



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
NEVADO DEL HUILA, SOTARÁ, SUCUBÚN Y CADENA  
VOLCÁNICA DE LOS COCONUCOS  
DICIEMBRE DE 2022**

**Popayán, enero de 2023**



**MINISTERIO DE MINAS Y  
ENERGÍA**

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Julio Fierro Morales  
**Director General**

John Makario Londoño  
**Director Técnico 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. (2023). Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Sotará, Sucubún y cadena volcánica de Los Coconucos. Popayán:Servicio Geológico Colombiano.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>		<b>10</b>
1	FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO VOLCÁNICO Y SÍSMICO DEL SEGMENTO CENTRAL DEL PAIS . . . . .	12
1.1	Red de vigilancia Volcán Nevado del Huila . . . . .	12
1.1.1	Generalidades . . . . .	12
1.1.1.1	Red de estaciones sísmicas. . . . .	12
1.1.1.2	Cámaras web. . . . .	12
1.1.1.3	Deformación volcánica. . . . .	13
1.1.1.4	Electromagnetismo. . . . .	14
1.1.1.5	Sensor de infrasonido. . . . .	14
1.1.2	Funcionamiento de estaciones . . . . .	15
1.2	Red de vigilancia Volcán Puracé . . . . .	15
1.2.1	Generalidades . . . . .	16
1.2.1.1	Red de estaciones sísmicas. . . . .	16
1.2.1.2	Red de deformación. . . . .	16
1.2.1.3	Cámaras web. . . . .	17
1.2.1.4	Electromagnetismo. . . . .	18
1.2.1.5	Geoquímica. . . . .	19
1.2.1.6	Meteorología. . . . .	22
1.2.1.7	Sensor de infrasonido. . . . .	22
1.2.2	Funcionamiento de estaciones . . . . .	22
1.3	Red de vigilancia Volcán Sotará . . . . .	22
1.3.1	Generalidades . . . . .	22
1.3.1.1	Red de estaciones sísmicas. . . . .	22
1.3.1.2	Red de deformación. . . . .	23
1.3.1.3	Geoquímica. . . . .	24
1.3.1.4	Cámaras web. . . . .	25
1.3.2	Funcionamiento de estaciones . . . . .	25
1.4	Red de vigilancia Volcán Sucubún . . . . .	26
1.4.1	Generalidades . . . . .	26
1.4.1.1	Red de estaciones sísmicas. . . . .	26
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 . . . . .	32
2.2.2	Procesamiento de líneas base GNSS . . . . .	32
2.2.3	Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK . . . . .	34
2.2.4	Interferometría diferencial de radar (D-INSAR) . . . . .	34
2.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL . . . . .	35
2.3.1	Registro de la actividad superficial . . . . .	35
2.4	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS . . . . .	38
2.5	CONCLUSIÓN. . . . .	40
3	VOLCÁN PURACÉ-CADENA VOLCÁNICA DE LOS COCONUCOS . . . . .	41
3.1	SISMOLOGÍA . . . . .	42
3.1.1	Actividad sísmica . . . . .	42
3.1.2	Energía sísmica liberada . . . . .	42
3.1.3	Localización de eventos sísmicos . . . . .	44
3.1.3.1	Localización de eventos asociados con procesos de fractura. . . . .	44
3.1.3.2	Localización de eventos asociados con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos. . . . .	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) . . . . .	52
3.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL . . . . .	52
3.4	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS . . . . .	56
3.4.1	Potenciales eléctricos espontáneos . . . . .	56
3.4.2	Magnetometría . . . . .	56
3.5	GEOQUÍMICA . . . . .	58
3.5.1	Medidas de dióxido de carbono . . . . .	59
3.5.2	Medida de emisión difusa de $CO_2$ . . . . .	61
3.5.3	Medidas de gas Radón . . . . .	62
3.5.4	Termometría . . . . .	63
3.5.4.1	Medidas con termocupla telemétrica en fumarola lateral . . . . .	63
3.5.5	Medidas de dióxido de azufre . . . . .	64
3.6	CONCLUSIÓN. . . . .	66
4	VOLCÁN SOTARÁ . . . . .	67
4.1	SISMOLOGÍA . . . . .	68
4.1.1	Actividad sísmica . . . . .	68
4.1.2	Energía sísmica liberada . . . . .	69
4.1.3	Localización de eventos sísmicos . . . . .	71
4.1.3.1	Localización de eventos asociados con procesos de fractura. . . . .	71
4.2	DEFORMACIÓN . . . . .	72

4.2.1	Inclinometría electrónica . . . . .	72
4.2.2	Procesamiento de líneas base GNSS . . . . .	72
4.2.3	Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK . . . . .	74
4.2.4	Interferometría diferencial de radar (D-InSAR) . . . . .	74
4.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL . . . . .	75
4.3.1	Registro de actividad superficial . . . . .	75
4.4	CONCLUSIÓN . . . . .	76
5	VOLCÁN SUCUBÚN . . . . .	77
5.1	SISMOLOGÍA . . . . .	78
5.1.1	Actividad Sísmica . . . . .	78
5.1.2	Energía sísmica liberada . . . . .	79
5.1.3	Localización de eventos sísmicos . . . . .	79
5.1.3.1	Localización de eventos asociados con procesos de fractura. . . . .	79
5.2	DEFORMACIÓN . . . . .	81
5.2.1	Interferometría diferencial de radar . . . . .	81
5.3	ACTIVIDAD SUPERFICIAL . . . . .	81
5.3.1	Registro de actividad superficial . . . . .	81
5.4	CONCLUSIÓN. . . . .	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Funcionamiento de las estaciones de la red de vigilancia. . . . .	12
Figura 2	Mapa de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila. . . . .	13
Figura 3	Red de monitoreo de estaciones sísmicas del volcán Nevado del Huila. .	13
Figura 4	Red de monitoreo de la actividad superficial del volcán Nevado del Huila.	14
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. . . . .	15
Figura 7	Mapa de la red de vigilancia del volcán Puracé - cadena volcánica de Los Coconucos. . . . .	16
Figura 8	Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé - Cadena volcánica de los Coconucos. . . . .	17
Figura 9	Red de vigilancia en deformación actual del volcán Puracé-Cadena vol- cánica de los Coconucos. . . . .	17
Figura 10	Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la activi- dad superficial en el volcán Puracé. . . . .	18
Figura 11	Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Puracé - Cadena volcánica de los Coconucos. . . . .	18
Figura 12	Red de vigilancia en fisicoquímica del Volcán Puracé - Cadena volcánica de los Coconucos . . . . .	19
Figura 13	Red de vigilancia del volcán Sotará. . . . .	22
Figura 14	Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará. . . . .	24
Figura 15	Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará. . . . .	24
Figura 16	Red de vigilancia en fisicoquímica del volcán Sotará. . . . .	25
Figura 17	Red de vigilancia de actividad superficial del volcán Sotará. . . . .	25
Figura 18	Red de vigilancia del volcán Sucubún. . . . .	26
Figura 19	Red de vigilancia en sismología del volcán Sucubún. . . . .	27
Figura 20	Red de vigilancia en actividad superficial del volcán Sucubún. . . . .	27
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 durante el mes de diciembre de 2022. . . . .	29
Figura 24	Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Nevado del Huila durante el último año. . . . .	30
Figura 25	Raíz de la energía sísmica liberada diariamente con actividad VT y LP en el volcán Nevado del Huila en diciembre de 2022. . . . .	30

Figura 26	Raíz del valor acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el último año. . . . .	31
Figura 27	Mapa de localización de los eventos volcano–tectónicos del volcán Nevado del Huila para el mes de diciembre de 2022. . . . .	31
Figura 28	Distribución de magnitudes de los eventos localizados en el VNH durante el último año. . . . .	32
Figura 29	Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto. . . . .	33
Figura 30	Localización de las líneas base, volcán Nevado del Huila. . . . .	33
Figura 31	Serie de tiempo líneas base del volcán Nevado del Huila. . . . .	34
Figura 32	Serie temporal para la estación GNSS permanente CALO. . . . .	35
Figura 33	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Nevado del Huila. . . . .	35
Figura 34	Velocidades promedio día. Modelo pronóstico IDEAM–WRF VNH. . . . .	36
Figura 35	Imágenes captadas por la cámara web Tafxnú. . . . .	37
Figura 36	Imágenes captadas por la cámara web Caloto. . . . .	37
Figura 37	Imágenes captadas por la cámara web Maravillas. . . . .	38
Figura 38	Imágenes captadas por la cámara web La Palma. . . . .	38
Figura 39	Campo magnético local en la estación de Caloto ( $nT$ ) del volcán Nevado del Huila. . . . .	39
Figura 40	Volcán Puracé. . . . .	41
Figura 41	Mapa de localización del volcán Puracé y la cadena volcánica de Los Coconucos. . . . .	42
Figura 42	Número de sismos registrados diariamente en el volcán Puracé-cadena volcánica Los Coconucos durante diciembre de 2022. . . . .	43
Figura 43	Acumulados mensuales de eventos sísmicos según su clasificación registrados en el VP-CVLC durante los últimos dos años de monitoreo. . . . .	43
Figura 44	Energía sísmica liberada diariamente en eventos tipo VT y LP en el volcán Puracé-cadena volcánica Los Coconucos durante diciembre de 2022. . . . .	44
Figura 45	Acumulado diario de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Puracé-cadena volcánica los Coconucos durante el último año. . . . .	44
Figura 46	Mapa de localización de eventos tipo VT de la CVLC para diciembre de 2022. . . . .	45
Figura 47	Detalle del mapa de localización de los eventos volcano-tectónicos del volcán Puracé para el mes de diciembre de 2022. . . . .	46
Figura 48	Diagrama de dispersión de los valores de magnitud local calculados para eventos tipo VT localizados el último año en el volcán Puracé. . . . .	46
Figura 49	Mapa de localización de sismos de fluido generados en la zona de influencia de la CVLC durante diciembre de 2022 e histograma del número de sismos localizados según el tipo. . . . .	47
Figura 50	Diagrama de dispersión de los valores de magnitud calculados para eventos asociados con la dinámica de fluidos localizados el último año en el volcán Puracé. . . . .	47
Figura 51	Comportamiento de los inclinómetros electrónicos COC2, BLAN, CURI, GUAN y LARO. . . . .	48
Figura 52	Localización de las líneas base, volcán Puracé. . . . .	49
Figura 53	Serie de tiempo líneas base del volcán Puracé. . . . .	49

Figura 54	Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes COC2, CURI, BV-TA y GUAN. . . . .	50
Figura 55	Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes BLAN, CGR2, MINA y LARO. . . . .	51
Figura 56	Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes ABON, BED1, BED3 y BED4. . . . .	51
Figura 57	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Puracé. . . . .	52
Figura 58	Velocidades diarias registradas por los anemómetros de Mina, Cocuy y Agua Bonita. . . . .	53
Figura 59	Mosaico de imágenes cámara web Mina. . . . .	54
Figura 60	Mosaico de imágenes cámara web Lavas Rojas. . . . .	54
Figura 61	Mosaico de imágenes cámara web Anambío. . . . .	55
Figura 62	Imagen cámara web de Cerro Sombrero. . . . .	55
Figura 63	Cámara web instalada en el volcán Curiquinga (Cadena volcánica Los Coconucos). . . . .	56
Figura 64	Potencial eléctrico espontáneo registrado en el volcán Puracé. . . . .	57
Figura 65	Campo magnético local en la estación de Laguna ( $nT$ ) del volcán Puracé. . . . .	57
Figura 66	Campo magnético local en la estación de Agua Blanca ( $nT$ ) del volcán Puracé. . . . .	58
Figura 67	Diferencia de los valores QNTV entre los magnetómetros del volcán Puracé. . . . .	58
Figura 68	Variación de la concentración de $CO_2$ en suelo de la estación Cráter. . . . .	59
Figura 69	Variación de la concentración de $CO_2$ en suelo de la estación Cocuy3. . . . .	60
Figura 70	Variación de la concentración de $CO_2$ en suelo de la estación Piñuelas. . . . .	60
Figura 71	Variación de la concentración de $CO_2$ en suelo de la estación San Juan. . . . .	60
Figura 72	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Guañarita. . . . .	62
Figura 73	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Cráter. . . . .	63
Figura 74	Variación de la concentración de Radón en suelo de la estación Cocuy3. . . . .	63
Figura 75	Temperaturas campo fumarólico. . . . .	64
Figura 76	Direcciones preferenciales del viento en el volcán Puracé. . . . .	65
Figura 77	Representación del flujo diario de $SO_2$ emitido por el volcán Puracé, estación Vinagre. . . . .	65
Figura 78	Representación del flujo diario de $SO_2$ emitido por el volcán Puracé, estación Vinagre 2. . . . .	66
Figura 79	Fotografía panorámica del volcán Sotará. . . . .	67
Figura 80	Mapa de localización del volcán Sotará. . . . .	68
Figura 81	Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sotará. . . . .	69
Figura 82	Acumulado mensual de eventos sísmicos para el periodo comprendido entre enero de 2018 y diciembre de 2022. . . . .	69
Figura 83	Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2022. . . . .	70
Figura 84	Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sotará entre enero y diciembre de 2022. . . . .	70
Figura 85	Mapa de localización de eventos volcano–tectónicos del volcán Sotará. . . . .	71

Figura 86	Magnitud local de los eventos VT localizados en el volcán Sotará entre enero y diciembre de 2022. . . . .	72
Figura 87	Comportamiento del inclinómetro electrónico Triángulo. . . . .	72
Figura 88	Localización de líneas base GNSS en el volcán Sotará. . . . .	73
Figura 89	Resultados de líneas Base del volcán Sotará. . . . .	73
Figura 90	Serie temporal para la estación GNSS permanente DANT. . . . .	74
Figura 91	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Sotará. . . . .	75
Figura 92	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Cerro Crespo. . .	75
Figura 93	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas-Sotará. .	76
Figura 94	Fotografía panorámica del volcán Sucubún. . . . .	77
Figura 95	Mapa de localización del volcán Sucubún. . . . .	78
Figura 96	Número de eventos registrados mensualmente en el volcán Sucubún durante el mes diciembre de 2022. . . . .	78
Figura 97	Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sucubún. . . . .	79
Figura 98	Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sucubún. . . . .	79
Figura 99	Mapa de localización de eventos volcano–tectónicos del volcán Sucubún.	80
Figura 100	Magnitud local de los eventos VT localizados en el volcán Sucubún de junio a diciembre de 2022. . . . .	80
Figura 101	Desplazamientos calculados con D-InSAR para el volcán Sucubún. . . .	81
Figura 102	Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas–Sucubún.	81

## 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 - cadena volcánica de Los Coconucos. . . . .	20
Tabla 3	Características de la red de vigilancia no telemétrica del volcán Puracé - cadena volcánica de Los Coconucos. . . . .	21
Tabla 4	Características de la red de vigilancia telemétrica del volcán Sotará. . . . .	23
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	Datos estadísticos de las medidas de flujo de $CO_2$ . Diciembre de 2022. . . . .	61

## RESUMEN

La actividad de los volcanes que conforman el segmento central de Colombia se caracterizó por presentar algunas variaciones durante el mes de diciembre de 2022. Se destaca que en el volcán Puracé y la Cadena Volcánica de Los Coconucos, los niveles y características de los eventos sísmicos registrados, así como los valores medidos de las emisiones de gases y los cambios detectados en la deformación del suelo, permanecieron por encima de los valores históricamente observados.

La actividad sísmica del **volcán Nevado del Huila** registrada durante el periodo evaluado se caracterizó por mostrar variaciones. El número de eventos registrados presentó un leve aumento respecto a los meses anteriores; sin embargo, los aportes energéticos de los mismos permanecieron dentro de los valores usualmente observados para este volcán; se mantuvo el predominio de los sismos de fluidos sobre aquellos relacionados con procesos de fracturamiento de roca, tendencia que se ha venido observando a lo largo del año. Las localizaciones de los eventos sísmicos mostraron que la actividad se concentró principalmente en las fuentes sismogénicas ubicadas al NE, SE y bajo el Pico Central, la magnitud local máxima alcanzada fue de 2.1  $M_L$ ; estas localizaciones conservaron las características, en cuanto a distribución epicentral y rangos de profundidad, que se venían presentando en los meses anteriores. En cuanto a las demás técnicas implementadas para la vigilancia volcánica, como deformación del suelo, electromagnetismo, ondas de infrasonido, geoquímica y cámaras web para el monitoreo de la actividad superficial, no se detectaron cambios que puedan indicar alguna alteración en la actividad del volcán.

La actividad sísmica del **volcán Puracé y la cadena volcánica de Los Coconucos** mantuvo valores elevados durante el periodo evaluado, tanto de fractura como de fluidos. En el caso de la sismicidad VT, los eventos se continúan presentando preferencialmente bajo los volcanes Pico de la Neblina y Puracé, a niveles superficiales y con bajo aporte energético; de igual manera, un grupo reducido de eventos se distribuyó atravesando el edificio del volcán Puracé de forma lineal en dirección NE-SW, perpendicular al eje de la cadena, sector que corresponde al trazo de la falla Moras; se destaca además un número importante de eventos que se localizaron en la fuente sismogénica distal noroccidental, la cual ha presentado actividad recurrente durante los últimos dos años de monitoreo. En cuanto a la sismicidad de fluidos, los niveles energéticos permanecieron estables, respecto a los valores de los últimos meses; las localizaciones mostraron una concentración principal debajo del cráter del volcán Puracé, a profundidades menores a los 2  $km$ . En menor proporción, se continuó generando sismicidad de fluidos a lo largo del flanco izquierdo de la cadena, cuyas profundidades tienden a aumentar en dirección suroriental.

En cuanto al monitoreo de gases volcánicos, las emisiones de flujo de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) registradas por las estaciones telemétricas mostraron un aumento. Igualmente, las concentraciones de  $^{222}Rn$  y  $CO_2$  presentaron un incremento hacia finales del mes de diciembre. Mediante el análisis de las imágenes obtenidas por las cámaras web para el monitoreo de la actividad superficial, no fueron detectadas variaciones morfológicas en las estructuras volcánicas, ni cambios en la dinámica de las fumarolas interna y lateral del volcán Puracé. Los sensores para el monitoreo de campos eléctricos y magnéticos registraron valores estables

para el periodo evaluado. Los datos obtenidos a partir del monitoreo de la deformación del suelo continuaron detectando un proceso inflacionario lento en la parte alta de la CVLC.

