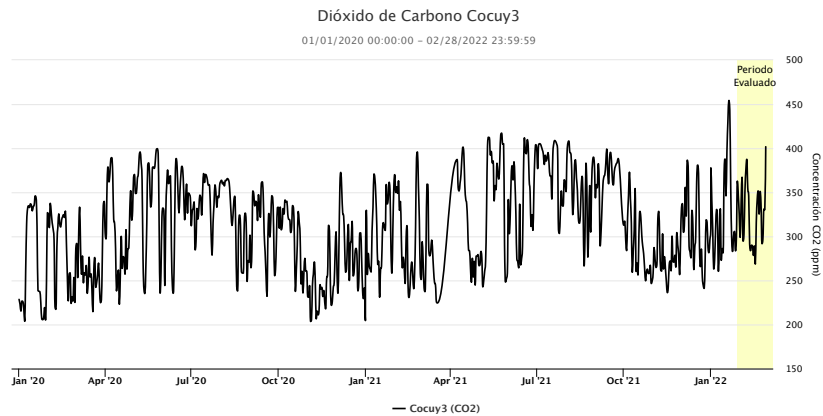


Figura 64: Variaciones en concentración de CO_2 en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Cocuy3.

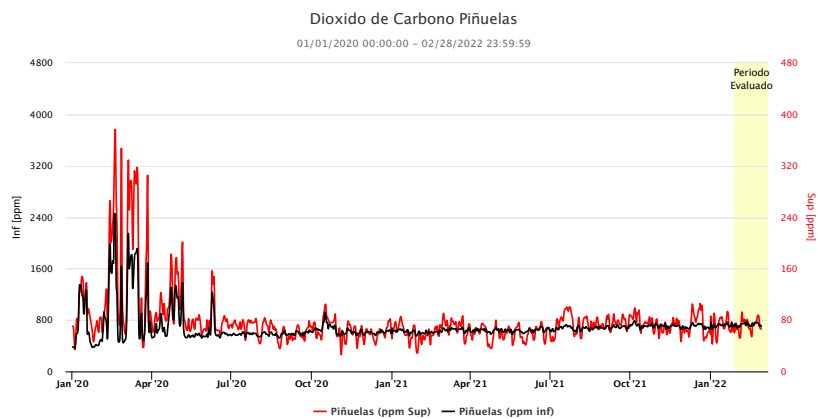


Figura 65: Variaciones en concentración de CO_2 en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Piñuelas.

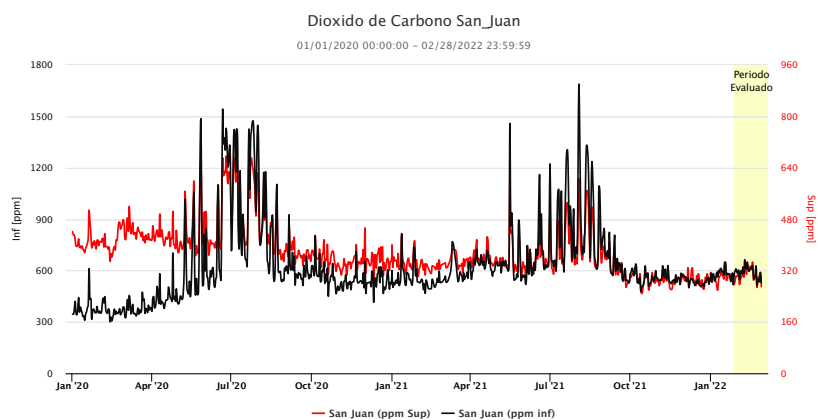


Figura 66: Variaciones en concentración de CO_2 en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación San Juan.

3.5.2 Medidas de gas Radón

El gas Radón (^{222}Rn) es un elemento radioactivo cuya producción se da de manera continua en el interior de la corteza terrestre, al ser un gas inerte, no reacciona con otros elementos y compuestos, y de acuerdo con su mecanismo de difusión tiende a escapar de las rocas donde se genera, liberándose frecuentemente por fallas, flujos de agua subterránea y otras estructuras del subsuelo, este comportamiento es aprovechado para realizar registros de este sobre la superficie.

En algunos sitios del volcán se emplea la detección de Radón en suelo con telemetría, de esta manera, los datos recibidos permiten determinar la concentración de este gas. Las figuras 67, 68 y 69 ilustran las variaciones en el tiempo de las concentraciones de gas Radón registradas por las estaciones Guañarita, Cráter y Cocuy3. Durante el mes de febrero la mayor concentración se presentó en la estación Guañarita, con un valor máximo de 957.55 pCi/L registrado el 19 de febrero. Estas variaciones, comparadas con su línea base, se encuentran dentro de los valores de comportamiento considerados normales.

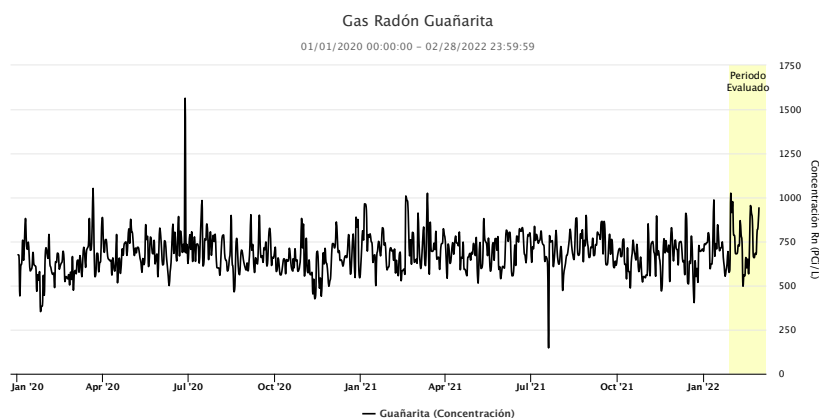


Figura 67: Variaciones en concentración de Radón en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Guañarita.

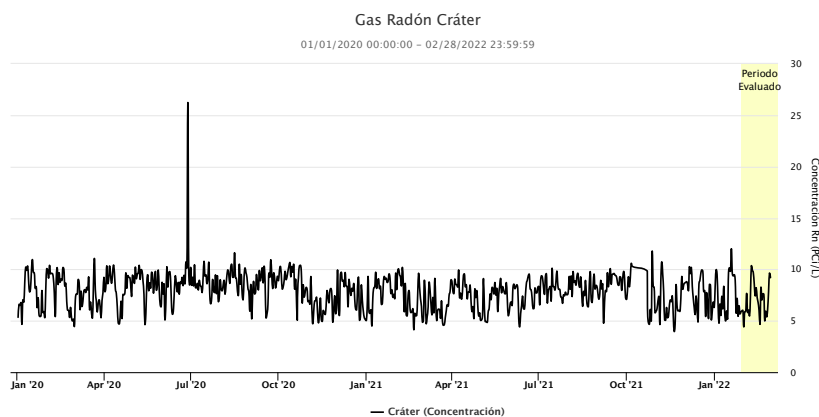


Figura 68: Variaciones en concentración de Radón en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Cráter.

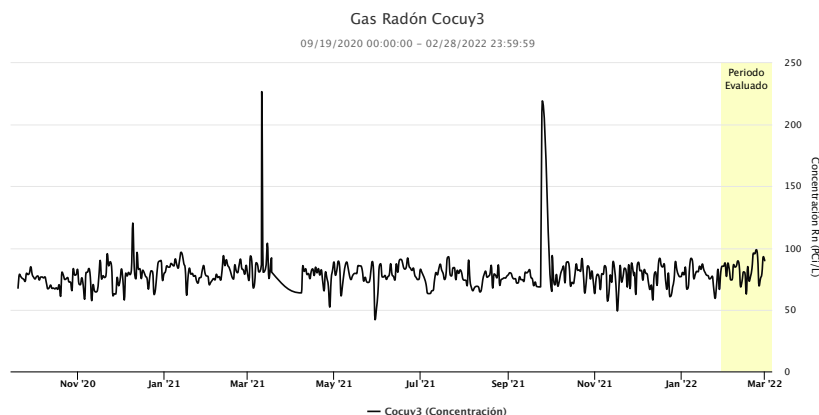


Figura 69: Variaciones en concentración de Radón en suelo durante febrero de 2022 (sombreado) en la estación Cocuy3.

3.5.3 Fuentes Termales

Las áreas termales están formadas por aguas que se calientan al circular subterráneamente por las fisuras de las rocas y que emergen a temperaturas superiores a la de la atmósfera, y por minerales disueltos en dichas aguas que a menudo se depositan alrededor del manantial y crean formas fantásticas, a veces llenas de color. Dichas aguas contienen minerales disueltos que no son más que partículas que se desprenden producto de la descomposición de la roca encajante (huésped) por el contenido de ácidos que hay en el vapor que emana (Tomado y modificado de Instituto Geológico y Minero de España, 1985).

Las fuentes termales, por lo general, se encuentran a lo largo de líneas de fallas geológicas o adyacentes a estructuras volcánicas con sistemas activos, ya que a través de los planos de fractura pueden introducirse aguas y posteriormente calentarse al llegar a cierta profundidad, antes de subir en forma de vapor o de agua caliente. Las fuentes termales asociadas al volcán Puracé que actualmente están siendo medidas térmica y fisicoquímicamente son: Guarqüelló, Pozo Azul, Pozo Azul (ZA), Agua Hirviendo, Agua Tibia, La Mina (Socavón), La Mina 1 (Socavón), Hornos 3, Hornos 7, San Juan, Pululó, Versalles, La Quinta, Laguna Verde y Rio Negro (ver Figura 8). En el mes de febrero se obtuvieron datos de Guarqüelló, Pozo Azul, Pozo Azul (ZA), Agua Hirviendo, Agua Tibia, La Mina, Hornos 3, Hornos 7, San Juan, Pululó y Versalles (ver figura 70).

La tabla 9 y las figuras 71 y 72 muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos tomados directamente en las fuentes termales durante el mes de febrero. Entre los parámetros fisicoquímicos analizados se tiene el potencial de hidrógeno (pH - permite determinar la acidez de un líquido o fuente de agua) y la conductividad eléctrica (μS - está relacionado con la presencia de sales en un medio acuoso, las cuales tienen la capacidad de transportar energía eléctrica). Con los datos obtenidos se puede apreciar que se conservan los promedios mensuales registrados precedentemente para cada una de las fuentes termales.

3.5.4 Termometría

Las zonas con actividad volcánica generan reacciones a altas temperaturas, las cuales liberan gases con influencia geotérmica y por consiguiente son relacionables con sistemas de alta liberación de calor; es de importancia para el monitoreo volcánico el conocer estas va-



Figura 70: Imágenes de algunas de las fuentes termales.

Fuente Termal	Potencial de Hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (μS)
Agua Tibia	6.86	7.656
Agua Hirviendo	6.89	10.76
Hornos 3	3.66	3.614
Hornos 7	3.64	3.624
Pululó	2.38	3.671
Guarquelló	2.49	2.87
Versalles	6.71	2.177
San Juan	4.7	1.854
Pozo Azul	5.64	1.511
Pozo Azul ZA	2.02	1.369
La Mina	1.47	12.04

Tabla 9: Potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica para las fuentes termales asociadas al volcán Puracé, durante febrero de 2022.

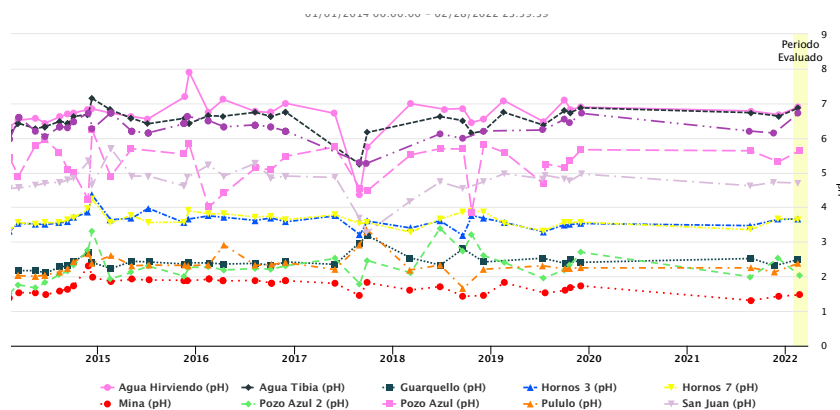


Figura 71: Variación del pH en fuentes termales del Volcán Puracé, febrero de 2022. El recuadro amarillo indica el período evaluado en el presente informe.

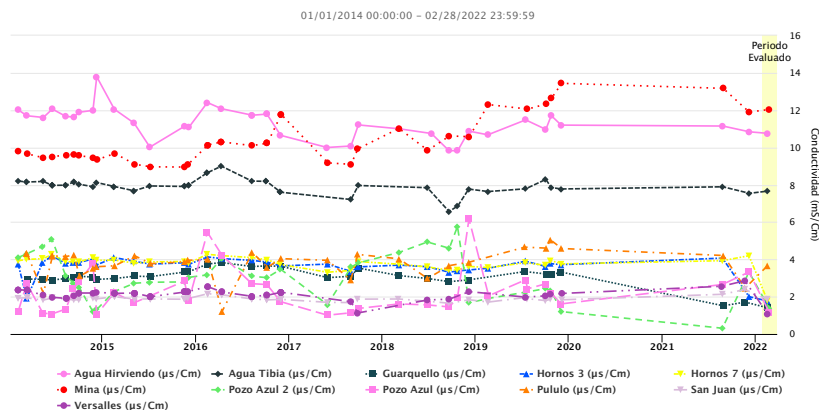


Figura 72: Variación de la conductividad eléctrica en las fuentes termales del Volcán Puracé, febrero de 2022. El recuadro amarillo indica el período evaluado en el presente informe.

riaciones en el comportamiento térmico para hacer seguimiento a los procesos que actúan en el sistema volcánico. La aplicación de las diferentes metodologías de termometría sobre las surgencias termales debe ayudar a percibir procesos físicos perturbadores, así como cambios composicionales o volumétricos de los gases en el sistema hidrotermal y en la estructura condicionante del mismo.

3.5.4.1 Medidas con termocupla portátil fuentes termales En la realización de medidas directas de la temperatura de las fuentes termales y el campo fumarólico se emplean un termopar portátil - termómetro - también llamado termocupla tipo K, que se puede definir como un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado de "medida" y el otro llamado de "referencia". Tiene un rango de temperatura de medida de -200 a $1372^{\circ}C$ y una sensibilidad de $41 \mu V/^{\circ}C$, aproximadamente.

Según la clasificación de las aguas de acuerdo a su temperatura. (Castany. 1971. en: Morell. 1995) se tienen los siguientes rangos: aguas frías $10 - 20^{\circ}C$. Hipotermales $20 - 30^{\circ}C$, mesotermales $30 - 50^{\circ}C$ y termales con valores superiores a los $50^{\circ}C$. En la figura ?? se muestran las imágenes térmicas logradas para cada fuente termal, y en la tabla 10 su clasificación según la escala explicada. También se presenta una comparación instrumental entre la cámara termográfica (FLIR) y la TERMOCUPLA (termómetro termopar portátil tipo K).

En el mes de febrero se hizo seguimiento de las temperaturas que están siendo emitidas por las fuentes termales y fumarola del volcán. Para ello, se utilizó la técnica de medidas directas con termocupla portátil (ver tabla 10).

Se efectuó una medición de temperatura directa (termocupla) de las aguas termales entre los días 15 y 19 de febrero. La comparación entre los datos de temperatura obtenidos durante el período evaluado y las líneas base que se tienen establecidas para cada una de las fuentes termales, muestra estabilidad en el comportamiento térmico de todas las surgencias (ver figura 73).

3.5.4.2 Medidas con termocupla telemétrica en fumarola lateral Para la fumarola lateral (costado noroeste del cono activo) se hace un seguimiento de las variaciones de tempe-

Fuente Termal	Temperatura medida con termocupla ($^{\circ}C$)	Clasificación de las aguas termales según su temperatura
Agua Tibia	52.5	Termales
Agua Hirviendo	72.4	Termales
Hornos 3	80.1	Termales
Hornos 7	80.8	Termales
Pululó	24.7	Hipotermiales
Guarquelló	23.4	Hipotermiales
Versalles	35.7	Mesotermiales
San Juan	34.8	Mesotermiales
Pozo Azul	44.5	Mesotermiales
Pozo Azul ZA	89	Termales
La Mina	45.6	Mesotermiales

Tabla 10: Listado de temperaturas de fuentes termales. Medición con termocupla. Febrero de 2022.