La actividad del **volcán Sotará** en el mes de diciembre presentó un incremento en el número de eventos registrados de tipo VT y TR. Los aportes energéticos de los eventos de fractura tuvieron un aumento hacia finales del mes, mientras que aquellos generados por la sismicidad LP fueron estables a lo largo del periodo evaluado. Los sismos de fractura estuvieron localizados principalmente al NE del edificio volcánico, en el sector del Valle de Paletará y en menor proporción debajo del edificio volcánico; la máxima magnitud local alcanzada fue de 2.7  $M_L$ .

La red de deformación del suelo volcánico presentó un comportamiento estable. Por otro lado, no se apreciaron cambios a destacar en el monitoreo de la actividad superficial mediante las cámaras web Cerro Crespo y Majuas-Sotará.

La actividad del **volcán Sucubún** permaneció en niveles bajos durante el periodo evaluado. Se registraron 13 eventos sísmicos relacionados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) de bajo aporte energético. No se apreciaron cambios a destacar en el monitoreo de la actividad superficial mediante la cámara web Majuas-Sucubún, ni con el procesamiento de imágenes satelitales mediante la técnica DInSAR.

## 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.

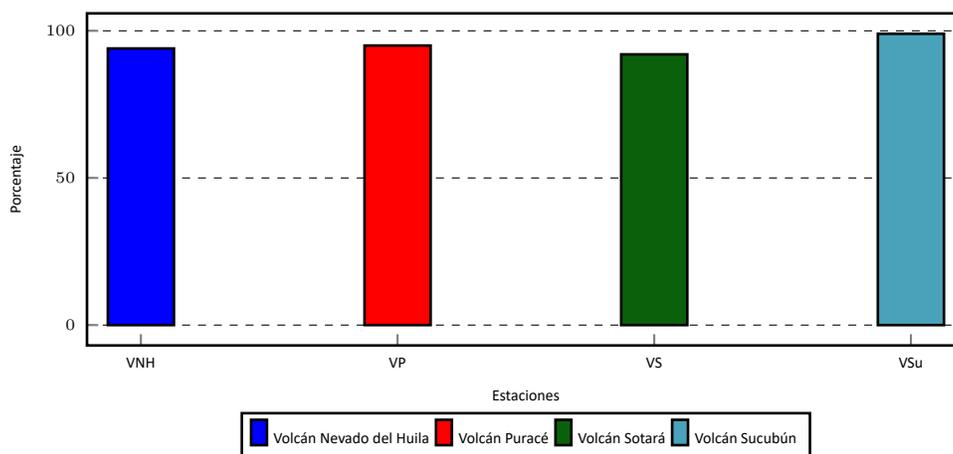


Figura 1: Funcionamiento de las estaciones de la red de vigilancia durante diciembre de 2022.

### 1.1 Red de vigilancia Volcán Nevado del Huila

La red de vigilancia del volcán Nevado del Huila está compuesta por 14 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 estaciones sísmicas, cinco de tipo banda ancha y uno de corto período, en el orden mencionado, se denominan y ubican en los siguientes sectores: Yusayú (YUSBA), 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), 28.3 km al NE del Pico Central; y Caloto (CALCO), 4.04 km al SO del Pico Central (figura 3).

**1.1.1.2 Cámaras web.** El volcán Nevado del Huila cuenta con cuatro cámaras con conexión IP para el monitoreo de la actividad superficial. Estos equipos se encuentran ubicados

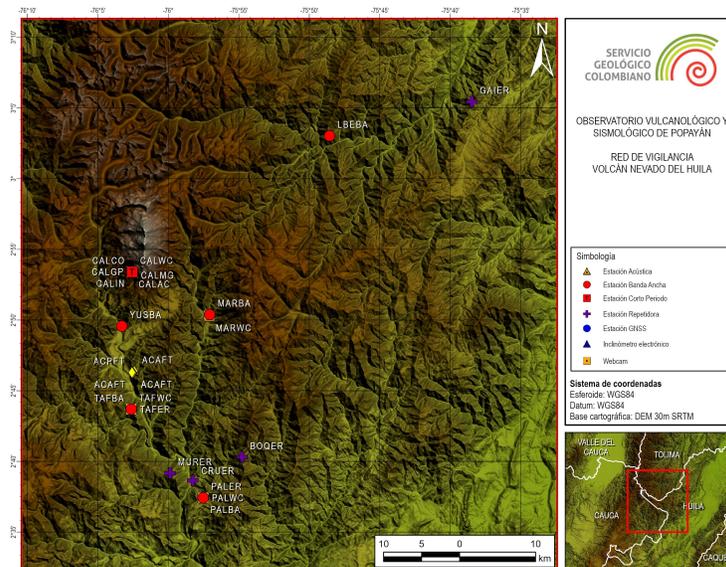


Figura 2: Mapa de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.

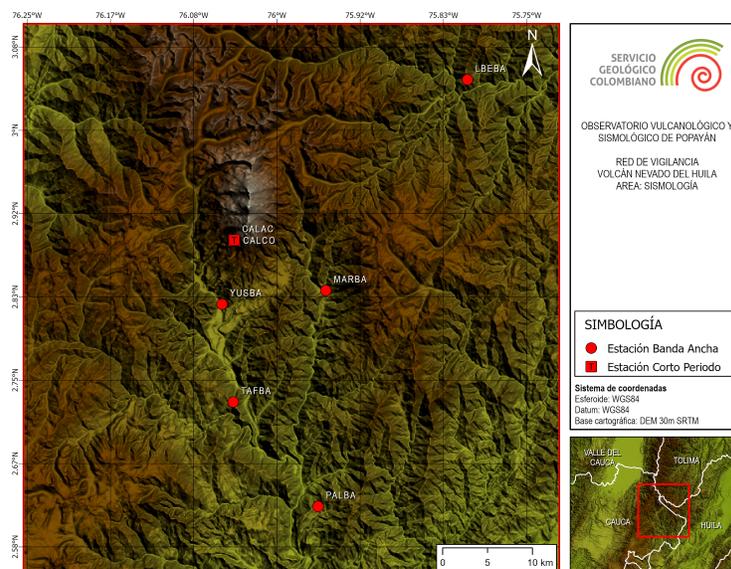


Figura 3: Red de monitoreo de estaciones sísmicas del volcán Nevado del Huila.

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).

**1.1.1.3 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 *ms.n.m.* (figura 5).



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

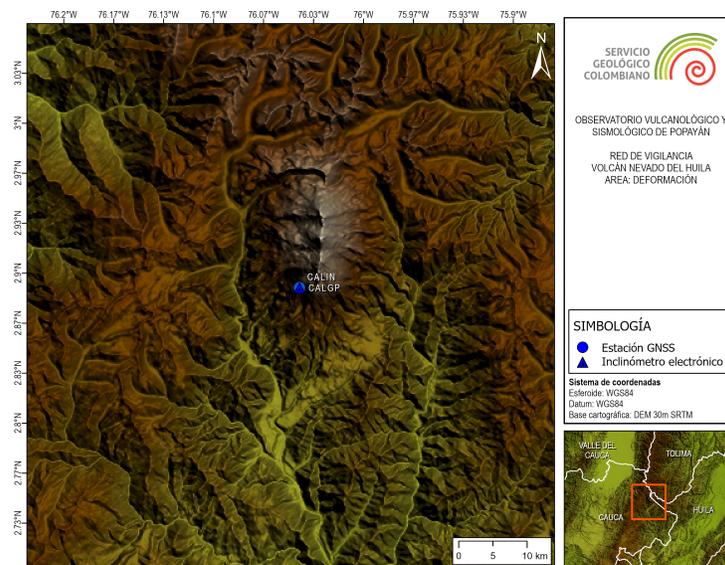


Figura 5: Red de vigilancia en deformación del volcán Nevado del Huila.

**1.1.1.4 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).

**1.1.1.5 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.

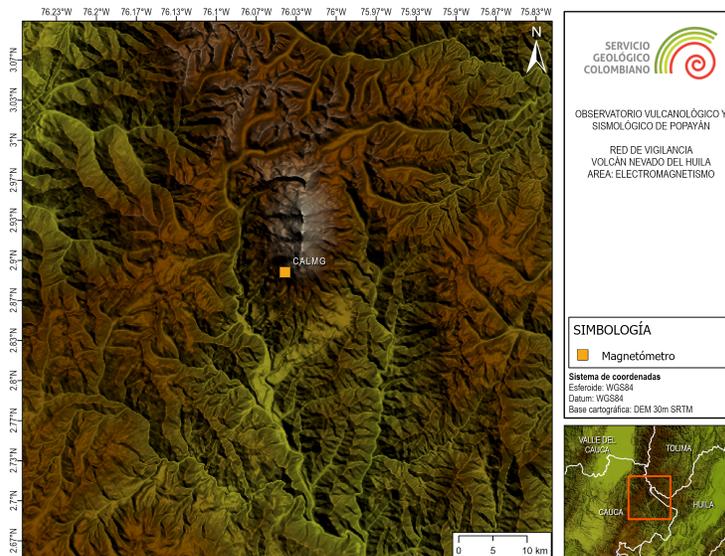


Figura 6: Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Nevado del Huila.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (ms.n.m.)	Distancia al Pico Central (km)	Operativa
Caloto	Estación Corto Período	2.8901	76.0426	4184	4.04	SI
	Cámara web					SI
	Sensor de infrasonido					SI
	Estación GNSS					SI
	Inclinómetro Electrónico					SI
	Magnetómetro					SI
La Bella	Estación Banda Ancha	3.0489	75.8102	2518	28.3	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
Tafxnú	Estación Banda Ancha	2.7281	76.0437	2410	21.5	SI
	Cámara web					SI
Yusayú	Estación Banda Ancha	2.8261	76.0549	2287	11	SI

Tabla 1: Características de la red de vigilancia 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 95% para el mes de diciembre de 2022. A su vez, la red de vigilancia del Volcán Nevado del Huila presentó un porcentaje de funcionamiento del 94% sobre este valor total.

## 1.2 Red de vigilancia Volcán Puracé

El volcán Puracé cuenta actualmente con una red de vigilancia compuesta por 109 estaciones, de las cuales 59 poseen un sistema de telemetría de datos (tabla 2), mientras que en las 50 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).

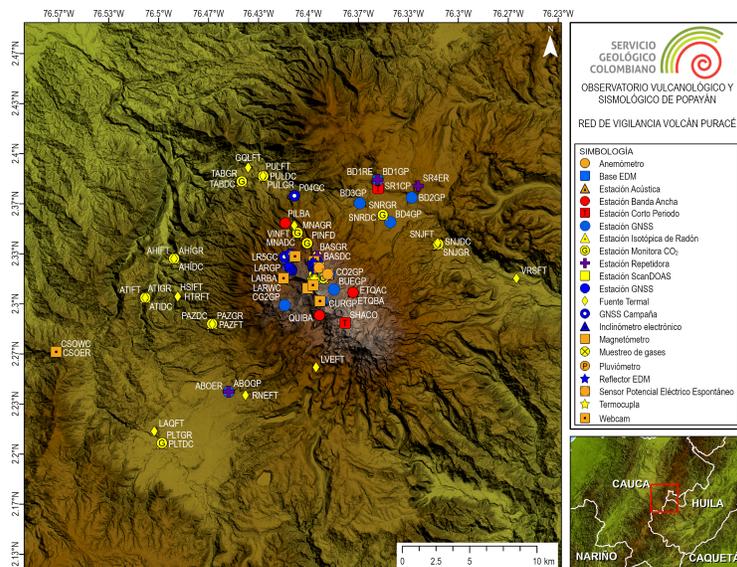


Figura 7: Mapa de la red de vigilancia del volcán Puracé - cadena volcánica de Los Coconucos.

## 1.2.1 Generalidades

**1.2.1.1 Red de estaciones sísmicas.** El volcán Puracé cuenta con una red operativa de 14 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 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, Agua Blanca, Chagartón2 y Estanquillo están instaladas hacia los sectores NE y SO del cráter del volcán, ubicadas en un rango de distancia que oscila entre 0.6 y 2.9 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-CVLC está instrumentado con un total de 20 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 SO; Cocuy2 a 1.4 km al NE; Lavas Rojas a 2 km al NO, Guañarita2 a 1 km al N y Curiqinga a 1.8 km al SE. Las 15 estaciones restantes corresponden a estaciones GNSS permanentes, distribuidas en todos los flancos del volcán a las siguientes distancias desde el cráter: Agua Blanca, Chagartón2 y Agua Bonita a 0.7, 2.7 y 10.3 km al SO, respectivamente; Cocuy2 a 1.4 km al NE; al NO se encuentran las estaciones Guañarita2 a 1 km, Lavas Rojas y Mina ambas a 2 km; Curiqinga y Buena Vista a 1.9 y 1.5 km al SE, respectivamente. Hacia el NE en la zona de San Rafael, se encuentran instaladas las estaciones Bedón1, Bedón2, Bedón3 y Bedón4 a distancias de entre 7 y 9 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; al igual que la estación Sultana, ubicada a 37 km en dirección NO del edificio volcánico. Finalmente, esta red de monitoreo se complementa con dos (2) bases y 11 reflectores EDM, mediante los cuales se realizan

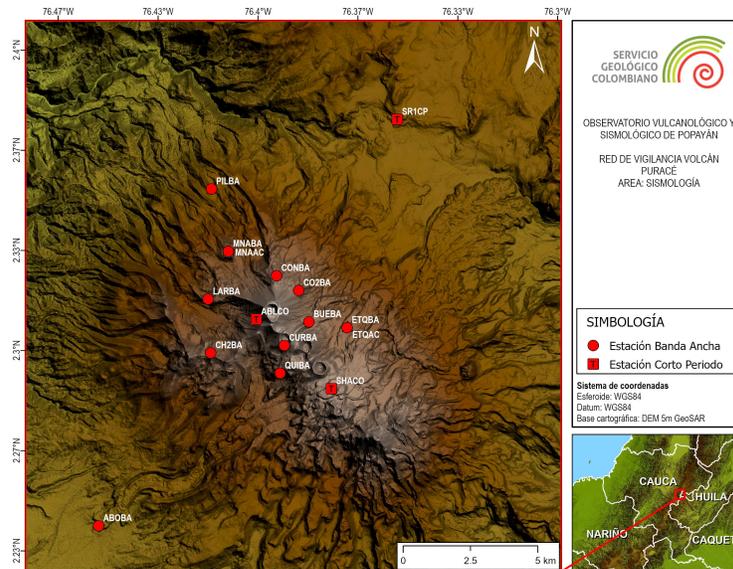


Figura 8: Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé - Cadena volcánica de los Coconucos.

medidas periódicas de control topográfico, así como con nueve (9) puntos de control para ocupaciones con GNSS de campaña (figura 9).

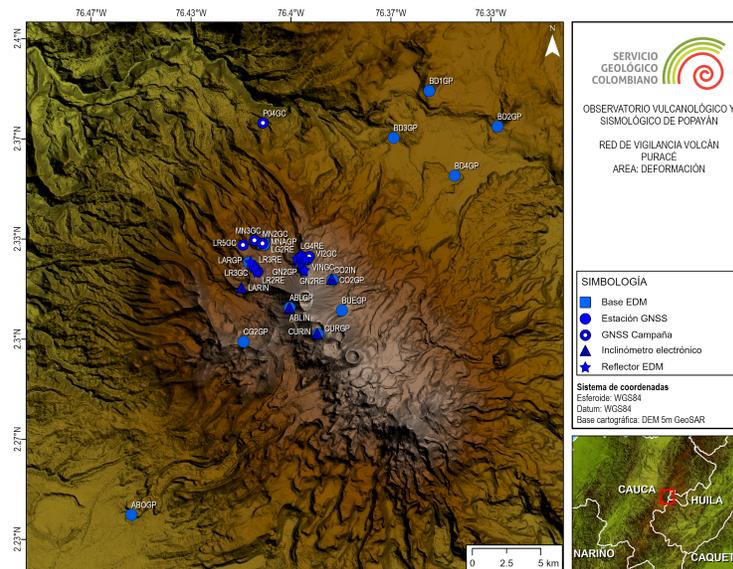
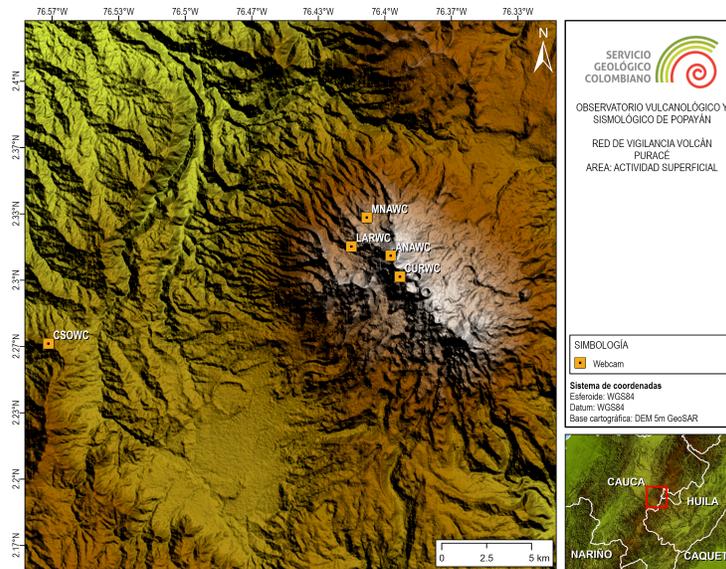


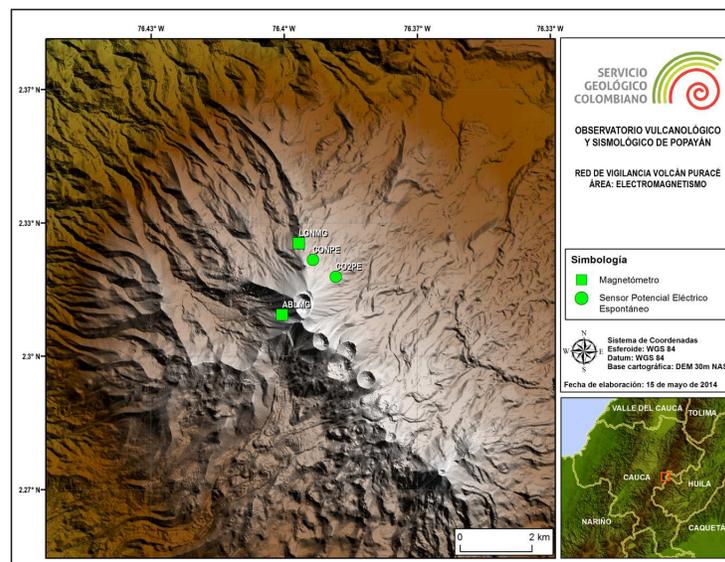
Figura 9: Red de vigilancia en deformación actual del volcán Puracé-Cadena volcánica de los Coconucos.