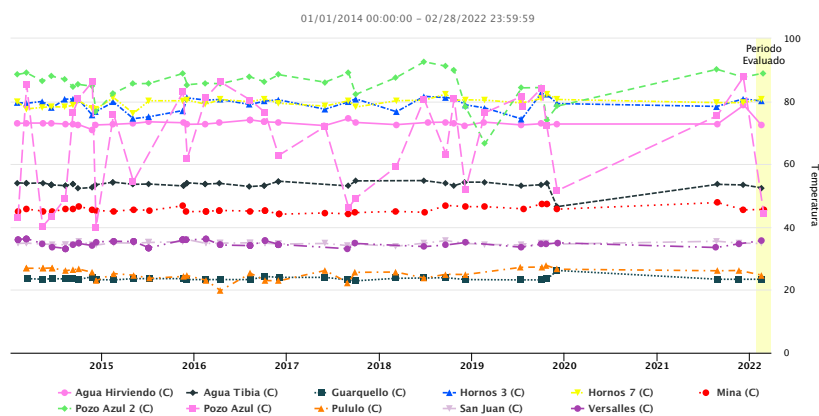


Figura 73: Variación de temperatura en las fuentes termales (medidas directas) del volcán Puracé durante febrero de 2022. El recuadro amarillo indica el período evaluado en el presente informe.

ratura a través de un sistema telemétrico unido a un arreglo de tres equipos de medición de temperatura (termocuplas), instaladas equidistantemente en el campo fumarólico del flanco norte del volcán Puracé. En la figura 74 se pueden ver los valores de temperatura obtenidos para el período evaluado.

Los datos registrados en los 3 puntos para el mes de febrero muestran temperaturas que oscilan entre 59.87 y $86.77^{\circ}C$. En el último mes han existido cambios en las temperaturas en los tres puntos (fumarola 1, 2 y 3), que están relacionados con cambios superficiales en el entorno del campo fumarólico; sin embargo, no son un reflejo del comportamiento del sistema volcánico. Se espera una estabilización de las temperaturas en los siguientes meses.

3.5.5 Medidas de dióxido de azufre

El Dióxido de Azufre (SO_2) es una molécula presente en la atmósfera terrestre, principalmente en la troposfera. Es emitido por volcanes activos y por actividades antropogénicas,

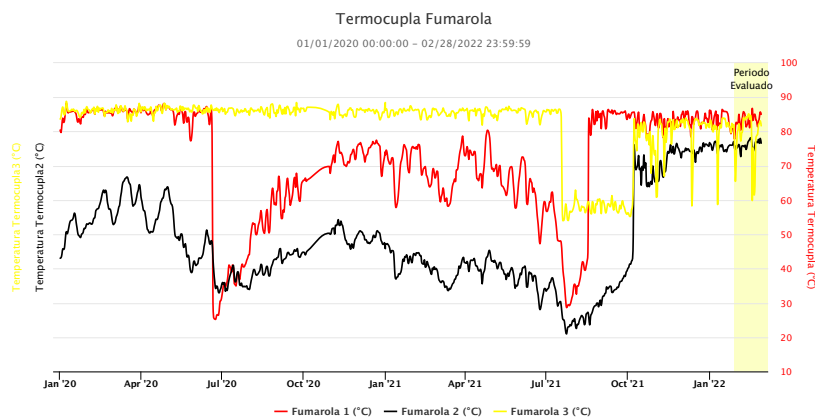


Figura 74: Temperaturas campo fumarólico, febrero de 2022.

jugando un papel importante en la química atmosférica, formando ácido sulfúrico y aerosoles. Igualmente, influye en las propiedades de oxidación del magma, su reología y dinámica eruptiva.

En el volcán Puracé se emplea la metodología espectroscópica de absorción óptica diferencial (DOAS, por sus siglas en inglés) para la detección de SO_2 ; para ello, actualmente se tienen instaladas dos estaciones SCANDOAS (Vinagre y Guañarita) ubicadas al norte y noroccidente del volcán, las cuales permiten entender la dinámica del flujo de este en el sistema fumarólico. **En el mes de diciembre se realizó la reubicación de la estación Guañarita y cambio de nombre a Vinagre 2.**

El cálculo de los valores de flujo de SO_2 se realizó teniendo en cuenta los datos obtenidos de las condiciones de viento (dirección y velocidad) registrados por la estación climatológica de Cocuy (figura 75). Durante el mes de enero el viento sobre el volcán Puracé tuvo un rango de dispersión con predominancia hacia el NW y NNW; las velocidades variaron entre 2.96 y 29.43 m/s , con una velocidad promedio de 6.35 m/s a los 10 000 *pies* de altitud (figura 75). Los valores de desgasificación máximos diarios registrados durante el mes de febrero estuvieron en el rango de 20.61 a 210.06 t/d para la estación Vinagre y 10.46 a 103.3 t/d para la estación Vinagre 2. El valor máximo registrado para el periodo evaluado fue de 210.06 t/d registrado en la estación Vinagre, el día 4 de febrero (figuras 76 y 77). Se obtuvo un total de 102 registros válidos para el periodo evaluado. Los valores de flujo de SO_2 calculados en el mes de febrero de 2022 se consideran niveles bajos, y no representan algún cambio en la dinámica del sistema magmático.

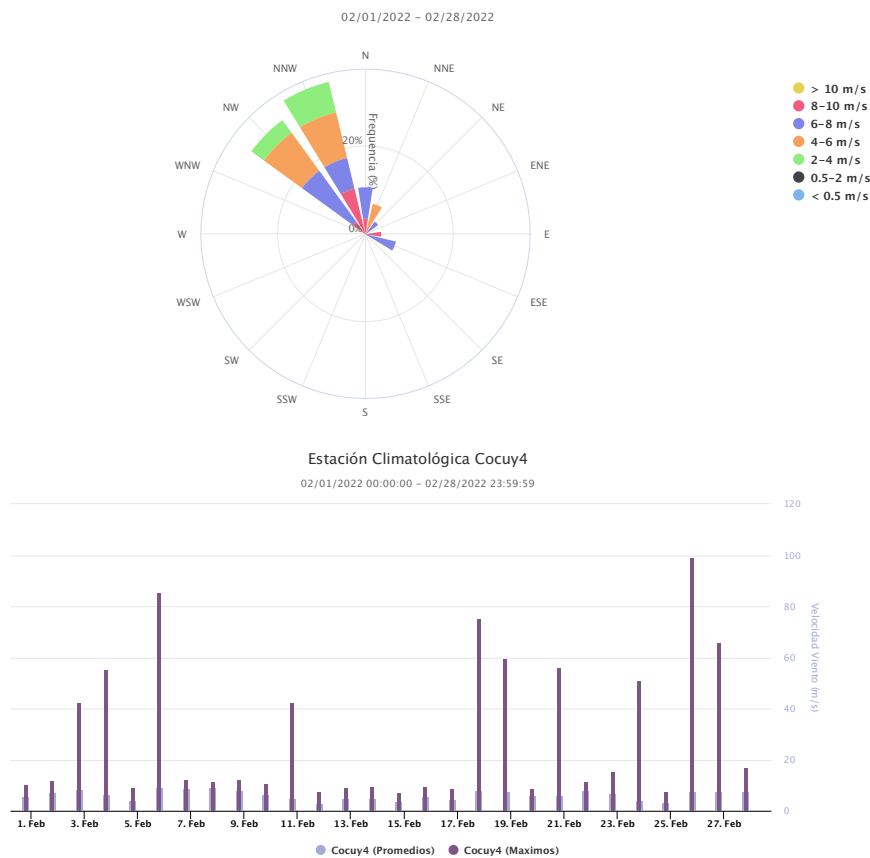


Figura 75: Direcciones preferenciales del viento en el volcán Puracé para el mes de febrero de 2022.

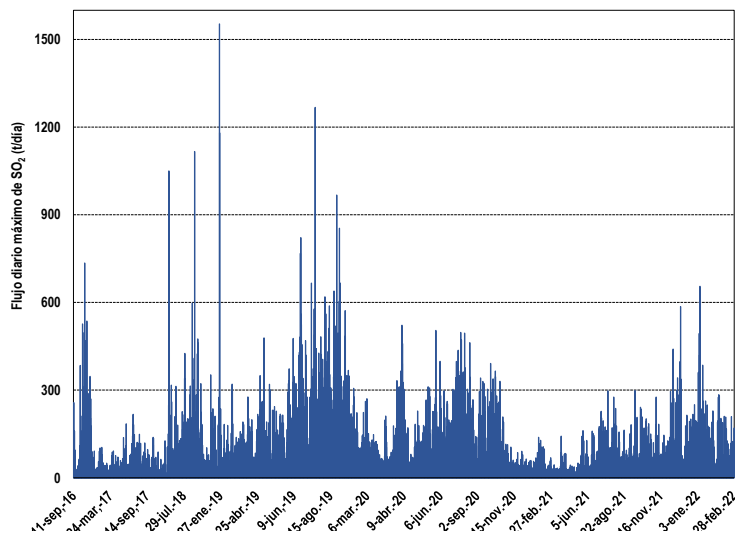


Figura 76: Representación del flujo diario de SO₂ emitido por el volcán Puracé estación Vinagre desde septiembre de 2016 hasta febrero de 2022.

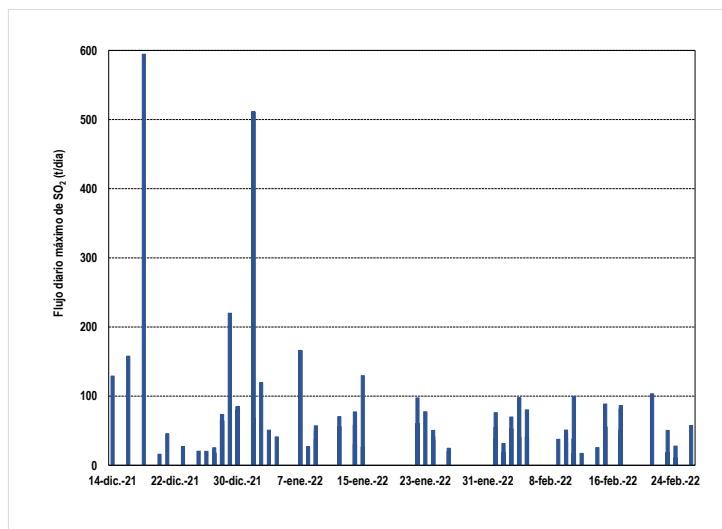


Figura 77: Representación del flujo diario de SO_2 emitido por el volcán Puracé estación Vinagre 2 desde diciembre 2021 hasta febrero de 2022.

3.6 CONCLUSIÓN.

Del análisis de la información obtenida a través de las diversas técnicas implementadas con la red de vigilancia instalada en el volcán Puracé y su zona de influencia, se concluye que durante el mes de febrero de 2022 este continúa presentando un comportamiento estable. Los parámetros de monitoreo tales como sismología, deformación del suelo, geofísica y fisicoquímica, no presentan variaciones relevantes a lo largo del periodo evaluado. Por lo tanto, el OVS–Popayán mantiene el nivel de actividad en *NIVEL IV: VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE*.

4 VOLCÁN SOTARÁ



Figura 78: Fotografía panorámica del volcán Sotará desde el flanco suroriental. Imagen captada el 18 de octubre de 2011.

El Sotará es un estrato volcán activo rico en lavas (domina la actividad efusiva sobre la explosiva), que posee tres calderas de 4.5, 2.5 y 1 *km* de diámetro, las cuales le dan a la cima una forma irregular (ver figura 79). Presenta además varios domos exógenos y conforma un complejo volcánico junto con los volcanes Cerro Gordo, Cerro Negro y Azafatudo. Tanto su caldera externa como media se hallan parcialmente fosilizadas por la actividad posterior a su formación; la más moderna (interna) se encuentra rota hacia el costado suroccidental, provocando con su derrumbe la formación de lahares. De este volcán no existe registro histórico eruptivo. Sin embargo, presenta fumarolas, actividad térmica y sísmica.

El volcán Sotará se encuentra ubicado en la Cordillera Central, en las coordenadas 2.1° Norte y 76.59° W, con una elevación máxima de 4420 *m.s.n.m.*, a una distancia de 37 *km* al sureste de la ciudad de Popayán (ver figura 79).

El Complejo Volcánico Sotará (CVS) incluye los remanentes de un estratovolcán antiguo (Pre-Sotará) sobre el cual se construyó el volcán Sotará y otros centros eruptivos (Cerro Negro, Cerro Azafatudo y Cerro Gordo). En el área cercana al Complejo Volcánico Sotará, 10 *km* al S, se encuentra el volcán Sucubún, el cual presenta una estructura caldérica, formada a partir de una importante actividad explosiva que generó inmensas ignimbritas y oleadas piroclásticas, y desarrollo posterior de domos en su interior. Por estas características se considera un centro volcánico independiente al CVS, pero que junto con éste, forman la denominada Región Volcánica Sotará - Sucubún (RVSS).

Los drenajes más importantes alrededor del volcán son el río Quilcacé y la quebrada Las Flautas al NW, los ríos Blanco, Negro y Guachicono al WSW y el río Majuas al SE.

Las labores de monitoreo se iniciaron en noviembre de 1993, con la instalación de la estación sismológica telemétrica Sotará en el sector nororiental del volcán. En mayo de 1994 esta estación fue robada y su reinstalación se llevó a cabo en diciembre del mismo año. En 1995 se empezaron a registrar niveles importantes en la actividad sísmica, lo que llevó a la instalación temporal de una segunda estación sismológica en cercanías del volcán Cerro Negro. Con el fin de mejorar el monitoreo del volcán Sotará, a partir del año 2007 y hasta la fecha, se ha rediseñado y ampliado la red de monitoreo permanente. Cabe resaltar que, como respuesta al incremento a la actividad sísmica registrada entre mayo y noviembre de 2012, se llevó a

cabo un fortalecimiento de las redes de sismología y deformación con la instalación de tres estaciones sísmicas, un inclinómetro electrónico y una estación permanente de GNSS. De igual forma, desde el año 1996 se vienen realizando análisis geoquímicos en las fuentes termales Las Amarillas y Aguas Calientes, y desde el año 1999 en el campo fumarólico (los más recientes en noviembre de 2019).

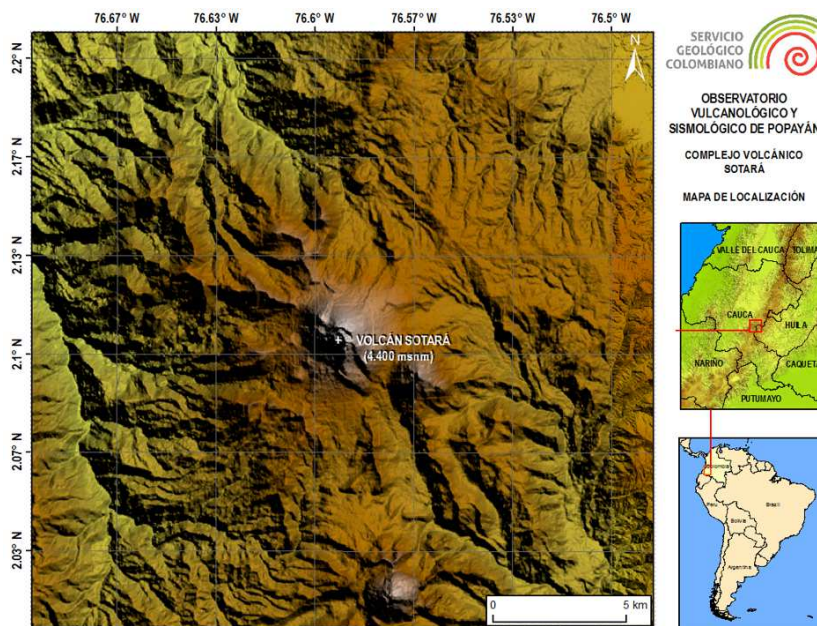


Figura 79: Mapa de localización del volcán Sotará.