**1.2.1.3 Cámaras web.** El monitoreo de la actividad superficial del volcán Puracé se realiza a través de las 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; Curiquinga, instalada el 11 de agosto en el cráter del volcán Curiquinga y Cerro Sombrero, que se encuentra ubicada 18 km al SO del cráter del volcán (figura 10).



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

**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, Cónдор 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 O del volcán (figura 11).



**Figura 11:** Red de monitoreo de campos electromagnéticos del volcán Puracé - Cadena volcánica de los Cococucos.



Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Sotará, Sucubún y cadena volcánica de Los Coconucos  
Diciembre de 2022

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
	Estación GNSS	2.30954	76.38300	4306	1.5
Cerro Sombrero	Cámara web	2.2681	76.5683	3331	19.6
Chagartón2	Banda ancha	2.2991	76.4158	4304	2.7
	Estación GNSS				
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 flujo 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 flujo de $CO_2$				
Curiqinga	Inclinómetro electrónico	2.3009	76.3908	4507	1.8
	Banda Ancha				
	Estación GNSS	2.3018	76.3912	4482	1.8
	Cámara web	2.3019	76.3923	4482	1.4
Estanquillo	Estación Banda Ancha	2.3076	76.3703	4239	2.9
	Sensor acústico				
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 isotópica de Radón	2.3404	76.4008	3774	2.7
	Estación flujo de $CO_2$				
Quintín	Estación Banda Ancha	2.2924	76.3926	4239	2.8
San Juan	Estación flujo de $CO_2$	2.3397	76.3133	3237	9.8
	Estación Isotópica de Radón	2.33978	76.31335	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 - cadena volcánica de Los Coconucos.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.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
Laguna Verde	Fuente termal	2.2577	76.3949	3507	6.2
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 - cadena volcánica de Los Coconucos.

**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.** Para el volcán Puracé se cuenta con la estación Mina, equipada con un par de sensores de infrasonido y la estación Estanquillo, con un único sensor; mediante los cuales se obtienen registros acústicos relacionados con la actividad volcánica.

### 1.2.2 Funcionamiento de estaciones

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

## 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.

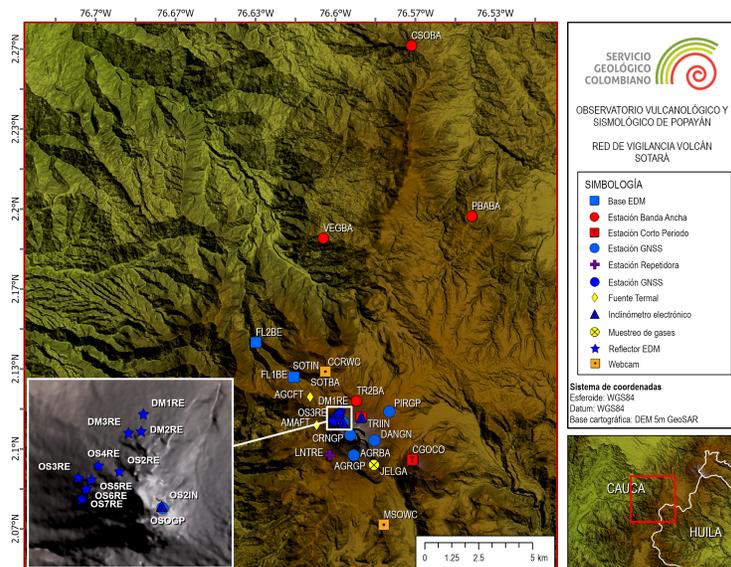


Figura 13: Red de vigilancia del volcán Sotará.

### 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,

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (ms.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
Majuas–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
	Inclinómetro electrónico	2.1111	76.5968	4106	0.8
Penn 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
	Inclinómetro electrónico			3874	
Triángulo	Estación Corto Período	2.1132	76.5891	4166	0.7
	Inclinómetro 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.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (ms.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
Jelim	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.

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 estn dispuestas, también con respecto a la cima del volcán, así: al NE las estaciones Tringulo2 a 1.4 km, Pirámide a 1.8 km, Penn 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 Triángulo 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 Rojas a 1.1 km al SE y Danta a 0.9 km al E. Adicionalmente, se han instalado dos (2) bases y

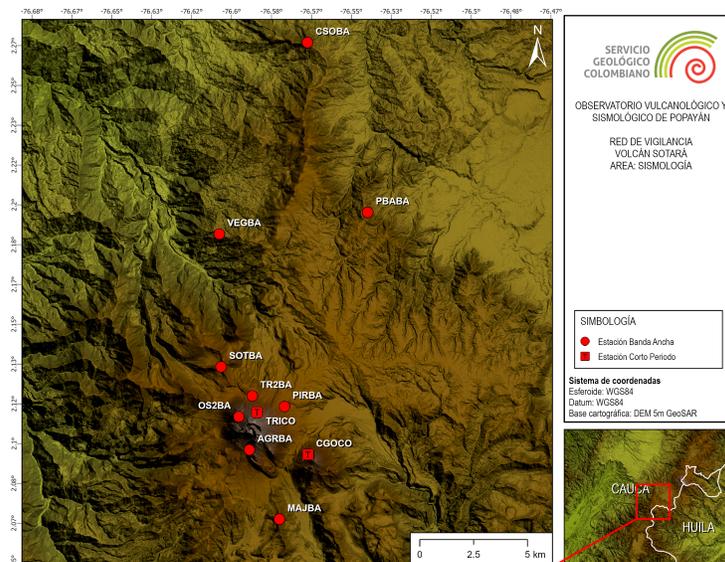


Figura 14: Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará.

nueve (9) reflectores EDM para la realización de medidas periódicas de control topográfico (figura 15).

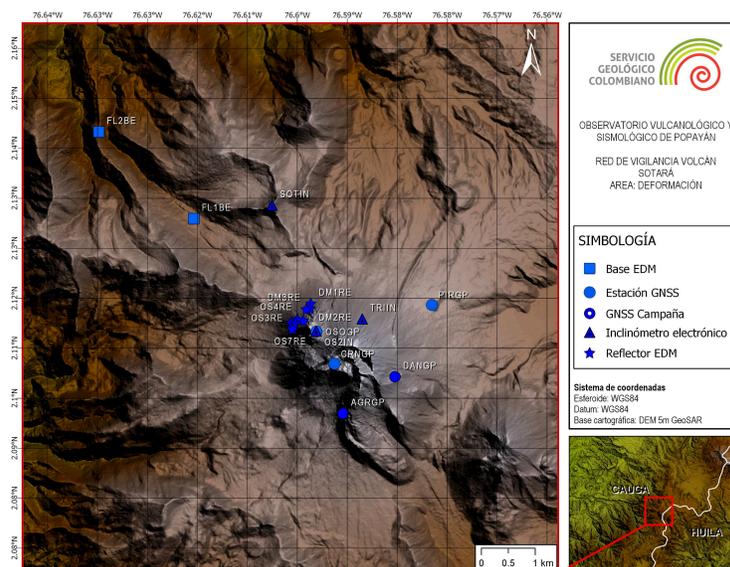


Figura 15: Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará.

**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 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.

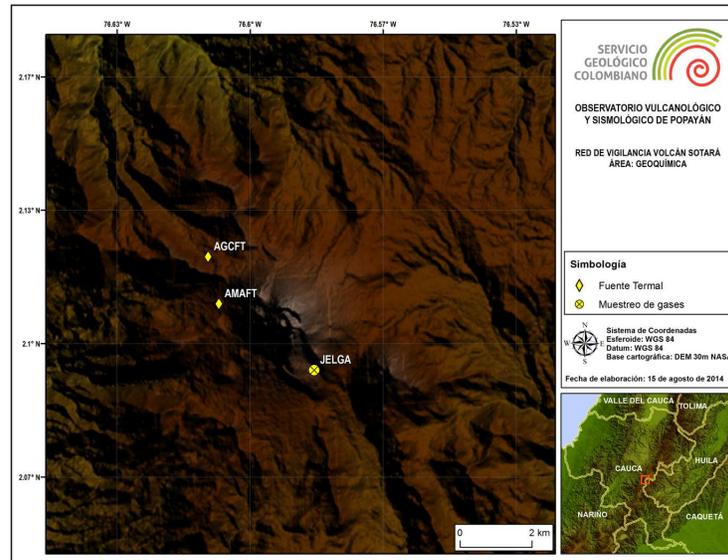


Figura 16: Red de vigilancia en fisicoquímica del volcán Sotará.

**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).



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

### 1.3.2 Funcionamiento de estaciones

Durante el mes de diciembre de 2022 la red de vigilancia del volcán Sotará tuvo un porcentaje de funcionamiento del 92%, sobre el 95% del total de la red de monitoreo del OVSP, la cual incluye estaciones telemétricas y no telemétricas.

## 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).

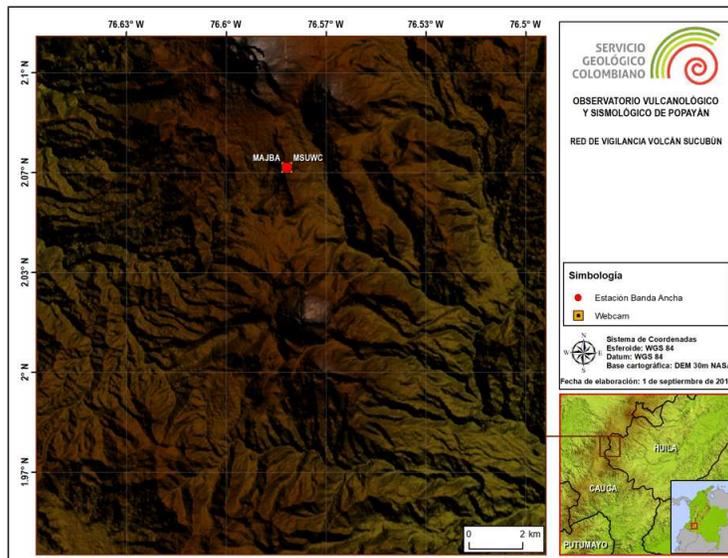


Figura 18: Red de vigilancia del volcán Sucubún.

### 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 estación de tipo banda ancha denominada Majuas, ubicada a 5.7 *km* en dirección NO del edificio volcánico (figura 19).

**1.4.1.2 Cámaras web.** Para el monitoreo de la actividad superficial el volcán Sucubún está 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).

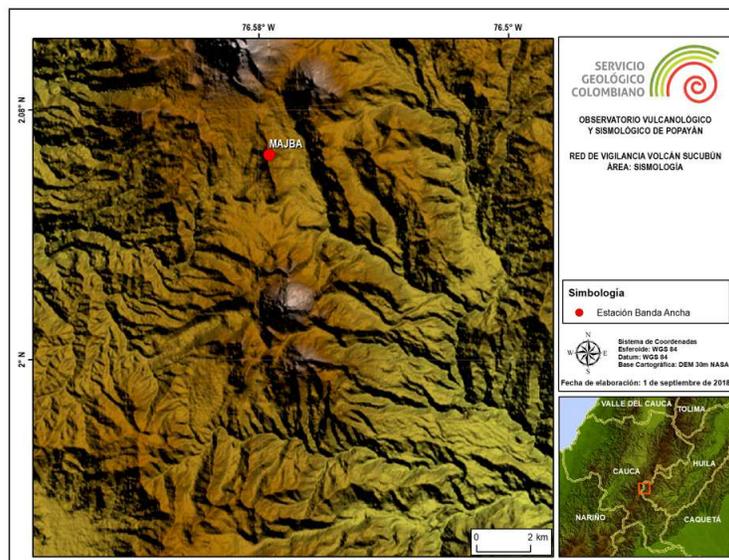


Figura 19: Red de vigilancia en sismología del volcán Sucubún.

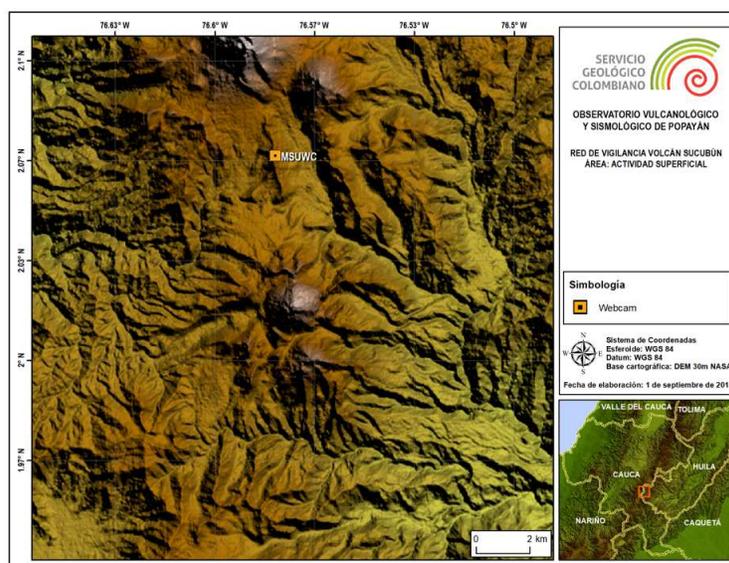


Figura 20: Red de vigilancia en actividad superficial del volcán Sucubún.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altitud (ms.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 95% 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  $90 \text{ km}$  al NE de Popayán (ver figura 22).

Este complejo volcánico presenta una forma elongada en dirección N–S, con ejes basales de  $16 \text{ km}$  en sentido N–S y  $11 \text{ km}$  en sentido E–W; su cima está cubierta por un casquete glaciar de  $7.5 \text{ km}^2$  (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  $5364 \text{ m.s.n.m.}$ , 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

La red de estaciones sismológicas ubicada en el área de influencia del volcán Nevado del Huila (VNH) registró en diciembre de 2022 un total de 1739 eventos sísmicos, de los cuales, 614 estuvieron relacionados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 1152 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos, 1047 fueron catalogados como eventos de largo periodo (tipo LP), 63 como pulsos de tremor de bajo aporte energético (tipo TR) y 15 estuvieron asociados tanto a procesos de fracturamiento de roca como a la dinámica de fluidos, por lo que fueron clasificados como eventos híbridos (tipo HB).

La sismicidad registrada durante este periodo mostró variaciones importantes, principalmente para los eventos tipo LP, los cuales prevalecieron sobre los demás tipos de procesos la

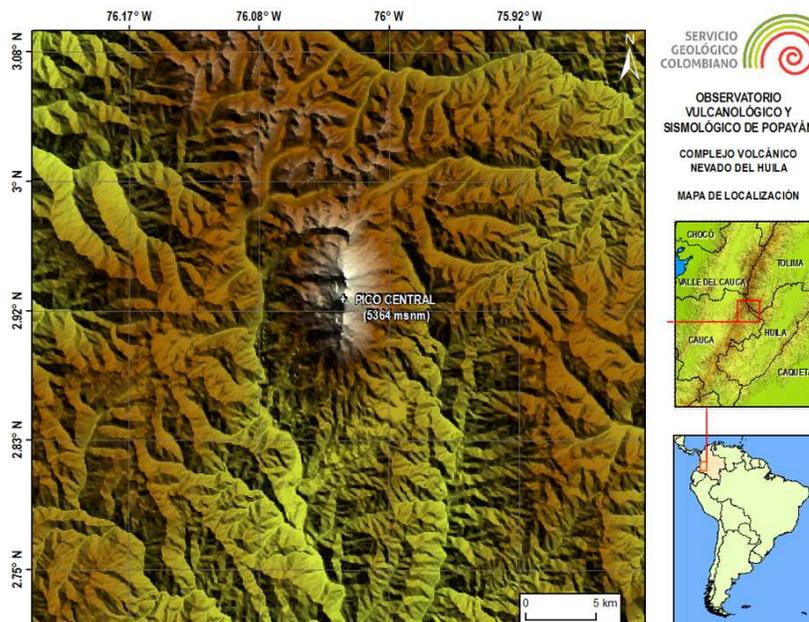


Figura 22: Mapa de localización del Volcán Nevado del Huila.

mayor parte del periodo (figura 23). Respecto al número y tipo de eventos sísmicos registrados mensualmente, la figura 24 permite observar que el incremento que se viene observando en los sismos LP desde el mes de septiembre se mantuvo para el periodo evaluado.

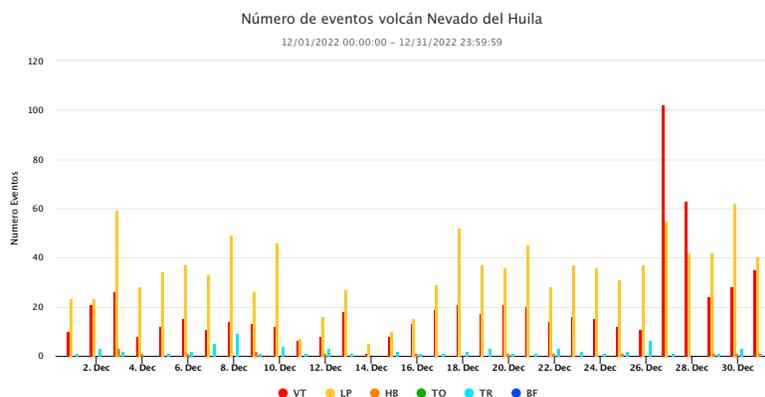
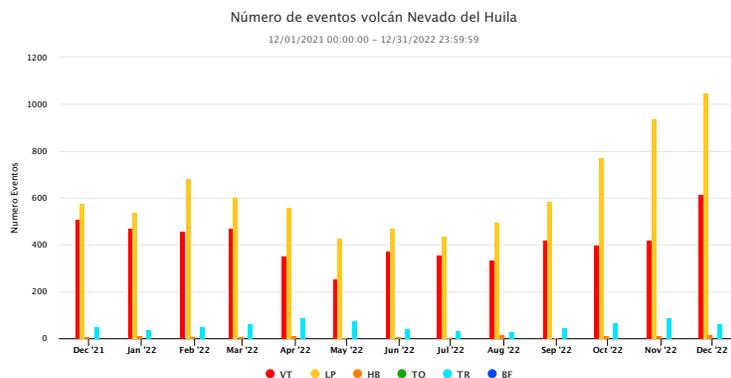


Figura 23: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Nevado del Huila durante el mes de diciembre de 2022.