4.1 SISMOLOGÍA

4.1.1 Actividad sísmica

Durante el mes de febrero de 2022 las estaciones sismológicas instaladas en el volcán Sotará registraron un total de 571 eventos sísmicos, de los cuales 282 estuvieron asociados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 289 con la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos; de estos últimos, 25 fueron clasificados como sismos de largo periodo (tipo LP), 122 como pulsos de tremor (tipo TR) de bajo aporte energético y uno estuvo asociado tanto a dinámica de fluidos como a procesos de fractura, por lo que fue catalogado como híbrido (tipo HB). La figura 80 muestra el número de eventos registrados diariamente durante el mes evaluado, se observa que los días 3 y 12 de febrero corresponden a los días con mayor número de sismos tipo VT, con más de 30 sismos diarios; mientras que para la sismicidad de fluidos fue el día 23 el de mayor registro, con más de 40 eventos. En la figura 81, que corresponde al número de eventos sísmicos mensuales para el volcán Sotará durante el último año, se observa que el número de eventos tipo VT tuvo una leve disminución durante el último mes y que el número de eventos relacionados con la dinámica de fluidos, especialmente los pulsos de tremor (tipo TR), presentó un incremento durante el mismo periodo, lo cual por el momento no representa cambios significativos en la actividad de este volcán.

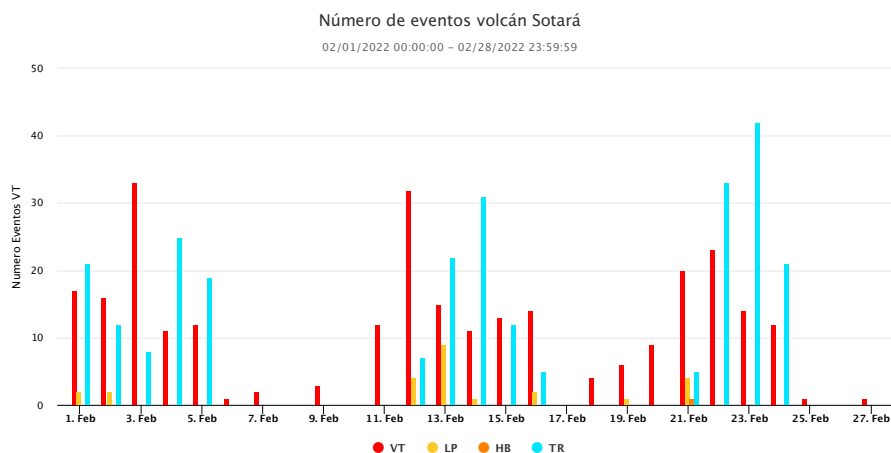


Figura 80: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sotará durante el mes de febrero de 2022.

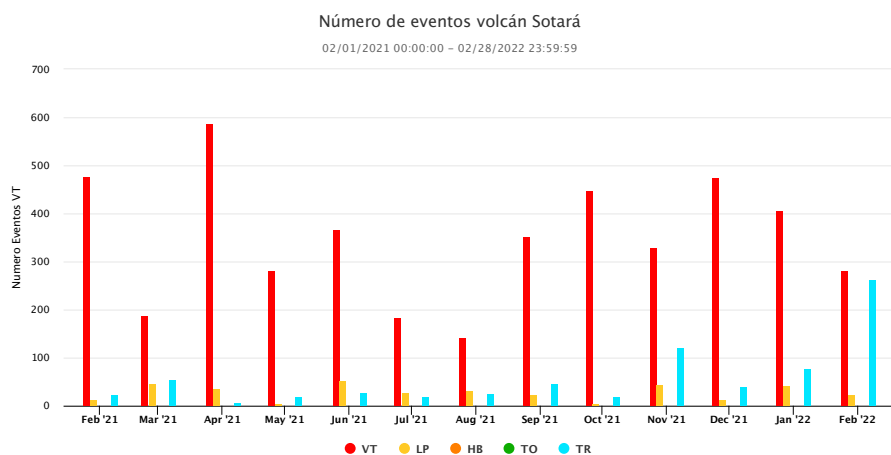


Figura 81: Número de eventos registrados mensualmente en el volcán Sotará entre febrero de 2021 y febrero de 2022.

4.1.2 Energía sísmica liberada

Durante el mes de febrero la energía sísmica liberada diariamente, tanto por los eventos asociados al fracturamiento de roca como por los procesos de dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, presentaron valores bajos (ver figura 82), se aprecia un pico destacado para los sismos tipo VT el día 20 de febrero, con un valor de $3.47 \text{ E}+13 \text{ ergios}$, relacionado con la ocurrencia de un evento de magnitud $1.7 M_L$. Por su parte, la sismicidad de largo periodo presentó un pico máximo de $1.04 \text{ E}+12 \text{ ergios}$ el día 13 de febrero, relacionado con la ocurrencia de nueve (9) eventos tipo LP, el de mayor magnitud coda de $0.9 M_C$.

La figura 83 presenta el comportamiento de la energía sísmica liberada de forma acumulada para los eventos VT y LP durante el último año, se aprecia que durante los últimos cuatro (4) meses la actividad sísmica asociada con procesos de fracturamiento de roca retomó un comportamiento estable, el cual también caracteriza la pendiente de la energía liberada por eventos asociados con la dinámica de fluidos, cuyos valores absolutos de liberación de energía siguen siendo bajos.

Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada con el fin de facilitar su visualiza-

ción.

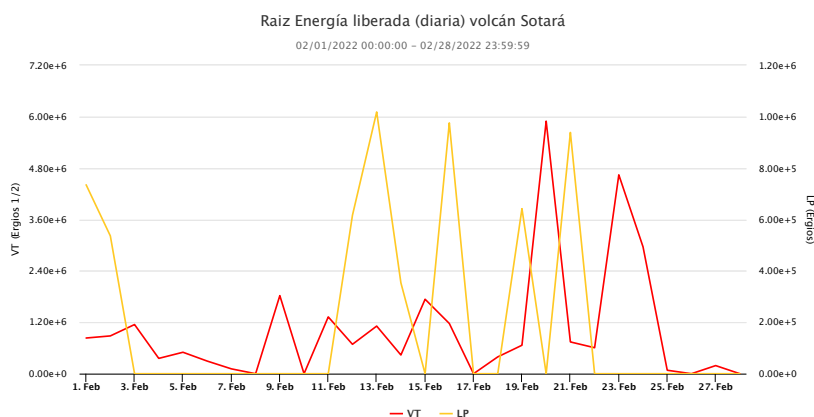


Figura 82: Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará durante el mes de febrero de 2022.

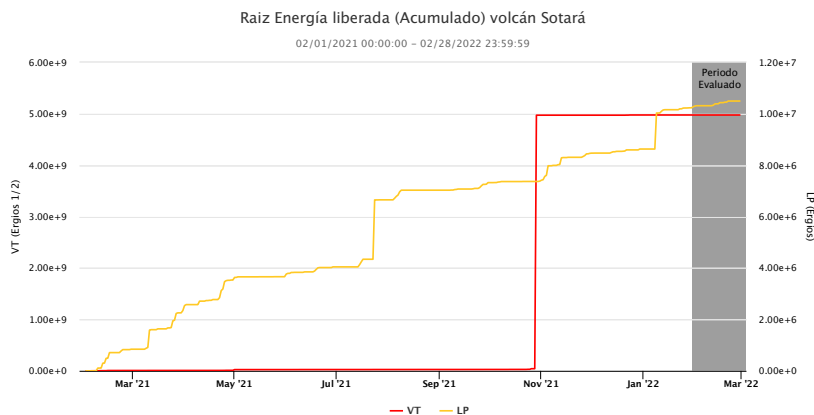


Figura 83: Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sotará entre febrero de 2021 y febrero de 2022.

4.1.3 Localización de eventos sísmicos

4.1.3.1 Localización de eventos asociados con procesos de fractura. Durante el mes de febrero fue posible localizar 76 sismos tipo VT en el volcán Sotará, que se ubicaron predominantemente bajo el edificio volcánico, a una distancia epicentral de hasta 2 *km* respecto a la cima, bajo los flancos NW y SW del volcán, con profundidades menores a los 4 *km* y valores de magnitud por debajo de 0.6 M_L . La sismicidad restante se ubicó en su mayoría hacia el N y NE del volcán, a distancias epicentrales que variaron entre 4 y 12 *km*, y profundidades de 5 a 10 *km*. Finalmente, se generaron algunos eventos sísmicos de manera dispersa hacia el sector conocido como Valle de Paletará, a distancias epicentrales entre 15 y 20 *km* al NE del edificio volcánico, con profundidades entre 6 y 14 *km* (figura 84).

La figura 84 muestra la distribución de las magnitudes locales calculadas para el mismo periodo, que presentaron valores entre -1.1 y 1.7 M_L , las cuales son consideradas bajas, el sismo de mayor magnitud se presentó 11 *km* al NNE del edificio volcánico a una profundidad de 7 *km*, el día 20 de febrero a las 09:31 (hora local).