### 2.1.2 Energía sísmica liberada

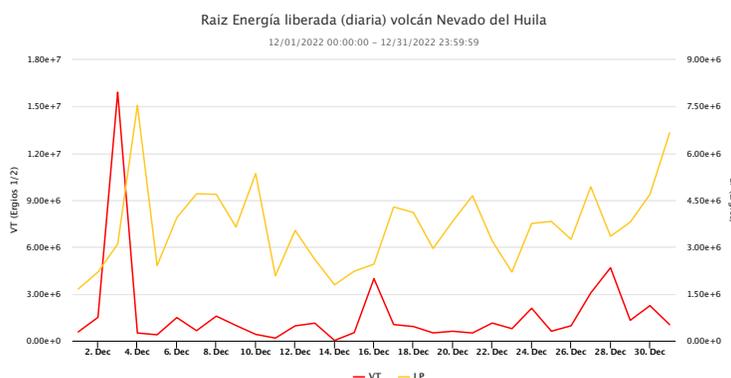
La energía sísmica liberada en la sismicidad tipo VT y LP se mostró estable casi en su totalidad. El pico de energía de tipo VT del día 3 con un valor de  $1.6 \text{ E}+07$  *ergios*, corresponde al registro de 23 eventos con magnitudes entre  $-0.62$  y  $2.4 M_C$ ; así mismo, el mayor aporte de energía diaria liberada por sismos de largo periodo se registró el día 4, con un valor de  $7.54 \text{ E}+07$  *ergios*, asociado con la ocurrencia de 26 eventos en un rango de magnitudes entre  $0.19$  y  $2.0 M_C$  (figura 25).



**Figura 24:** Número de sismos registrados mensualmente en el volcán Nevado del Huila durante el último año.

En la figura 26 se observa 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 diaria calculadas entre el 1 y el 31 de diciembre permanecieron dentro del rango de los valores obtenidos durante los últimos meses para el VNH.

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

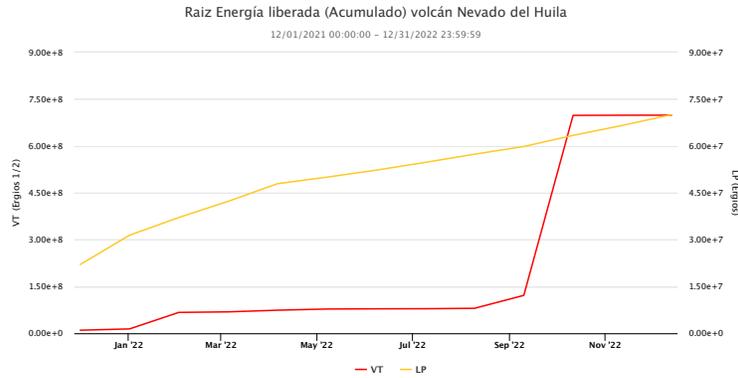


**Figura 25:** Raíz de la energía sísmica liberada diariamente con actividad VT y LP en el volcán Nevado del Huila en diciembre de 2022.

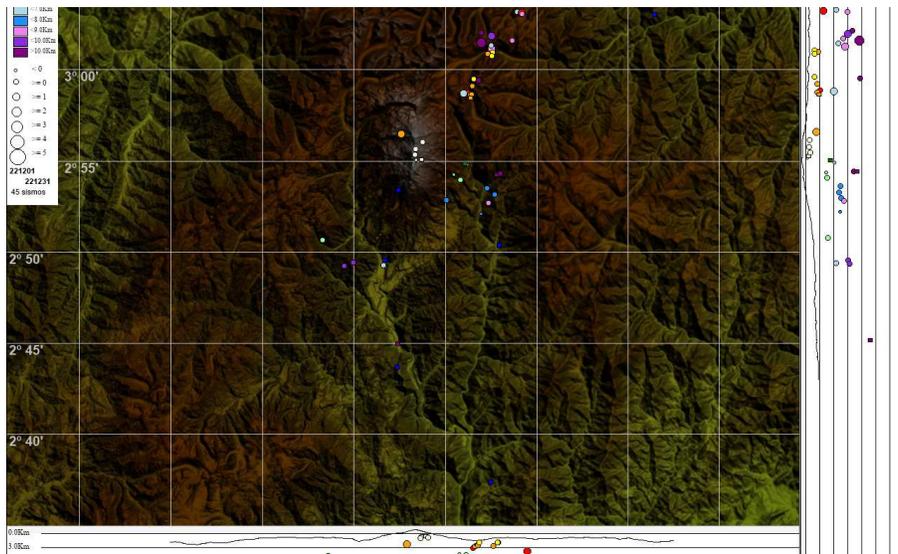
### 2.1.3 Localización de eventos sísmicos

**2.1.3.1 Localización de eventos asociados a procesos de fractura.** En diciembre de 2022 se localizaron 45 eventos sísmicos asociados con procesos de fracturamiento de roca (figura 27), ubicados en varias de las fuentes sismogénicas identificadas en su zona de influencia: en la fuente NE se localizaron 23 eventos en un rango epicentral respecto al edificio central de 8 a 22 *km*, así como hipocentralmente entre 2 y 12 *km*, la mayor magnitud calculada en este sector fue de 2.1  $M_L$ . Por otro lado, en la fuente SE se localizó un total de 11 sismos con magnitudes que no superaron un valor de 0.6  $M_L$ , en un rango epicentral desde 4 hasta 11 *km* y profundidades entre 6 y 12 *km*. Del mismo modo, los sismos localizados en la fuente del Pico Central se dieron entre 1 y 3 *km* de profundidad, con valores de magnitud que estuvieron por debajo de 1.1  $M_L$ . Por último, la sismicidad de la fuente SO se presentó a una distancia epicentral de 11 *km* y profundidades entre 4.5 y 9 *km*.

Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Sotará, Sucubún y cadena volcánica de Los Coconucos  
 Diciembre de 2022

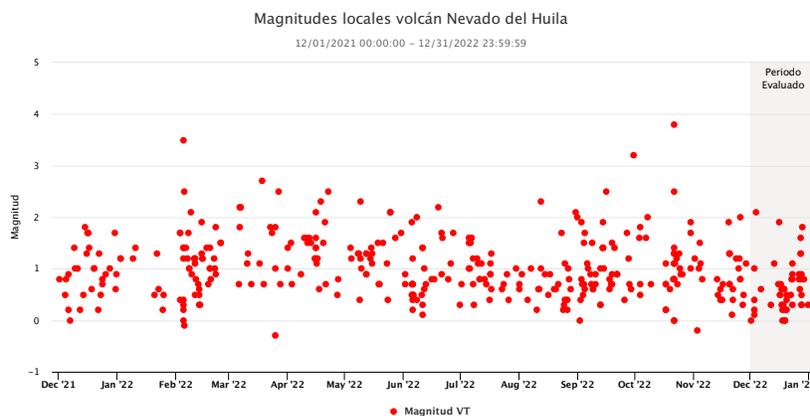


**Figura 26:** Raíz del valor acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el último año.



**Figura 27:** Mapa de localización de los eventos volcánico–tectónicos del volcán Nevado del Huila para el mes de diciembre 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.

La figura 28 muestra la distribución de las magnitudes locales calculadas para los eventos localizados en el VNH en el último año, se aprecia como los valores obtenidos durante el mes de diciembre se mantienen dentro del rango usualmente observado para este volcán.



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

## 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 microrradianes.

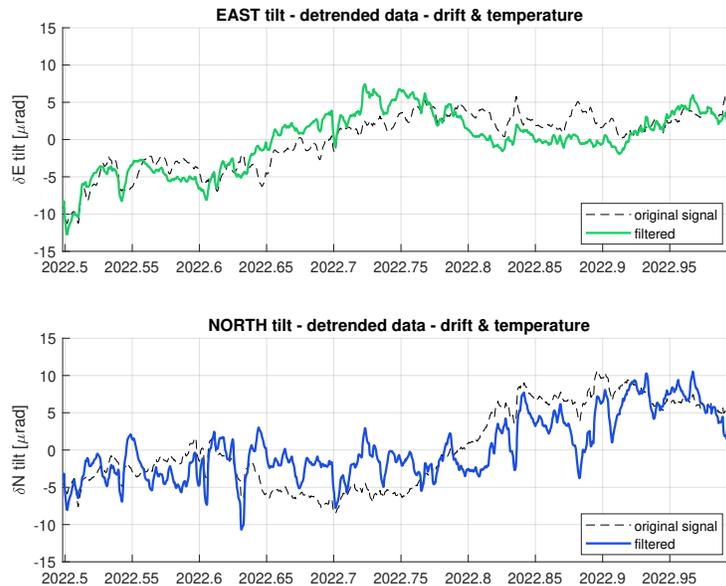
### 2.2.1 Inclinometría electrónica

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 diciembre de 2022 el inclinómetro Caloto mostró un comportamiento estable en sus dos componentes. En la figura 29 se presenta la tendencia de las componentes este- $\sigma$ E y norte- $\sigma$ N sin efectos por deriva y temperatura en el instrumento para el periodo evaluado.

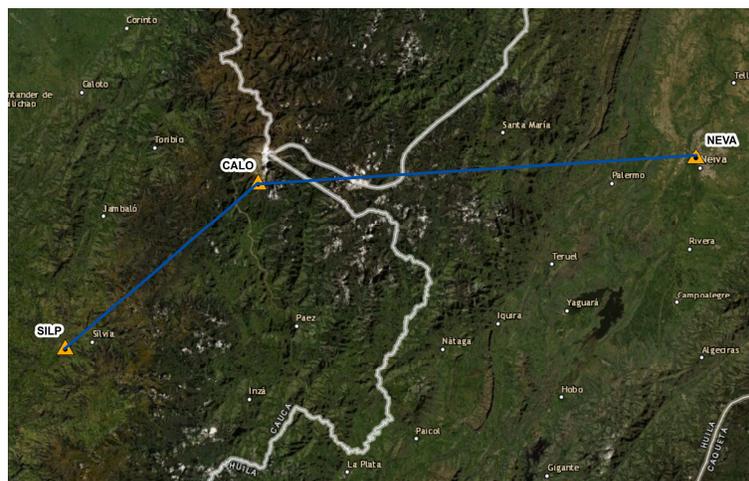
### 2.2.2 Procesamiento de líneas base *GNSS*

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* del IGAC SILP y NEVA localizadas en los municipios de Silvia (Cauca) y Neiva

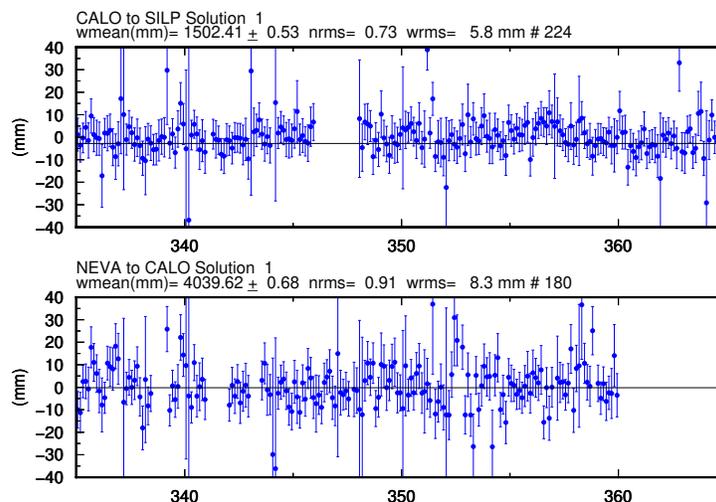


**Figura 29:** Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto para el periodo 1 de julio a 31 de diciembre de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. Las líneas punteadas representan la serie original de datos y las líneas continuas los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento.

(Huila), respectivamente (figura 30). De estas últimas, NEVA solo estuvo operativa 3 días para el periodo evaluado. Los resultados para el mes de diciembre se muestran en la figura 31, y evidencian que no hay cambios en la serie temporal, es decir, no se han presentado procesos de deformación entre las estaciones evaluadas.



**Figura 30:** Localización de las líneas base, volcán Nevado del Huila.



**Figura 31:** Series de tiempo líneas Base del volcán Nevado del Huila. CALO-SILP y NEVA-CALO. Diciembre de 2022.

### 2.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Usando el software GAMIT/GLOBK v.10.71 y tomando como referencia estaciones de la placa Suramericana, estaciones regionales del proyecto SGC-GEORED y algunas estaciones del IGAC, se removió el efecto tectónico de las estaciones GNSS de monitoreo, para obtener las series de tiempo derivadas de 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 durante el periodo evaluado. En la figura 32 se presenta la serie temporal para los dos últimos años.

### 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 26-11-2022 y 01-01-2023 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente, cuyos resultados se presentan en la figura 33, y evidencian que para el periodo evaluado no se registran procesos deformativos detectables con esta técnica.

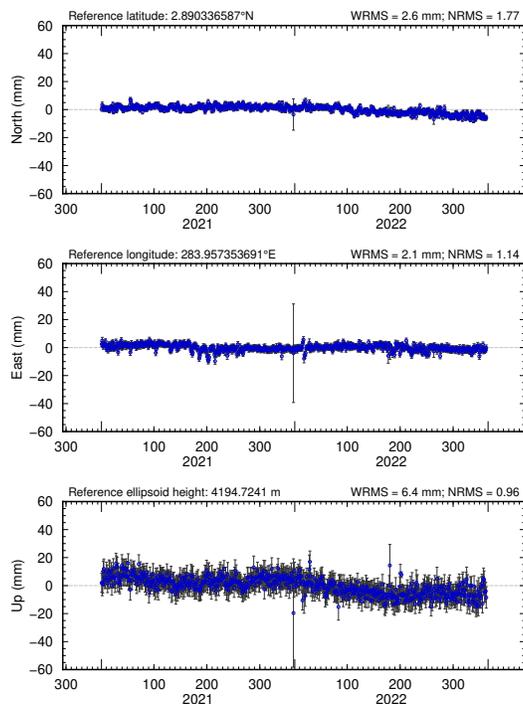


Figura 32: Serie temporal para la estación GNSS permanente CALO, enero de 2021 a diciembre de 2022.

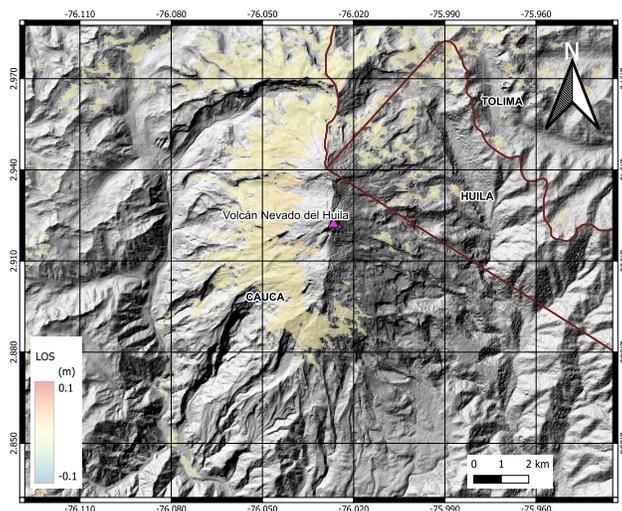


Figura 33: Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 26-11-2022/01-01-2023 del satélite Sentinel-1A, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Huila.

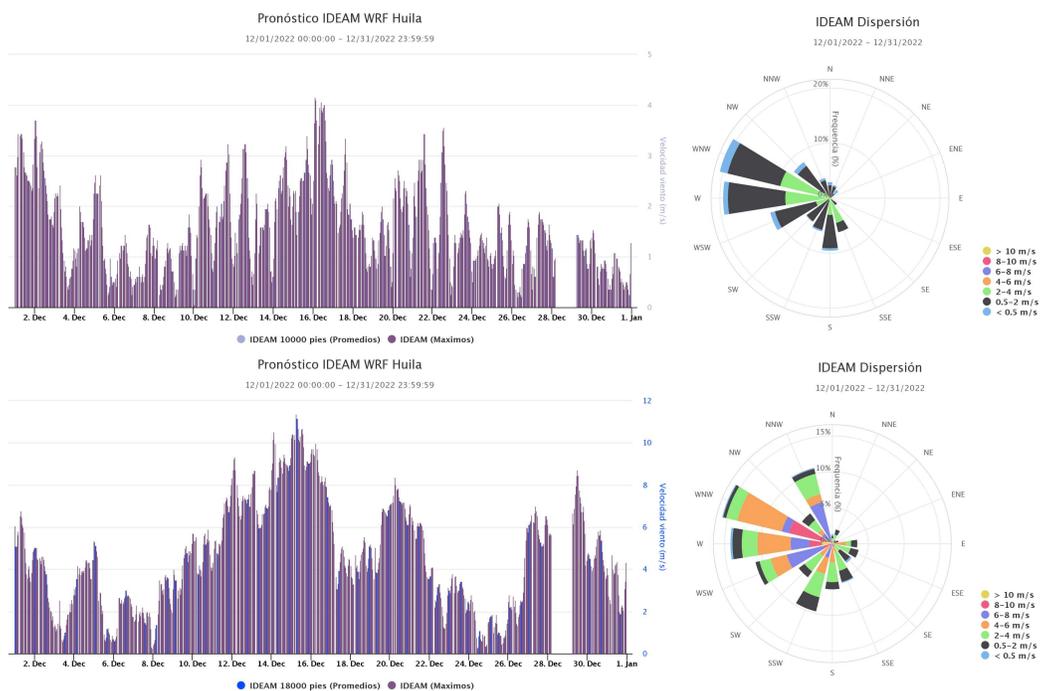
## 2.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

### 2.3.1 Registro de la actividad superficial

Durante el mes de diciembre se lograron registrar imágenes con línea de vista al edificio volcánico, donde fue posible evidenciar los procesos de desgasificación en forma de columnas fumarólicas principalmente de color blanco (gases y vapor de agua) que son emitidas desde la superficie del cuerpo dómico, y desde el sistema de grietas que atraviesan en dirección

norte-suroeste en el Pico Central del volcán Nevado del Huila.