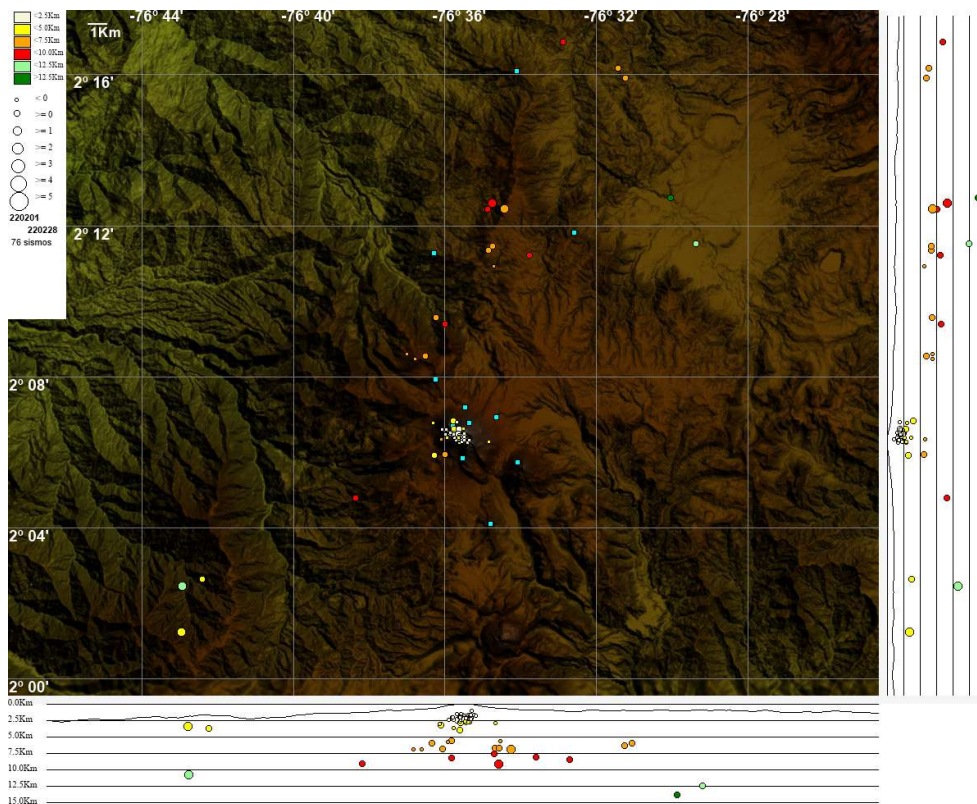


Figura 84: Mapa de localización de eventos volcánico–tectónicos del volcán Sotará del 1 al 28 de febrero de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud local calculada (M_L). Los cuadros blancos representan las estaciones sísmicas.

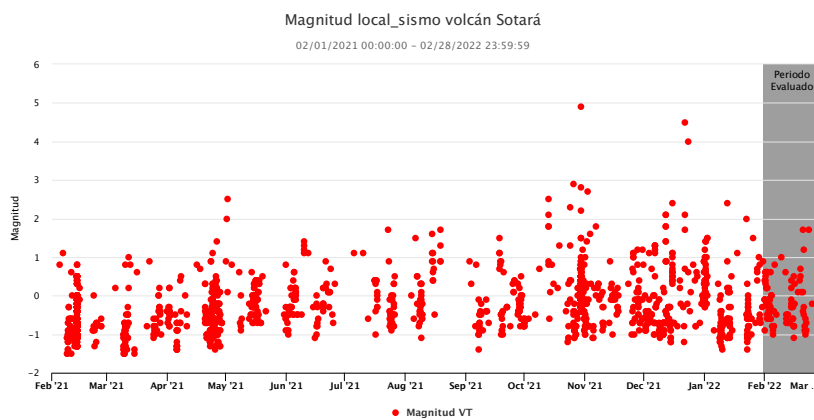


Figura 85: Magnitud Local de los eventos VT localizados en el volcán Sotará durante el mes de febrero de 2022.

4.2 DEFORMACIÓN

4.2.1 Inclínometría electrónica

Durante el mes de febrero estuvieron operativos los inclinómetros Triángulo y Oso, la tendencia de las componentes este – σ_E y norte – σ_N presentó un comportamiento estable. En la figura 86 se presenta la serie temporal del inclinómetro Triángulo como representativo de esta red sin el efecto de temperatura.

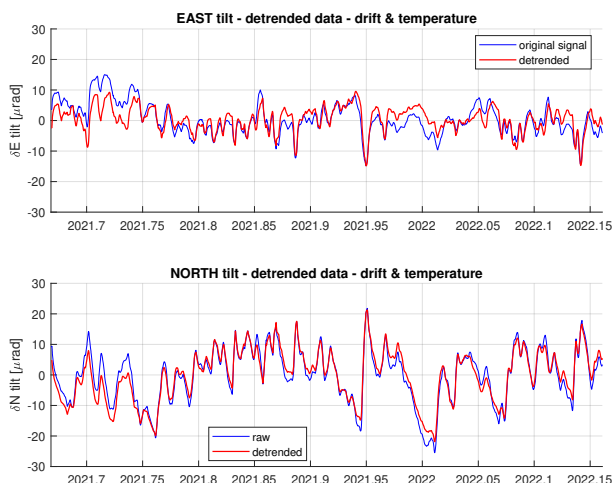


Figura 86: Comportamiento del inclinómetro electrónico Triángulo para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento.

4.2.2 Procesamiento de líneas base GNSS

Para el volcán Sotará se han definido cuatro líneas base entre las estaciones GNSS Aguas Rojas, Oso, Corona, Danta y Piramide2 (figura 87). Los resultados del procesamiento para el periodo evaluado no muestran procesos deformativos (figura 88).

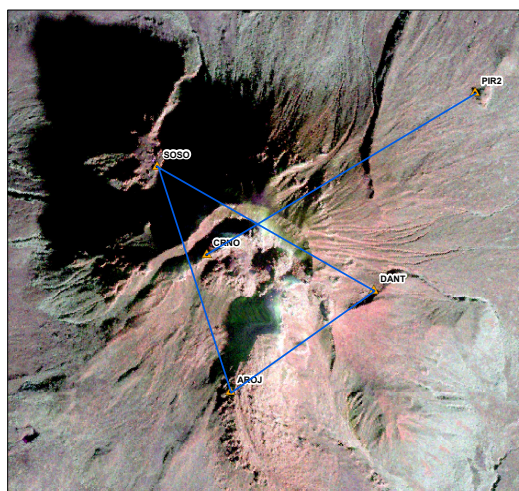


Figura 87: Localización de líneas base GNSS en el volcán Sotará.

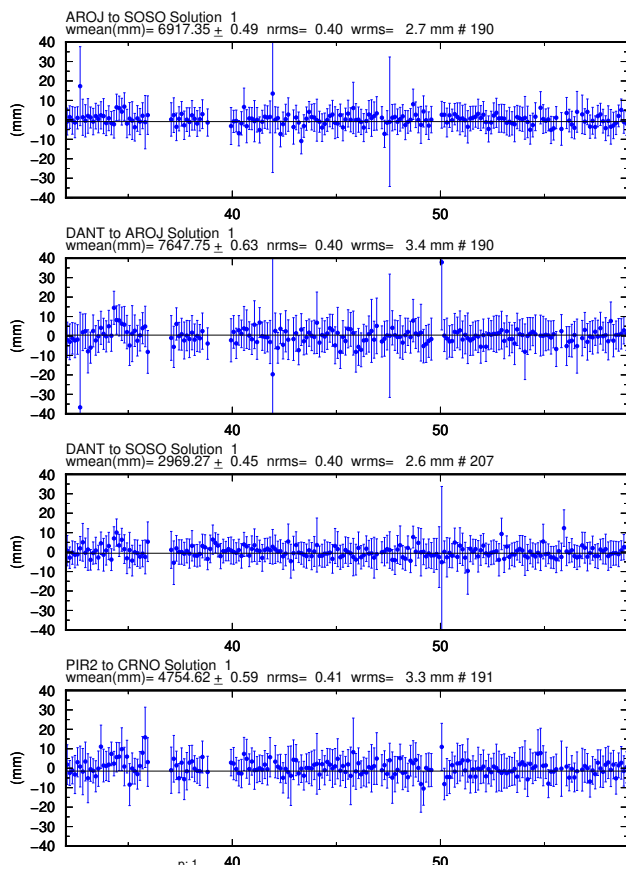


Figura 88: Resultados de líneas Base del volcán Sotará. AROJ-SOSO, DANT-ARAJ, DANT-SOSO y PIR2-CRNO. Febrero de 2022.

4.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Los resultados del procesamiento para las componentes Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS muestran una ligera deformación entre octubre de 2019 y enero de 2020. Posterior a ese periodo, las estaciones presentaron un comportamiento estable, el cual se continuó observando hasta febrero de 2022. En la figura 89 se presenta la serie temporal del GNSS DANT para los tres últimos años, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

4.2.4 Interferometría diferencial de radar (D-InSAR)

Para el área volcán Sotará se procesó el par interferométrico del 18-01-2022 y 23-02-2022 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente. Los resultados se muestran en la figura 90, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos.

4.2.5 Medición electrónica de distancias (EDM)

La técnica EDM (*Electronic Distance Measurement*) permite determinar las variaciones horizontales que ocurren en la superficie del edificio volcánico por medio de la lectura directa y electrónica de distancias inclinadas, a partir de puntos alejados del volcán denominados bases EDM, hacia prismas o reflectores EDM instalados en los flancos del volcán. En el volcán Sotará se tiene dos bases y nueve reflectores EDM los cuales se ocupan con cierta regularidad.

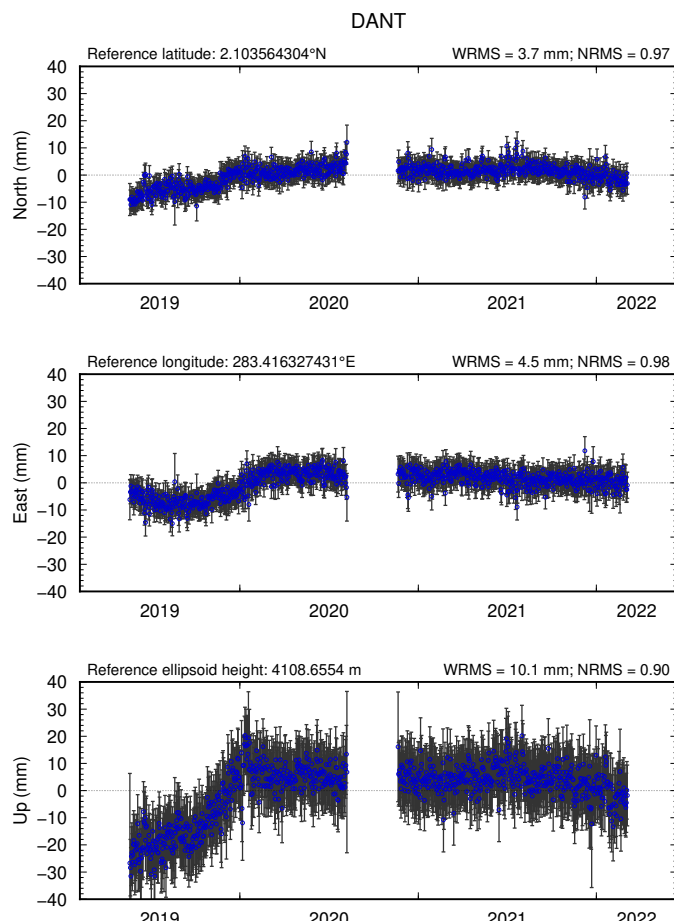


Figura 89: Serie temporal para la estación GNSS permanente DANT, marzo de 2019 a febrero de 2022.

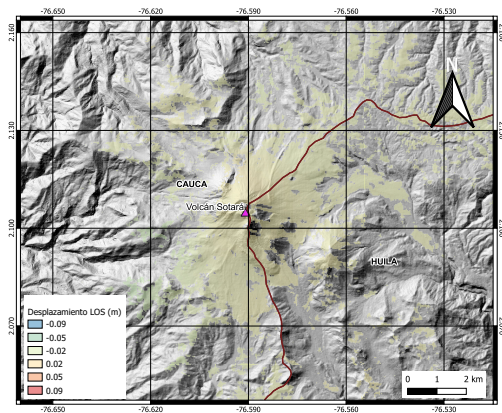


Figura 90: Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18-01-2022/23-02-2022 del satélite Sentinel-1A, órbita descendente. Área del volcán Sotará.

El día 12 de febrero de 2022 se realizó una campaña para ocupación de las líneas EDM que conforman la red de monitoreo en deformación para el volcán Sotará, debido a las difíciles condiciones climáticas, solo fue posible la lectura de un (1) reflector desde la base FL1BE. Los resultados obtenidos muestran estabilidad en el comportamiento de las líneas base y por consiguiente se puede decir que a través de esta técnica no se detectaron cambios que indiquen procesos de deformación volcánica (figura 91).

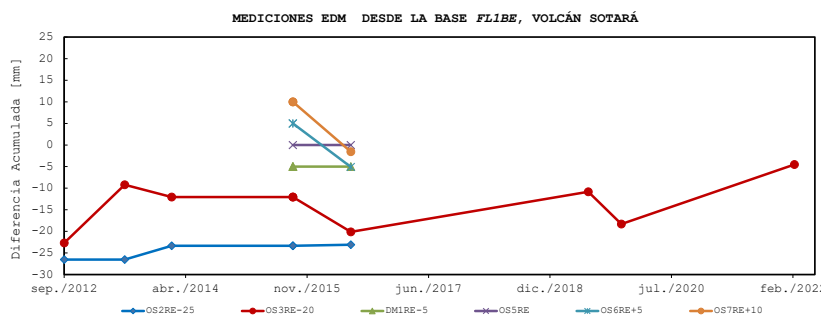


Figura 91: Línea base de mediciones EDM en el volcán Sotará desde las base FL1.

4.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

4.3.1 Registro de actividad superficial

Durante el mes de febrero las imágenes captadas por las cámaras web del volcán Sotará (Cerro Crespo y Majuas Sotará) no evidenciaron cambios morfológicos ni procesos asociados con emanaciones de gases. En las figuras 92 y 93 se presentan algunas de las imágenes destacadas durante el período evaluado.

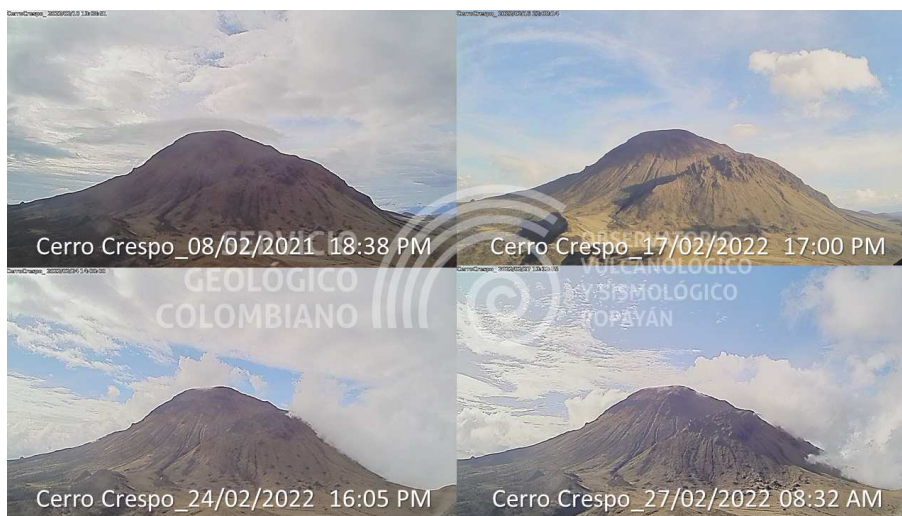


Figura 92: Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Cerro Crespo, volcán Sotará febrero de 2022.



Figura 93: Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majúas Sotará, volcán Sotará febrero de 2022.

4.4 CONCLUSIÓN

De acuerdo con el análisis de la información obtenida a través de las diversas estaciones que componen la red de monitoreo sísmico del volcán Sotará, se concluye que, aunque los niveles de energía sísmica liberada y el número promedio de eventos sísmicos diarios se sitúan por encima de los promedios históricos para este volcán, y que se presentó un leve aumento en la energía liberada por sismicidad asociada con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, el comportamiento del sistema volcánico se mantiene estable. Por medio del análisis realizado a las demás técnicas de monitoreo implementadas en el volcán Sotará, no se encontraron variaciones a destacar, por lo que el OVS–Popayán mantiene el nivel de actividad en *NIVEL III (AMARILLO): CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA*.