Las plumas alcanzaron alturas menores a un kilómetro, aproximadamente ( $\leq 1 \text{ km}$ ), y se dispersaron preferencialmente hacia el noroeste del edificio volcánico, siguiendo la tendencia de los vientos que circulan entre los estratos de referencia para este volcán, consistente con lo reportado por el pronóstico del IDEAM para el periodo evaluado (Modelo WRF/VNH), donde se reportaron velocidades máximas diarias hasta de  $11.4 \text{ m/s}$ , equivalentes a  $41 \text{ km/h}$ , con un promedio mensual de  $4.6 \text{ m/s}$  equivalentes a  $16.3 \text{ km/h}$  para un estrato de  $18\,000 \text{ ft}$  ( $5486 \text{ m.s.n.m.}$ ), y un máximo de  $4.2 \text{ m/s}$ , equivalentes a  $15.1 \text{ km/h}$  con un promedio mensual de  $1.6 \text{ m/s}$  equivalentes a  $5.8 \text{ km/h}$  para un estrato de  $10\,000 \text{ ft}$  ( $3048 \text{ m.s.n.m.}$ ). Estos valores reportados son considerados bajos de acuerdo a lo registrado en la línea base (ver figura 34).



**Figura 34:** Velocidades promedio día. Modelo pronóstico IDEAM–WRF VNH, diciembre 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 (5:40 - 8:35 a. m.). La cámara web La Palma presentó línea de vista durante el periodo evaluado (ver figuras 35, 36, 37 y 38). Algunas imágenes captadas por las cámaras web del volcán Nevado del Huila se presentan a continuación:



**Figura 35:** Imágenes captadas por la cámara web Tafxnú, diciembre de 2022.



**Figura 36:** Imágenes captadas por la cámara web Caloto, diciembre de 2022.



**Figura 37:** Imágenes captadas por la cámara web Maravillas, diciembre de 2022.



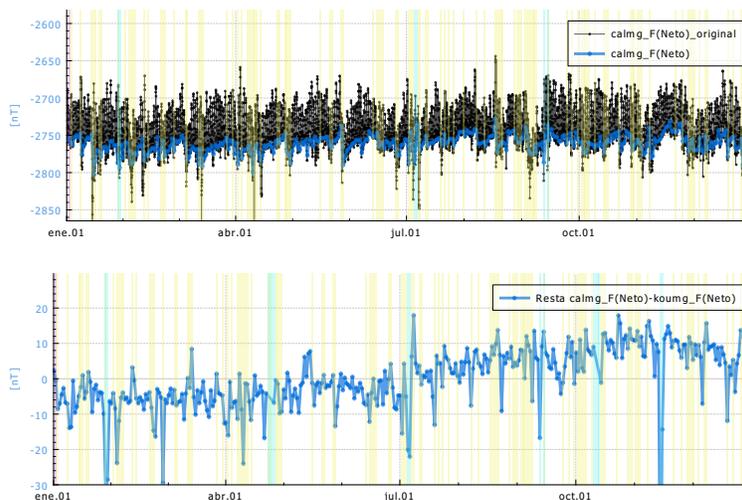
**Figura 38:** Imágenes captadas por la cámara web La Palma, 21 de diciembre de 2022.

## 2.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

En el volcán Nevado del Huila se encuentra instalada 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 39) 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 diciembre de 2022 el magnetómetro Caloto mostró un comportamiento estable (ver figura 39), 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 19 y 26 de diciembre (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 39:** 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 enero de 2022 y el 31 de diciembre de 2022. *Abajo:* Diferencia 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.

## **2.5 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 diciembre 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-CADENA VOLCÁNICA DE LOS COCONUCOS



**Figura 40:** 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  $30^\circ$  de inclinación; y presenta un cráter interno y otro externo, ambos concéntricos de  $500\text{ m}$  y  $900\text{ m}$  de diámetro, respectivamente (ver figura 40). Se encuentra ubicado en el departamento del Cauca, en las coordenadas geográficas  $2^\circ 31' \text{ N}$  y  $76^\circ 39' \text{ W}$ , a una distancia de  $26\text{ km}$  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  $\text{N}40^\circ\text{W}$ , siendo el Puracé el más septentrional de ellos (figura 41).

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.

Existen al menos 15 fuentes termales ubicadas alrededor del edificio volcánico, las cuales presentan temperaturas comprendidas entre  $20$  y  $90^\circ\text{C}$ , 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 emisión de  $\text{H}_2\text{S}$ .

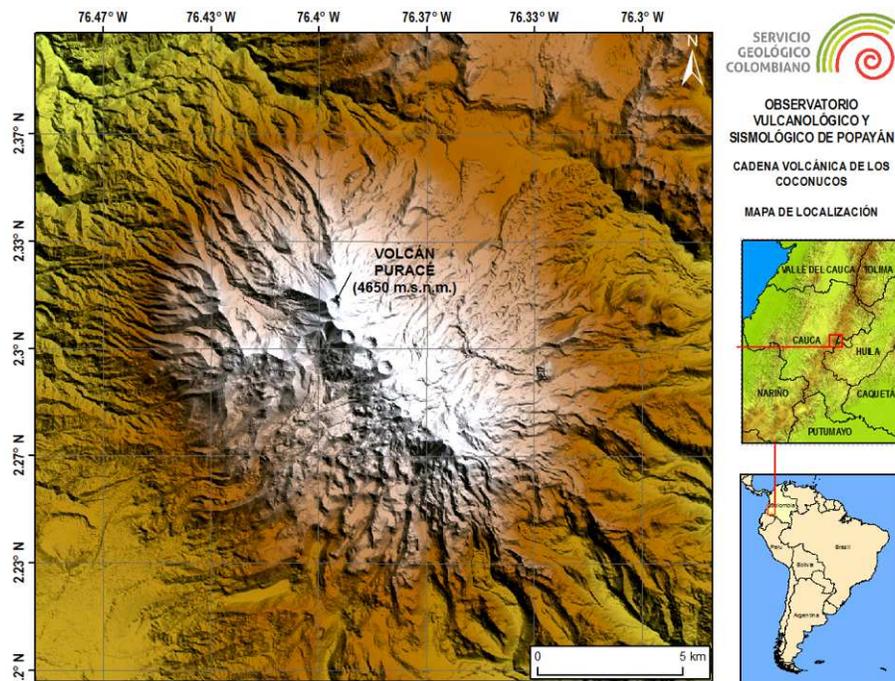


Figura 41: Mapa de localización del volcán Puracé y la cadena volcánica de Los Coconucos.

### 3.1 SISMOLOGÍA

#### 3.1.1 Actividad sísmica

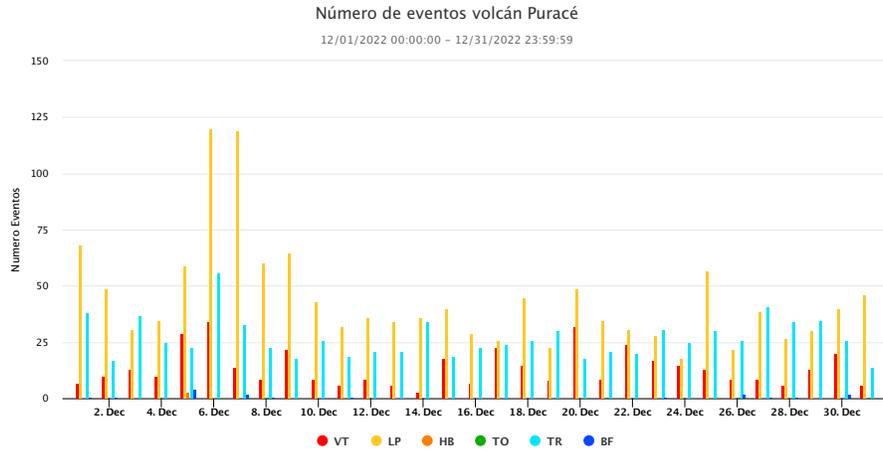
La red de estaciones sismológicas del volcán Puracé (VP) – cadena volcánica de Los Coconucos (CVLC), continuó registrando cambios durante el mes de diciembre de 2022. Se clasificaron en total 2658 eventos sísmicos, de los cuales 425 estuvieron asociados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 2233 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos, 1372 fueron catalogados como eventos de largo periodo (tipo LP), 834 como pulsos de tremor de bajo nivel energético (tipo TR), 6 como híbridos (tipo HB), 17 como sismos de baja frecuencia (tipo BF) y 4 como tornillos (tipo TO).

La figura 42 muestra el número de sismos registrados diariamente durante el mes de diciembre de 2022, se observa el predominio de la actividad generada por la dinámica de fluidos, especialmente durante los días 6 y 7 de diciembre, con la ocurrencia de eventos de largo periodo y tremores, mayoritariamente. Este comportamiento es similar al registrado durante los últimos meses de monitoreo sísmico, que continuó mostrando números de eventos mensuales mayores a los clasificados en años anteriores (figura 43).

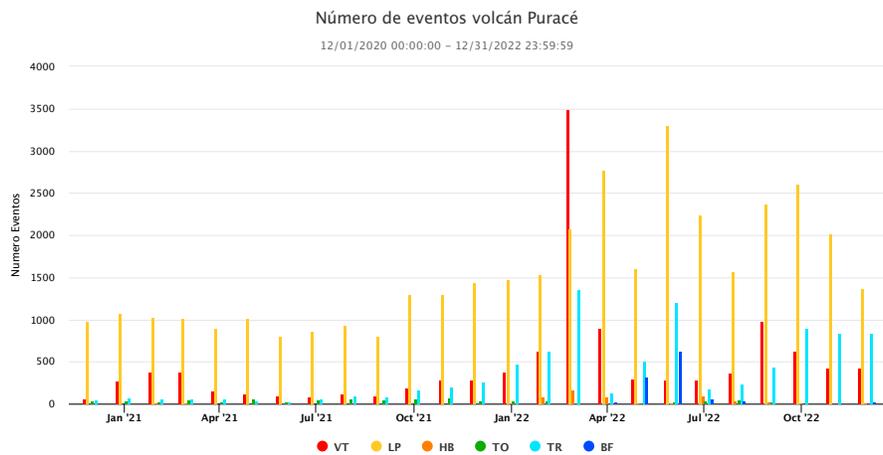
#### 3.1.2 Energía sísmica liberada

La energía sísmica liberada durante el mes de diciembre de 2022 registró un comportamiento estable, con un aporte máximo para la sismicidad tipo VT el día 24 de diciembre, con valor de  $5.32 \text{ E}+13$  *ergios*, asociado a la ocurrencia de 15 eventos de fractura que presentaron valores de magnitud menores a  $1.1 M_L$ . La sismicidad de tipo LP presentó el mayor valor de energía liberada el día 20 de diciembre, con  $6.84 \text{ E}+13$  *ergios*, el cual estuvo asociado con la ocurrencia de 49 eventos sísmicos de magnitud máxima  $1.9 M_c$  (figura 44). En la figura

Informe técnico de actividad de los volcanes Nevado del Huila, Sotará, Sucubún y cadena volcánica de Los Coconucos  
Diciembre de 2022



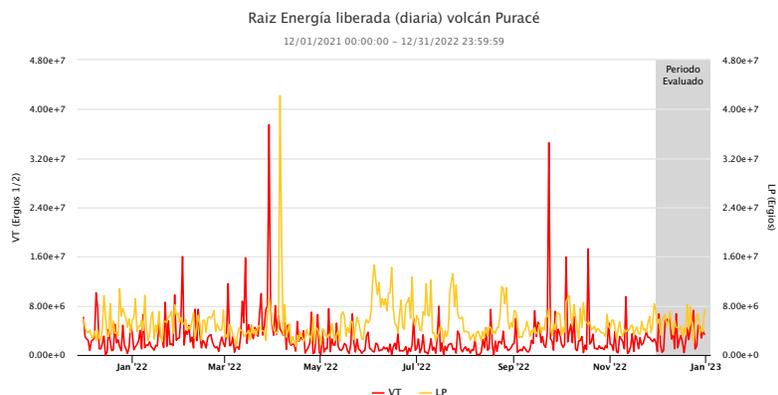
**Figura 42:** Número de sismos registrados diariamente en el volcán Puracé-cadena volcánica Los Coconucos durante diciembre de 2022.



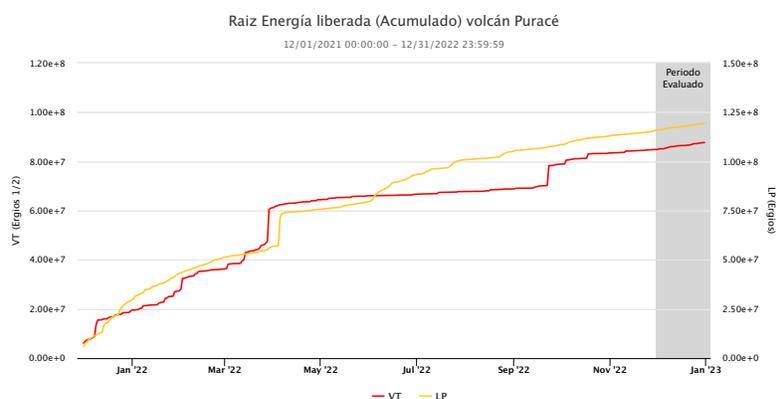
**Figura 43:** Acumulados mensuales de eventos sísmicos según su clasificación registrados en el VP-CVLC durante los últimos dos años de monitoreo.

45 se puede apreciar la energía sísmica acumulada diaria para el último año, sin aportes a destacar tanto para la sismicidad VT como para los sismos tipo LP.

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



**Figura 44:** Energía sísmica liberada diariamente en eventos tipo VT y LP en el volcán Puracé-cadena volcánica Los Coconucos durante diciembre de 2022.

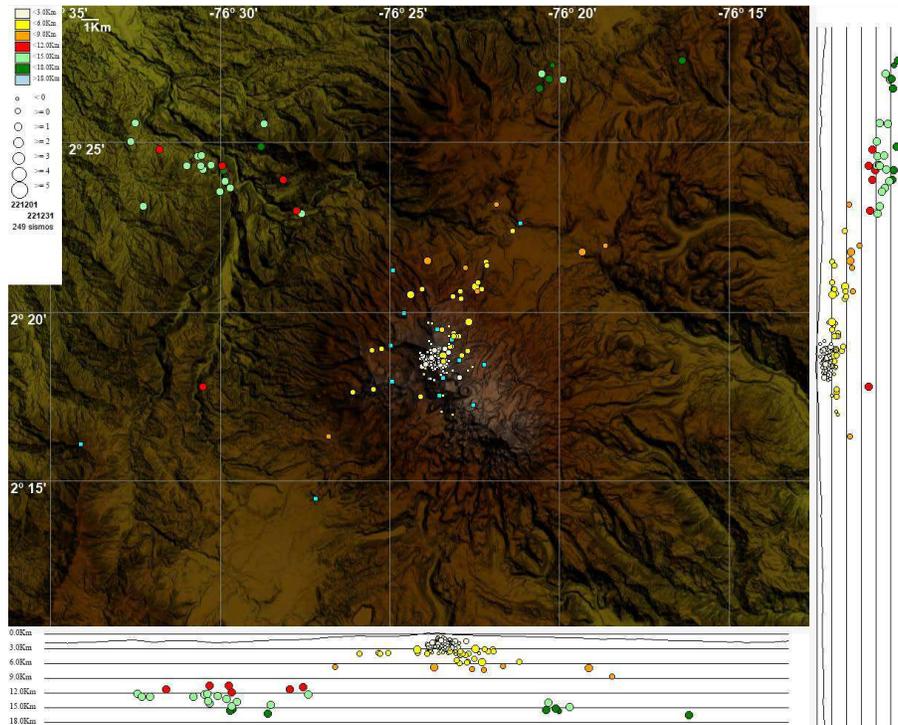


**Figura 45:** Acumulado diario de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Puracé-cadena volcánica los Coconucos durante el último año.

### 3.1.3 Localización de eventos sísmicos

**3.1.3.1 Localización de eventos asociados con procesos de fractura.** Entre el 1 y el 31 de diciembre de 2022 se localizaron 249 eventos sísmicos tipo VT en el VP - CVLC (figura 46), que se ubicaron preferencialmente en un radio de aproximadamente 1 km respecto al cráter Pico Collo de la CVLC, incluyendo los cráteres de Puracé y Curiquina (figura 47), con profundidades entre 1 y 4 km, en esta zona se calculó un valor de magnitud máximo de 1.1  $M_L$  el día 17 de diciembre. Adicionalmente, se localizó un número importante de eventos en la fuente sismogénica distal noroccidental, que ha presentado actividad recurrente durante los últimos dos años de monitoreo, ubicados a distancias epicentrales que oscilaron entre 12 y 16 km, y profundidades de 12 a 17 km; en esta región, se calculó una magnitud máxima de 1.6  $M_L$ , para un evento ocurrido el día 2 de diciembre.

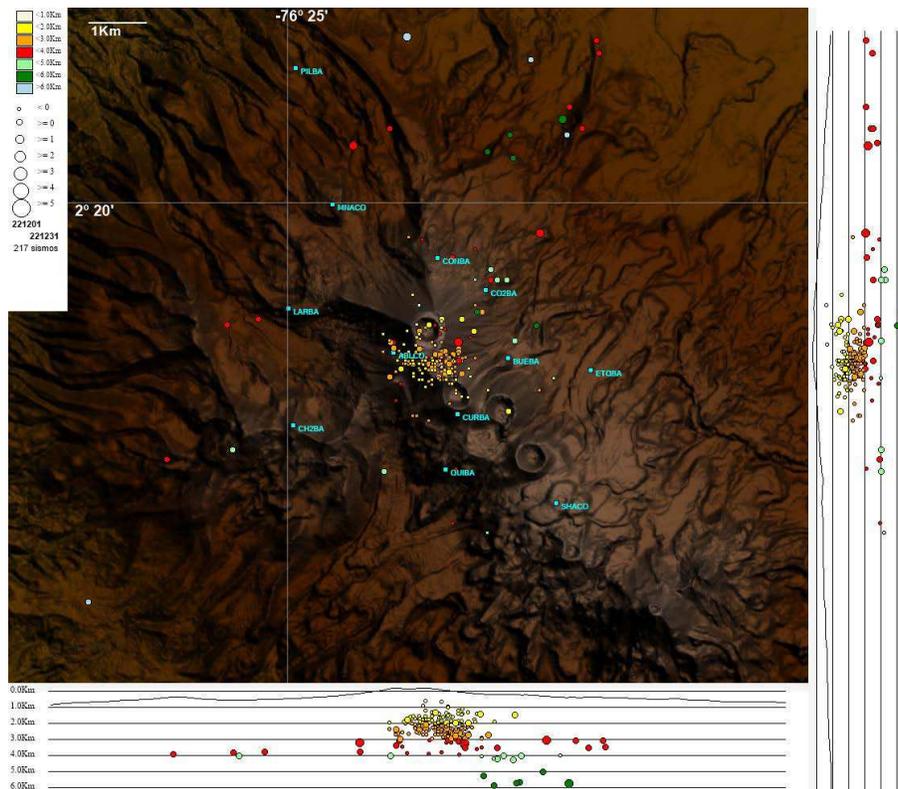
Finalmente, hacia el NNE del cráter del VP se observaron dos fuentes que generaron actividad sísmica menos recurrente durante el periodo evaluado: la primera, con distancias epicentrales entre 3 y 10 km, y profundidades de 3-7 km, donde la magnitud máxima calculada fue de 1.3  $M_L$ . Y la segunda, a una distancia epicentral de 16 km, aproximadamente, y profundidades de 15 km en promedio, con máxima magnitud de 1.8  $M_L$  para un evento del 23 de diciembre.



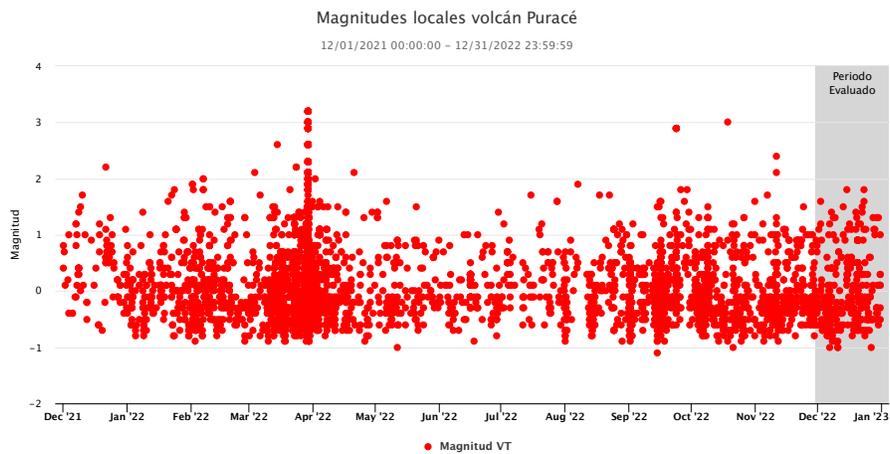
**Figura 46:** Mapa de localización de eventos tipo VT de la CVLC para diciembre de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud Local ( $M_L$ ). Los cuadros azules representan las estaciones sísmicas.

La figura 48 muestra la distribución de las magnitudes para los eventos localizados durante el último año, el valor medio de las magnitudes de los sismos tipo VT se mantuvo similar al de los últimos meses, con valores predominantemente por debajo de  $1.0 M_L$  y un ligero aumento en el número de eventos que alcanzaron valores por encima de  $1.0 M_L$ , respecto al registro de octubre y noviembre de 2022. Dos eventos de magnitud  $1.8 M_L$ , registrado los días 15 y 23 de diciembre, corresponden a la mayor magnitud calculada para el periodo evaluado.

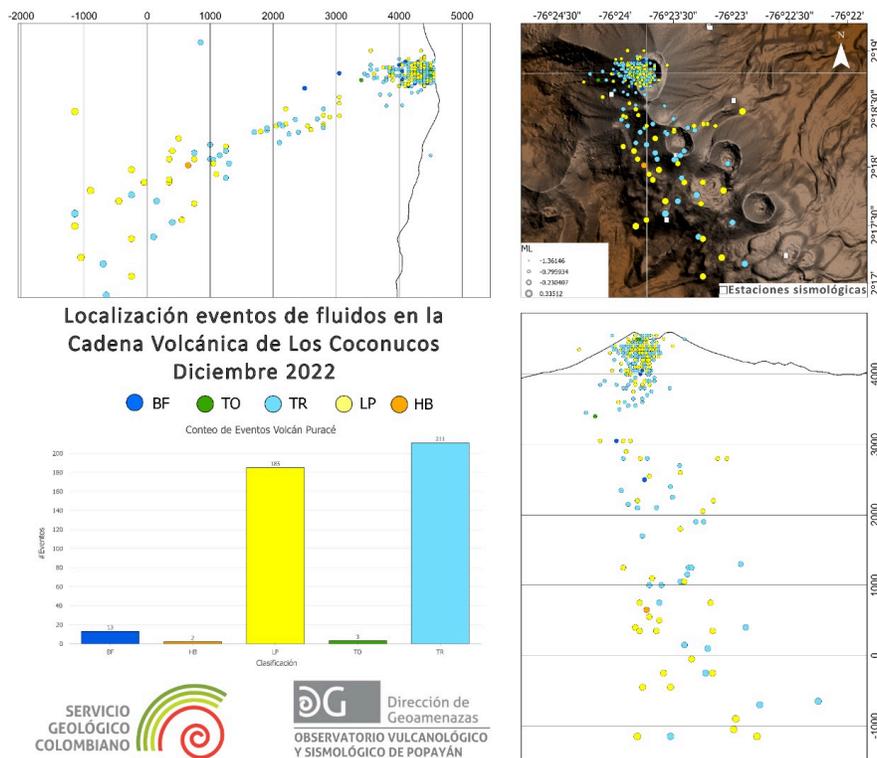
**3.1.3.2 Localización de eventos asociados con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos.** Las localizaciones obtenidas para la sismicidad de fluidos durante diciembre de 2022 (figura 49) permiten observar una distribución de eventos concentrados en su mayoría bajo el edificio del VP, y en el flanco suroccidental de la CVLC, orientados en dirección SE. Los sismos localizados bajo el volcán Puracé, se generaron a profundidades superficiales -inferiores a  $1 km$ -. Los eventos localizados a lo largo del flanco SW de la cadena volcánica Los Coconucos se ubicaron a profundidades de  $1.5$  a  $5.5 km$ , aumentando hacia el suroriente. Finalmente, algunos eventos sísmicos, predominantemente de tipo LP, se ubicaron en el flanco NE del cráter de Curiquinga con profundidades entre  $2$  y  $5 km$ . La magnitud calculada para los eventos de fluidos localizados en la CVLC se mantuvo estable para el periodo evaluado, con valores por debajo de  $0.6 M_L$ , siguiendo la tendencia del último trimestre de monitoreo (figura 50).



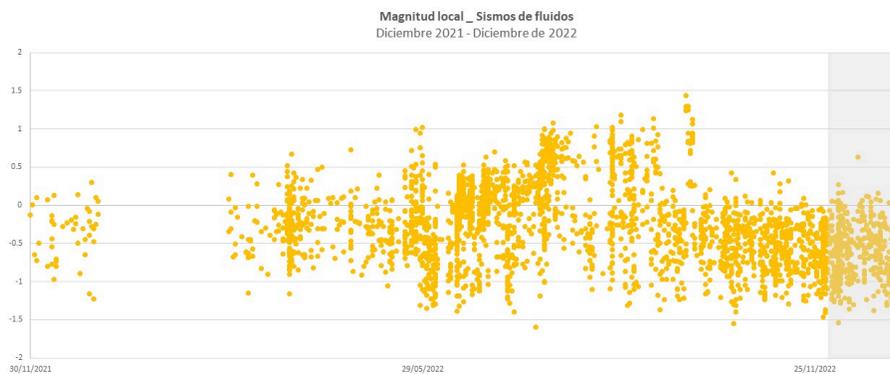
**Figura 47:** Detalle del mapa de localización de los eventos volcano-tectónicos del volcán Puracé para el mes de diciembre de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud Local ( $M_L$ ). Los cuadros azules representan las estaciones sísmicas.



**Figura 48:** Diagrama de dispersión de los valores de magnitud local calculados para eventos tipo VT localizados el último año en el volcán Puracé.



**Figura 49:** Mapa de localización de sismos de fluido generados en la zona de influencia de la CVLC durante diciembre de 2022 e histograma del número de sismos localizados según el tipo. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según el tipo de sismo y sus tamaños según su magnitud. Los cuadros blancos representan las estaciones sísmicas.



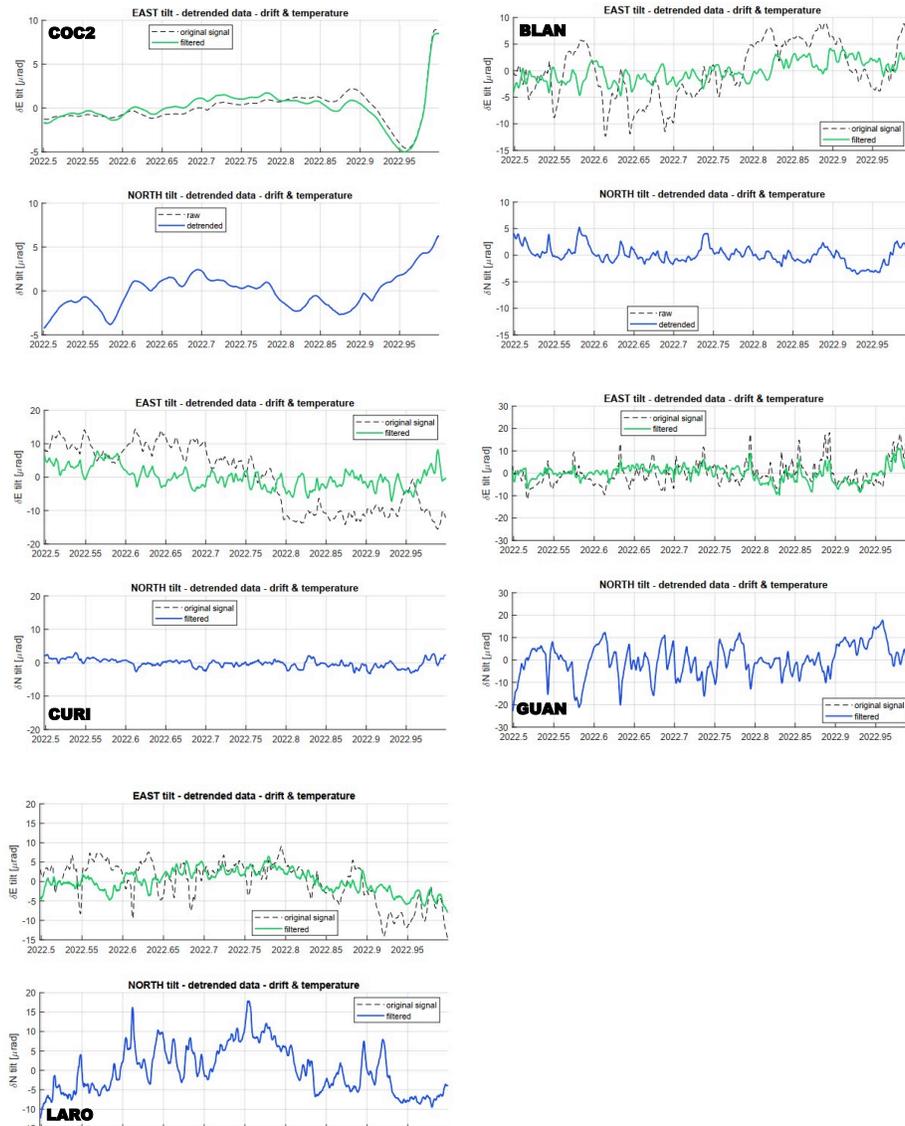
**Figura 50:** Diagrama de dispersión de los valores de magnitud calculados para eventos asociados con la dinámica de fluidos localizados el último año en el volcán Puracé.

## 3.2 DEFORMACIÓN

### 3.2.1 Inclínometría electrónica

Durante el periodo evaluado los inclinómetros Guañarita, Cocuy, Agua Blanca, Lavas Rojas y Curiqinga presentaron un comportamiento estable. El inclinómetro Cocuy2 mostró un

cambio ascendente en sus dos componentes (N, E), el cual hasta el momento no ha tenido correlación con la actividad volcánica y otras técnica de monitoreo. En la figura 51 se presenta el registro de las componentes Este- $\sigma E$  y Norte- $\sigma N$  de los cinco inclinómetros electrónicos para los últimos seis meses, en la parte superior de las figuras se presenta la componente Este y en la parte inferior la componente Norte. Las líneas punteadas representan la serie original de datos y las líneas continuas los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento.



**Figura 51:** Comportamiento de los inclinómetros electrónicos COC2, BLAN, CURI, GUAN y LARO para el periodo 1 de julio a 31 de diciembre de 2022.

### 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 52. Los resultados del procesamiento para el mes de diciembre se presentan en la figura 53, los cuales presentan un comportamiento estable en la tendencia para el periodo evaluado.



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

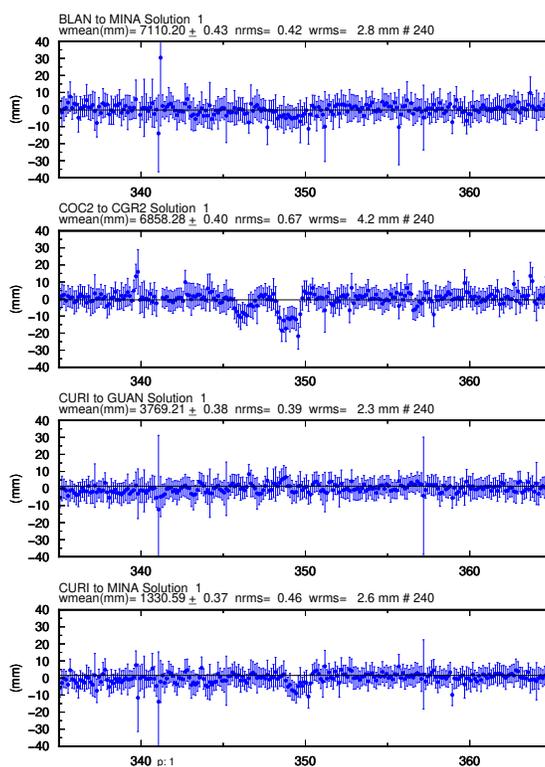
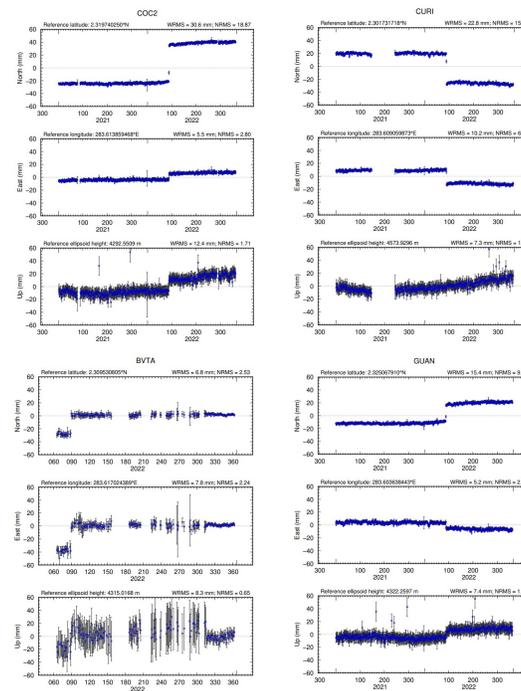


Figura 53: Series de tiempo líneas Base del volcán Puracé. BLAN-MINA, COC2-CGR2, CURI-GUAN, CURI-MINA. Diciembre de 2022.

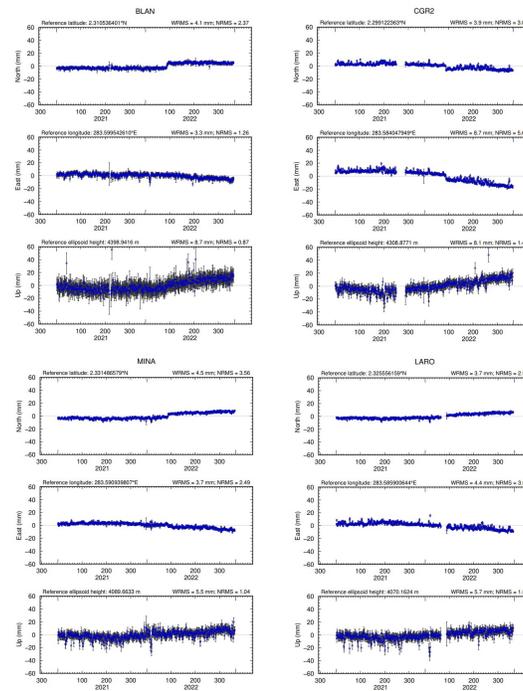
### 3.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Los resultados para las componentes Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS instaladas en el campo Cercano del volcán Puracé y la CVLC durante el mes de diciembre continuaron evidenciando un proceso deformativo lento de tipo inflacionario, similar al de los últimos meses. Las estaciones BLAN, GUAN, COC2, MINA, LARO y CGR2 localizadas sobre el edificio volcánico de Puracé, presentan una tasa de deformación más alta en la componente vertical

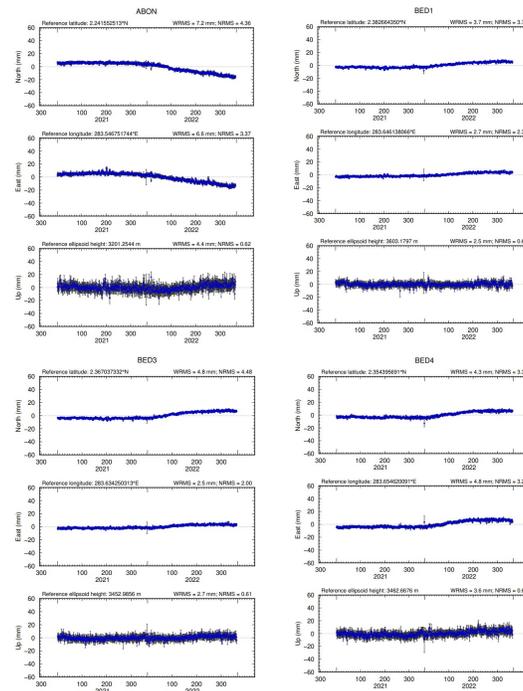
en comparación con las estaciones CURI y BVTA localizadas sobre el volcán Curiquinga. La estación GNSS distal ABON localizada a 10 *km* al SE del volcán Puracé continúa presentando un proceso deformativo lento; mientras que las estaciones GNSS distales localizadas al NE a distancias de entre 7 y 9 *km* (BED1, BED2, BED3 y BED4) presentaron un comportamiento estable en sus series temporales para el mes de diciembre. A continuación, se presentan las series temporales para las estaciones GNSS del volcán Puracé y su área de influencia (figuras 54, 55 y 56).