5 VOLCÁN SUCUBÚN



Figura 94: Fotografía panorámica del volcán Sucubún desde la cámara web de Majuas. Imagen captada el 28 de octubre de 2018.

El volcán Sucubún se encuentra localizado 10 *km* al SSE del volcán Sotará, fuera de la caldera del volcán Pre-Sotará. Este volcán presenta una forma cómica que se encuentra en el interior de los remanentes de dos estructuras volcánicas concéntricas, representadas por una caldera externa y el cráter actual. De acuerdo con interpretaciones de fotogeología, a este volcán se le podrían asociar diferentes tipos de depósitos, como flujos de lava, corrientes de densidad piroclástica y un domo de lava, los cuales se presentan también como unidades eruptivas. Geográficamente se ubica en límites de los departamentos del Cauca y Huila, en las coordenadas geográficas 2° 01' N y 76° 34' O, con una altura máxima de 4100 *m.s.n.m.*, a una distancia aproximada de 46.5 *km* al SE de la ciudad de Popayán (figura 95).

Esta estructura volcánica exhibe el remanente de un cráter externo de aproximadamente 2,6 *km* de diámetro, y un inmenso domo central de 2,1 *km* de diámetro dentro del remanente de un cráter interno. Los flancos del edificio tienen pendientes entre 15° y 30°. Estructuralmente este volcán se encuentra afectado por la falla Guabas en dirección NW–SE. (Pulgarín et. al, Geología e Historia Eruptiva del Complejo Volcánico Sotará, Colombia – Ingeominas, 2011).

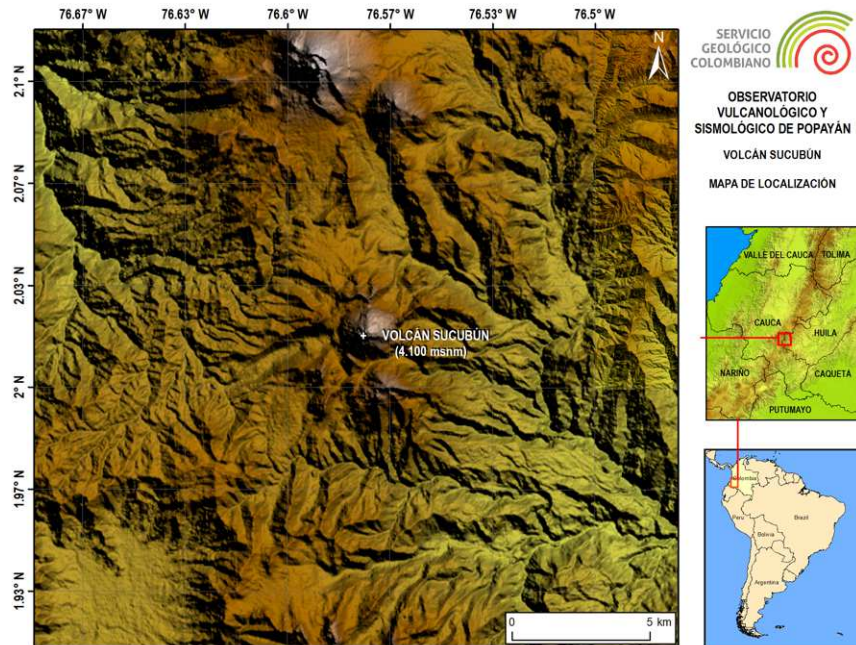


Figura 95: Mapa de localización del volcán Sucubún.

5.1 SISMOLOGÍA

5.1.1 Actividad Sísmica

La estación sísmica instalada en el área de influencia del volcán Sucubún no registró actividad sísmica asociada a este volcán durante el mes de febrero de 2022.

5.2 DEFORMACIÓN

5.2.1 Interferometría diferencial de radar

Para el área volcán Sucubún, se procesó el par interferométrico del 18-01-2022 y 23-02-2022 del satélite Sentinel-1A pasada descendente. Los resultados se presentan en la figura 96, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos.

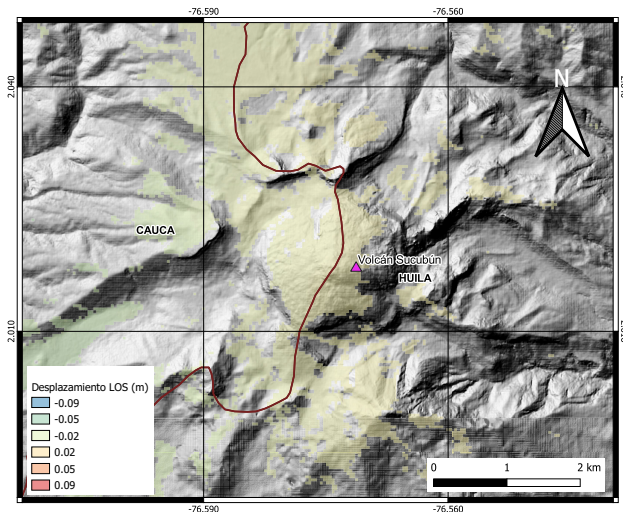


Figura 96: Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18-01-2022 y 23-02-2022 del satélite Sentinel-1A pasada descendente. Área del volcán Sucubún.

5.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

5.3.1 Registro de actividad superficial

Durante el mes de febrero en las imágenes captadas del volcán Sucubún no se evidenciaron anomalías, cambios morfológicos ni procesos asociados con emanaciones de gases. En la figura 97 se muestran las mejores imágenes destacadas durante el período evaluado.

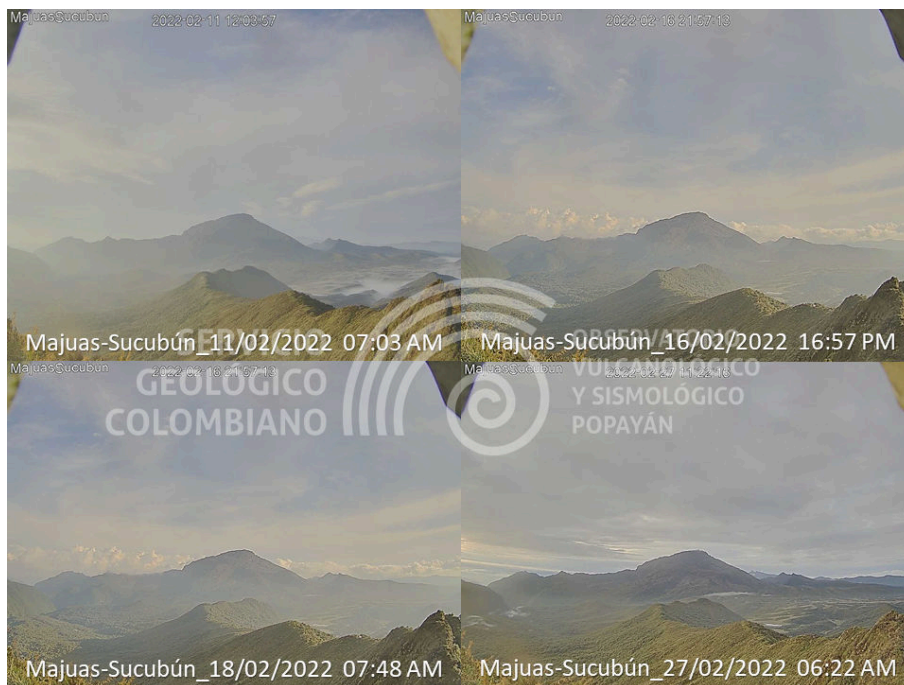


Figura 97: Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas en el volcán Sucubún, febrero del 2022.

5.4 CONCLUSIÓN.

De acuerdo con el análisis de la información derivada del monitoreo sísmico del volcán Sucubún, se concluye que durante el mes de febrero de 2022 los niveles de actividad permanecieron bajos. Por lo tanto, el OVS–Popayán mantiene el nivel de actividad volcánica **NIVEL IV: VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) – *Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán*, continúa atento a la evolución del fenómeno volcánico e informará de manera oportuna los cambios que se puedan presentar.