**Figura 54:** Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes COC2, CURI, BVTA y GUAN. Enero de 2021 a diciembre de 2022.



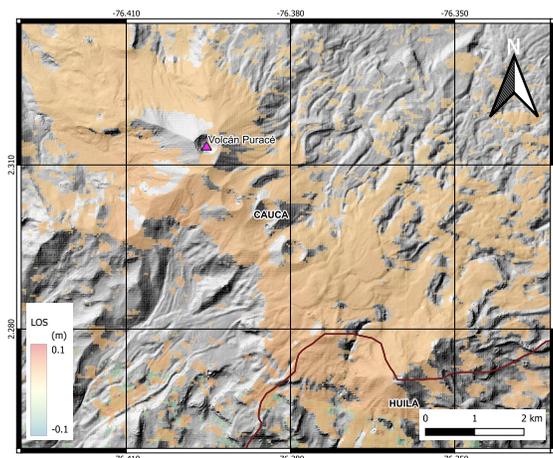
**Figura 55:** Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes BLAN, CGR2, MINA y LARO. Enero de 2021 a diciembre de 2022.



**Figura 56:** Serie temporal para las estaciones GNSS permanentes ABON, BED1, BED3 y BED4. Enero de 2021 a diciembre de 2022.

### 3.2.4 Interferometría diferencial de radar (D-INSAR)

Para el área volcán Puracé y la CVLC se procesó el par interferométrico del 26-11-2022 y 01-01-2023 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente, cuyos resultados se presentan en la figura 57, y evidencian que para el periodo evaluado no se registran procesos deformativos detectables a la sensibilidad de esta técnica.



**Figura 57:** Desplazamientos calculados con D-INSAR para el par interferométrico del 26-11-2022/01-01-2023 del satélite Sentinel-1A, órbita descendente. Área del volcán Puracé-Cadena volcánica de los Coconucos.

### 3.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En el mes de diciembre 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. Dentro del seguimiento de la actividad superficial en la cadena volcánica Los Coconucos, se continúa realizando monitoreo de las grietas formadas en el volcán Curiqinga a través de una cámara web instalada el 11 de agosto dentro del cráter a 4482 *m.s.n.m.*.

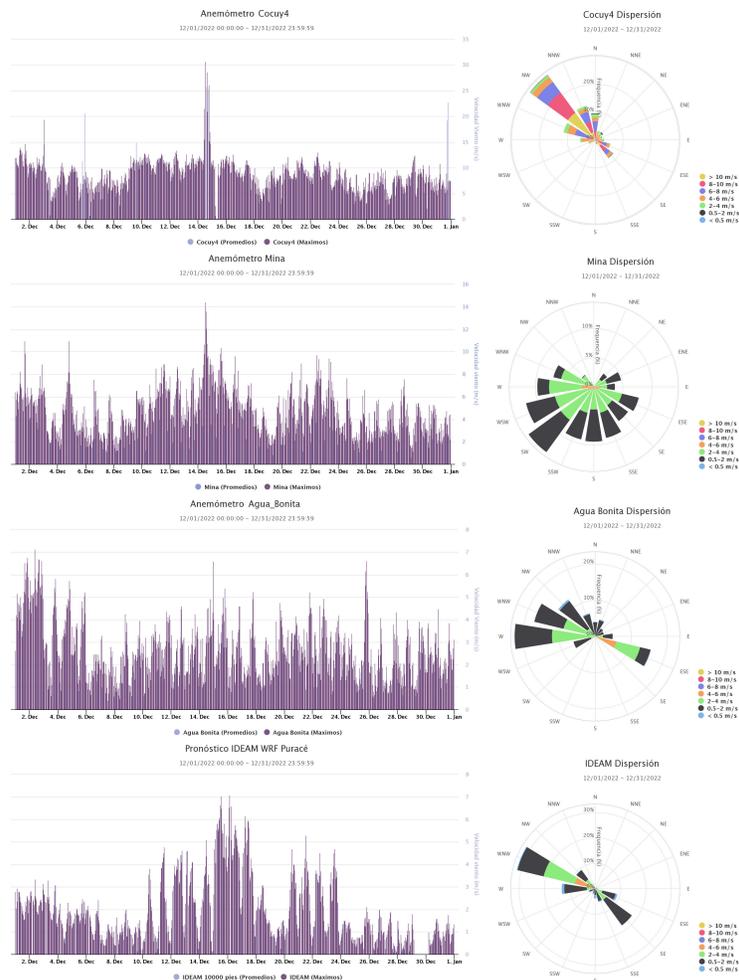
Durante el periodo evaluado la dispersión de los gases emitidos desde los campos fumarólicos (Lateral e Interno) estuvieron condicionados por la acción del viento que circula entre estratos de 10000 a 15000 *ft* (3048 - 4572 *m.s.n.m.*).

La figura 58 presenta los histogramas de los anemómetros que componen la red de estaciones meteorológicas en el área de influencia 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 25.8 *m/s* equivalentes a 93 *km/h* (día 15 de diciembre), siendo la máxima velocidad o pico alcanzado durante el mes; esta estación reporta un promedio mensual de 31 *km/h*; los anemómetros de Mina y Agua Bonita presentaron durante el mes unas velocidades promedio de 8.6 y 7.2 *km/h*. Por otro lado, se presenta el diagrama de Rosa de los vientos, marcando una tendencia con dos direcciones preferenciales hacia el noroeste-este 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 7 *m/s*, que equivalen a 25.2 *km/h* y un promedio mensual de 2 *m/s*, que equivalen a 7.2 *km/h*. La dirección de viento

presentada por este modelo conserva dos direcciones hacia el noroeste-sureste. Los valores en las velocidades reportadas durante el mes se consideran como normales de acuerdo con la línea base registrada para cada estación.



**Figura 58:** Velocidades diarias y promedios registrados por los anemómetros Cocuy, Mina, Agua Bonita y el pronóstico WRF/Puracé, diciembre de 2022.

Las figuras 59 y 60 evidencian algunos procesos de desgasificación que constantemente se emiten desde el campo fumarólico lateral del volcán Puracé; desde el campo visual que cubre la cámara de Cerro Sombrero no se destaca ningún cambio sobre los centros eruptivos de la Cadena volcánica Los Coconucos (ver figura 62).

Mediante el monitoreo de la actividad superficial realizado a través de la red de cámaras web, no se detectaron variaciones morfológicas relacionadas con la actividad volcánica antes descrita, ni cambios en la coloración de las emisiones de gases de las fumarolas existentes sobre el flanco occidental e interno del volcán, las cuales continuaron siendo blancas, asociadas a vapor de agua.



**Figura 59:** Mosaico de imágenes cámara web Mina, diciembre de 2022.



**Figura 60:** Mosaico de imágenes cámara web Lavas Rojas, diciembre de 2022.



**Figura 61:** Mosaico de imágenes cámara web Anambío, diciembre de 2022.



**Figura 62:** Imagen cámara web de Cerro Sombrero, 18 de diciembre de 2022.

Durante el mes de diciembre en las imágenes captadas del volcán Curiqinga no se evidenciaron anomalías, cambios morfológicos ni procesos asociados con emanaciones de gases, solo fue posible evidenciar precipitaciones en forma de escarcha que cubrieron parcialmente el centro eruptivo. En la figura 63 se muestran las mejores imágenes destacadas durante el período evaluado.



Figura 63: Cámara web instalada en el volcán Curiquinga (Cadena volcánica Los Coconucos).

### 3.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

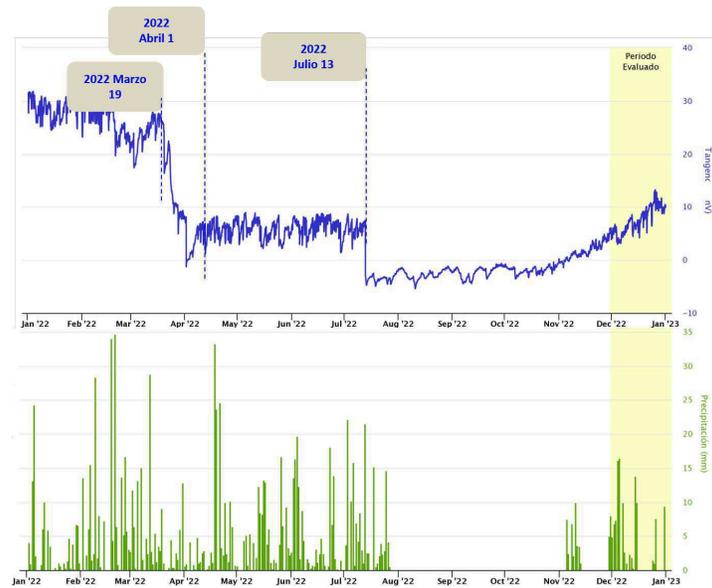
#### 3.4.1 Potenciales eléctricos espontáneos

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.

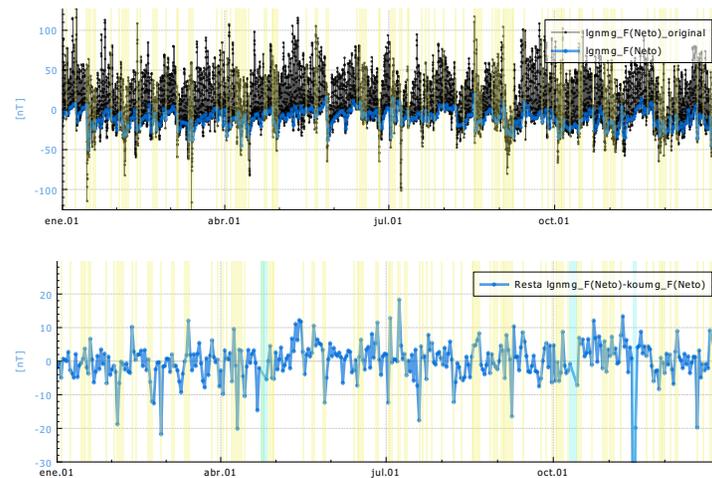
En el mes de diciembre de 2022 los datos obtenidos de la estación de potencial eléctrico Cocuy2 (figura 64) continúa registrado un comportamiento ascendente desde el mes de octubre, que para el mes de diciembre los efectos por precipitación local vuelven a generar efectos en las medidas según se pudo contrastar con los datos registrados por el pluviómetro de Mina (entre julio y noviembre este pluviómetro no estuvo operativo).

#### 3.4.2 Magnetometría

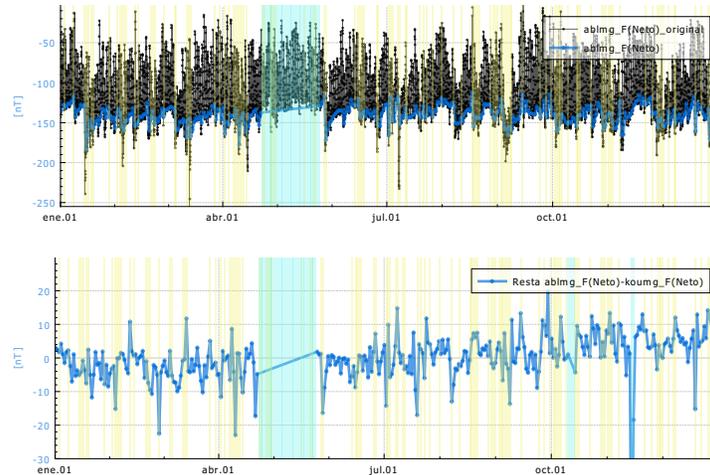
En el mes de diciembre de 2022 los magnetómetros Laguna y Agua Blanca (ver figuras 65, 66 y 67), se observaron ciclos de oscilaciones día-noche debidos a las variaciones de radiación solar. Se presentaron fluctuaciones asociables a perturbaciones temporales en la magnetosfera terrestre (causadas por 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 19 y 26 de diciembre.



**Figura 64:** Azul: Potencial eléctrico espontáneo en la componente tangencial de la estación Cocuy2. Verde: precipitación diaria registrada en estación Mina del volcán Puracé. Datos registrados entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2022.

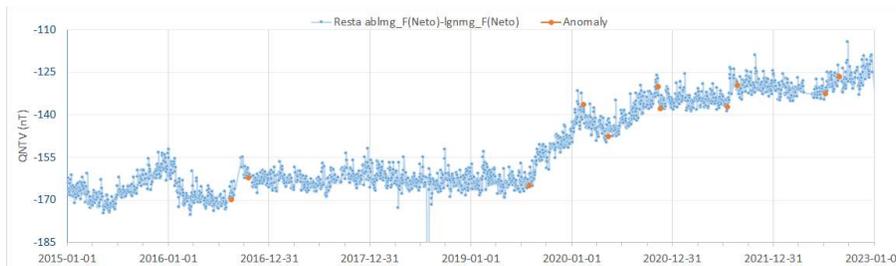


**Figura 65:** Campo magnético local en la estación de Laguna del volcán Puracé. *Arriba:* Campo magnético local en la estación de Laguna ( $nT$ ) del volcán Puracé (color negro) y valores QNTV (color azul) entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de diciembre de 2022. Las áreas subrayadas de color amarillo 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:* Diferencia de los valores QNTV entre magnetómetro de Laguna con el magnetómetro Kourou.



**Figura 66:** 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 enero de 2022 y el 31 de diciembre 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:* Diferencia de los valores QNTV entre magnetómetro de Agua Blanca y el magnetómetro Kourou.

La figura 67 muestra la diferencia de los valores QNTV entre los magnetómetros de Agua Blanca y Laguna entre enero 2015 y diciembre de 2022. En esta figura se han evitado los datos en días con tormentas geomagnéticas reportadas o en los que se han apreciado datos anómalos en los magnetómetros y se resaltan cambios en el campo magnético local con puntos de color naranja. En el periodo evaluado el comportamiento del campo magnético según esta técnica indica una tendencia ascendente.



**Figura 67:** Diferencia de los valores QNTV entre los magnetómetros del volcán Puracé: Agua Blanca y Laguna desde enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2022.

### 3.5 GEOQUÍMICA

El monitoreo fisicoquímico para este volcán involucra muestreos periódicos in situ para gases difusos en suelo ( $CO_2$  y  $^{222}Rn$ ), fuentes termales (14 fuentes termales, 16 puntos de muestreo) y campo fumarólico (muestreos de gases  $SO_2$ , medición temperaturas) 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 obtener datos que permitan establecer líneas base de comportamiento del sistema volcánico, así como detectar variaciones de diferentes parámetros físicos relacionados con cambios

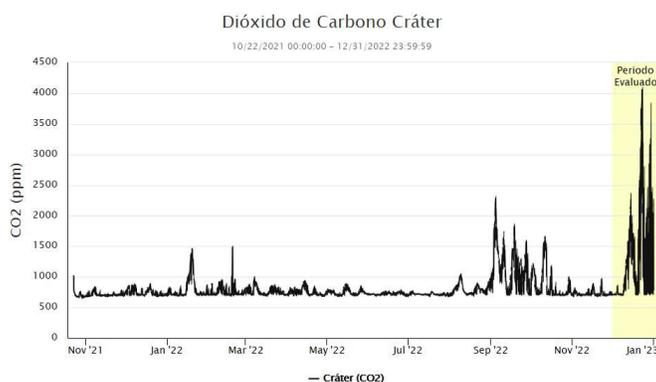
en el mismo, como temperatura, potencial de hidrógeno ( $pH$ ), conductividad, composición química y relación isotópica.

El monitoreo de la actividad fisicoquímica para el volcán Puracé durante el mes de diciembre 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, San Juan, Piñuelas y campañas de  $CO_2$  con cámara de acumulación de flujo.

### 3.5.1 Medidas de dióxido de carbono

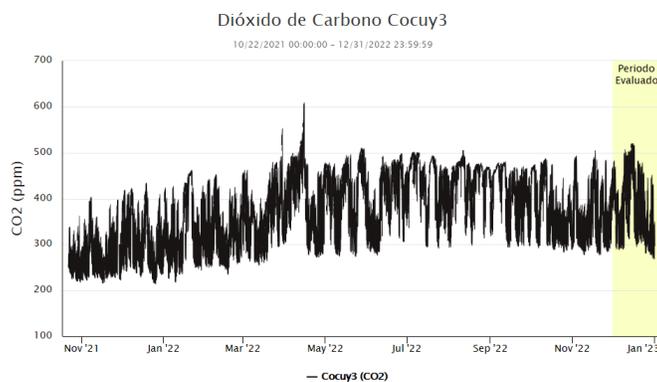
El Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) es un gas incoloro e inodoro ligeramente soluble en agua, representa la principal fuente de emisión en sistemas volcánicos (Fridriksson, 2009) y tiene una densidad de  $1.799 \text{ g/L}$  (Lide, 2005); su origen en sistemas geotermales se debe a las reacciones químicas derivadas de la actividad magmática que se dan en algunos minerales, en rocas carbonatadas y sedimentarias, en no carbonatadas y en la materia orgánica presente en sedimentos. 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-CVLC.

En las figuras 68 y 69 se ilustran las variaciones en el tiempo de las concentraciones de  $CO_2$  registradas por las estaciones Cráter y Cocuy3 para el periodo del 22 de octubre del 2021 al 31 de diciembre de 2022. Los datos recolectados evidencian aportes bajos de  $CO_2$ , con promedios para el período evaluado de  $1283 \text{ ppm}$  (partes por millón) para la estación Cráter y de  $374.76 \text{ ppm}$  para Cocuy. El valor máximo registrado fue de  $4095 \text{ ppm}$  en la estación Cráter. Las estaciones Piñuelas y San Juan permiten medir la concentración de  $CO_2$  a diferentes profundidades (sensores superior e inferior). La información obtenida desde el 22 de octubre de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2022 (figuras 70 y 71) con valores promedio para Piñuelas superior e inferior fueron de  $35.46$  y  $814.26 \text{ ppm}$ , respectivamente, mientras que los promedios de los sensores para San Juan fueron de  $83.32$  y  $458.23 \text{ ppm}$ , 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.

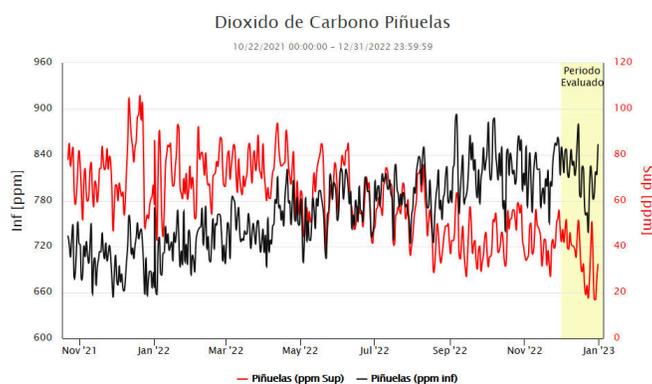


**Figura 68:** Variaciones en concentración de  $CO_2$  en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Cráter.

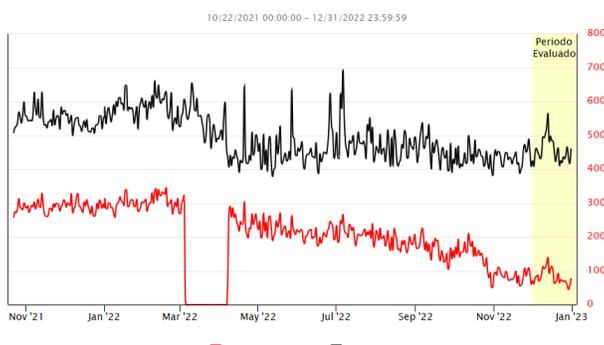
De acuerdo con la información geoquímica que se genera a partir del monitoreo del volcán Puracé, así como de la correlación con la evaluación de las demás técnicas de monitoreo, especialmente con la actividad sísmica registrada durante el periodo evaluado, es posible



**Figura 69:** Variaciones en concentración de  $CO_2$  en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Cocuy3.



**Figura 70:** Variaciones en concentración de  $CO_2$  en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Piñuelas.



**Figura 71:** Variaciones en concentración de  $CO_2$  en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación San Juan.

decir que los procesos de desgasificación del sistema se mantienen, y que hasta el momento continúan 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.

### 3.5.2 Medida de emisión difusa de $CO_2$

Este tipo de mediciones se han realizado con un medidor de flujo difuso de  $CO_2$  el cual cuenta con un detector de gas LI-COR (LI-820 de WEST Systems). El LI-820 es un detector infrarrojo de  $CO_2$ , basado en espectroscopia de absorción infrarroja que utiliza una longitud de onda dual en función de un sistema de medición de  $CO_2$ . En términos simples, cuando el sistema se ubica sobre el suelo, permite que el gas que está emanando viaje a través del equipo, el cual posee una cámara circular (forma de campana), ahí el gas sigue la trayectoria óptica en un circuito cerrado (un solo camino de filtros ópticos de banda estrecha) que absorbe la energía infrarroja (*IR*).

El principio del método de la cámara de acumulación se basa en la relación del flujo de  $CO_2$  emitido desde el suelo a la atmósfera con el aumento en la concentración de  $CO_2$  en la cámara durante el periodo de tiempo en que se situó en el suelo (relación de diferencia en la absorción IR entre una referencia y la señal de muestra). Así es posible estimar el flujo de  $CO_2$  calculando su valor a través de la pendiente generada de la curva de concentración durante la medición.

La medición de la emisión difusa de  $CO_2$  a la atmósfera mediante el método de la Cámara de acumulación ha sido ampliamente estudiada en áreas volcánicas y geotermales, con el fin de evaluar los cambios en la emisión de  $CO_2$  a través de las superficies, identificar patrones estacionales, establecer un nivel base, cuantificar estas emisiones y ubicar las zonas de mayores emisiones de flujo de  $CO_2$  en estos sistemas. Todo esto orientado a detectar anomalías que puedan estar relacionadas con los cambios en la actividad que puedan ocurrir en el volcán Puracé-Cadena volcánica Los Coconucos.

Durante el mes de diciembre se realizó una campaña de emisión difusa de  $CO_2$  en suelo en el Volcán Puracé y su área de influencia, por medio del recorrido (Cráter VP).

Hasta el momento esta técnica se encuentra en la fase de validación y creación de la línea base de comportamiento; con esto se espera poder definir un patrón de emanación de este gas y detectar los posibles cambios que presente el sistema volcánico en un futuro. En la tabla 7 se aprecian las tendencias de flujo de  $CO_2$  que se tomaron durante las mediciones. Los datos muestran que en algunos sectores se presentan flujos elevados, lo que indica anomalías difusas en suelo.

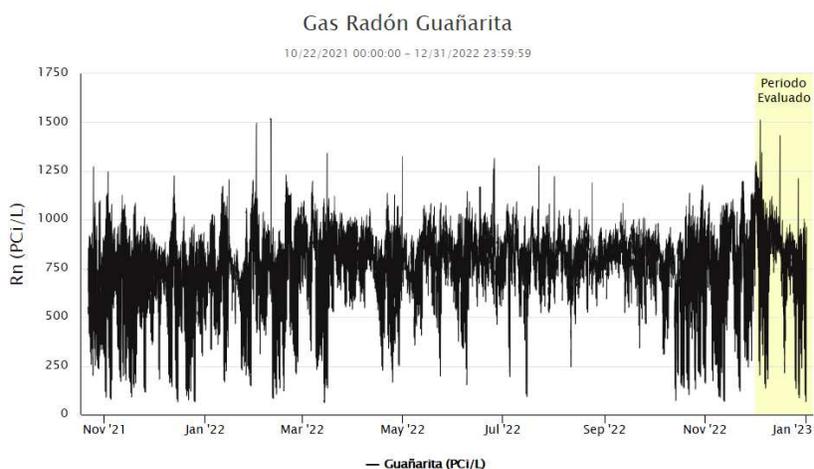
Lugar	Promedio [ $mol/m^2/dia$ ]	Mínimo [ $mol/m^2/dia$ ]	Máximo [ $mol/m^2/dia$ ]	Total puntos medidos
Cráter VP	1 327 624	3 217 337	104 450	12

**Tabla 7:** Datos estadísticos de las medidas de flujo de  $CO_2$ . Diciembre de 2022.

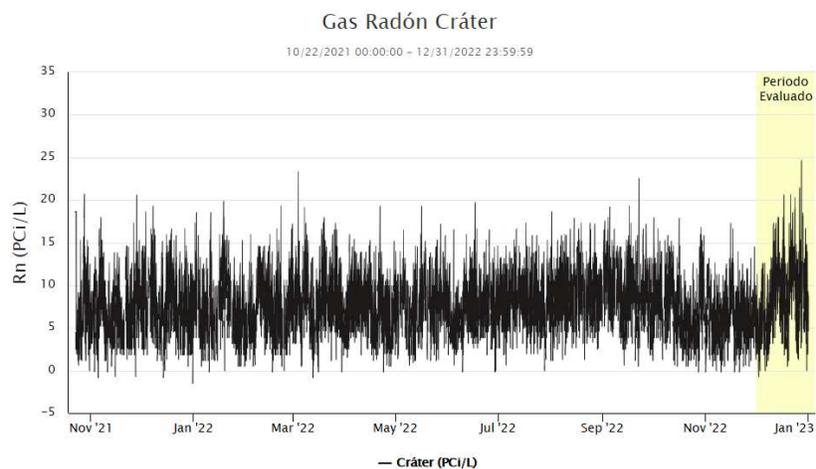
### 3.5.3 Medidas de gas Radón

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 o 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 sobre la superficie.

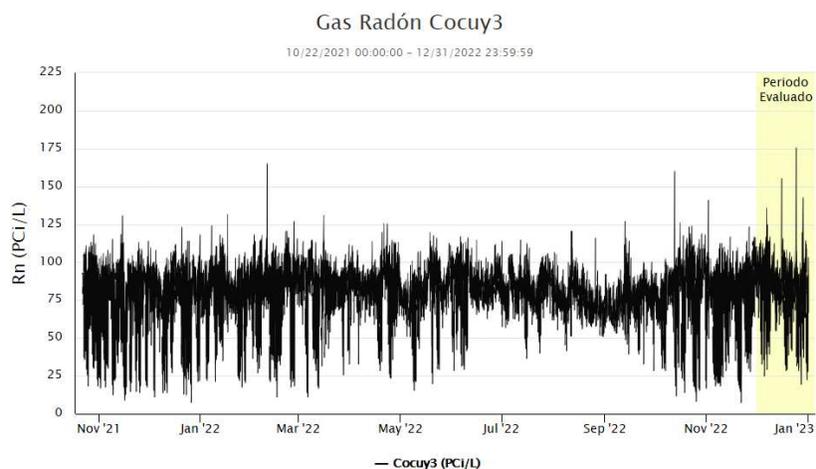
En algunos sitios del volcán se emplea la detección de Radón en suelo con telemetría, de esta manera, los datos recibidos permiten determinar la concentración de este gas. Las figuras 72, 73 y 74 ilustran las variaciones en el tiempo de las concentraciones de gas Radón registradas por las estaciones Guañarita, Cráter y Cocuy3. Para el mes de diciembre no fue posible obtener datos de las estaciones de San Juan y Piñuelas. Durante diciembre la mayor concentración se registró en la estación Guañarita, con un valor promedio de  $2464 \text{ pCi/L}$ . Estas variaciones comparadas con su línea base se encuentran dentro de los valores de comportamiento considerados normales.



**Figura 72:** Variaciones en concentración de Radón en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Guañarita.



**Figura 73:** Variaciones en concentración de Radón en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Cráter.



**Figura 74:** Variaciones en concentración de Radón en suelo durante diciembre de 2022 (sombreado) en la estación Cocuy3.

### 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 variaciones 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 telemétrica en fumarola lateral** Para la fumarola lateral (costado noroeste del cono activo) se hace un seguimiento de las variaciones de temperatura a través de un sistema telemétrico unido a un arreglo de tres equipos de medición de temperatura (termocuplas), instaladas equidistantemente en el campo fumarólico. En la

figura 8 se pueden ver los valores de temperatura obtenidos para el período evaluado. Los datos registrados en los 3 puntos de medición para el mes de diciembre muestran temperaturas que oscilan entre 48.55 y 79.96°C. En el último mes se han registrado cambios en las temperaturas del primero y tercer punto de medición, que están relacionados con cambios superficiales en el entorno del campo fumarólico; sin embargo, no son un reflejo del comportamiento interno del sistema volcánico. Se espera una estabilización de las temperaturas en los siguientes meses (figura 75).

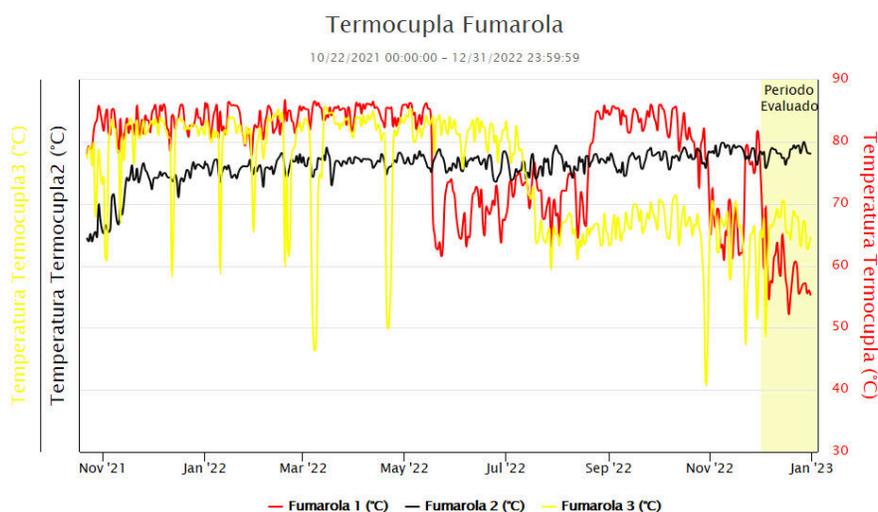


Figura 75: Temperaturas campo fumarólico, diciembre de 2022.

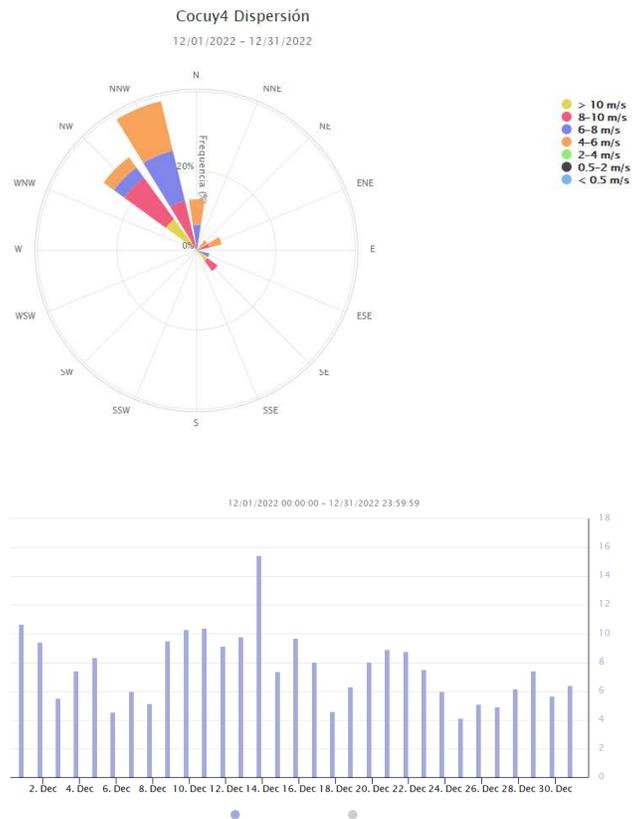
### 3.5.5 Medidas de dióxido de azufre

El Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ) es una molécula emitida por volcanes activos y por actividades antropogénicas presente en la atmósfera terrestre, principalmente en la tropósfera, jugando un papel importante en la química de esta, al formar ácido sulfúrico y aerosoles. Igualmente, influye en las propiedades de oxidación del magma, su reología y dinámica eruptiva.

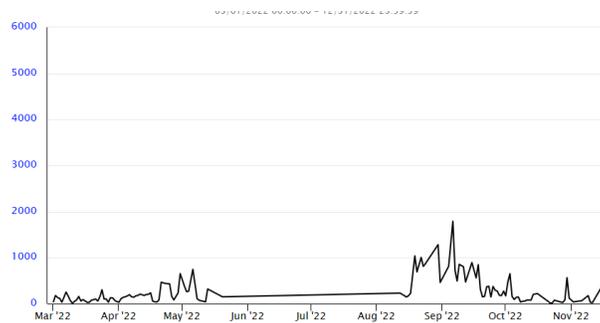
En el volcán Puracé se emplea la metodología espectroscópica de absorción óptica diferencial (DOAS, por sus siglas en inglés) para la detección de  $SO_2$ ; para ello, actualmente se tienen instaladas dos estaciones SCANDOAS (Vinagre y Vinagre 2) ubicadas al norte y noroccidente del volcán, las cuales permiten entender la dinámica del flujo de este en el sistema fumarólico. Para este periodo evaluado solo se tuvo información de la estación Vinagre.

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 Cocuy y el pronóstico del tiempo del IDEAM. Durante el mes de diciembre el viento sobre el volcán Puracé tuvo un rango de dispersión con predominancia hacia el NW y NNW. Las velocidades variaron entre 4.14 y 15.44  $m/s$ , con una velocidad promedio de 7.63  $m/s$  a los 10 000 *pies* de altitud (figura 76).

Los valores de desgasificación máximos diarios registrados durante el mes de diciembre estuvieron en el rango de 277.34 a 5268  $t/d$  para la estación Vinagre 2. El valor máximo registrado para el periodo evaluado fue de 5268  $t/d$  registrado en la estación Vinagre 2, el día 21 de diciembre (figura 77).



**Figura 76:** Direcciones preferenciales del viento en el volcán Puracé para el mes de diciembre de 2022.



**Figura 77:** Representación del flujo diario de  $SO_2$  emitido por el volcán Puracé estación Vinagre, diciembre de 2022.



**Figura 78:** Representación del flujo diario de  $SO_2$  emitido por el volcán Puracé estación Vinagre 2, diciembre de 2022.

Los valores de flujo de  $SO_2$  calculados en el mes de diciembre de 2022 se consideran niveles bajos en comparación con otros sistemas volcánicos, lo cual no representa un cambio significativo en la dinámica del sistema magmático para el volcán Puracé o la cadena volcánica de Los Coconucos.

### 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 – cadena volcánica de Los Coconucos, se concluye que durante el mes de diciembre de 2022 se continuaron presentando cambios importantes, los cuales permanecen por encima de los valores históricamente registrados en esta estructura volcánica. Por lo tanto, el OVS -Popayán mantiene el nivel de actividad en *NIVEL AMARILLO (o III): cambios en el comportamiento de la actividad volcánica.*

## 4 VOLCÁN SOTARÁ



**Figura 79:** 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 80). 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 80).

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 NO, los ríos Blanco, Negro y Guachicono al OSO 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 80: Mapa de localización del volcán Sotará.

## 4.1 SISMOLOGÍA

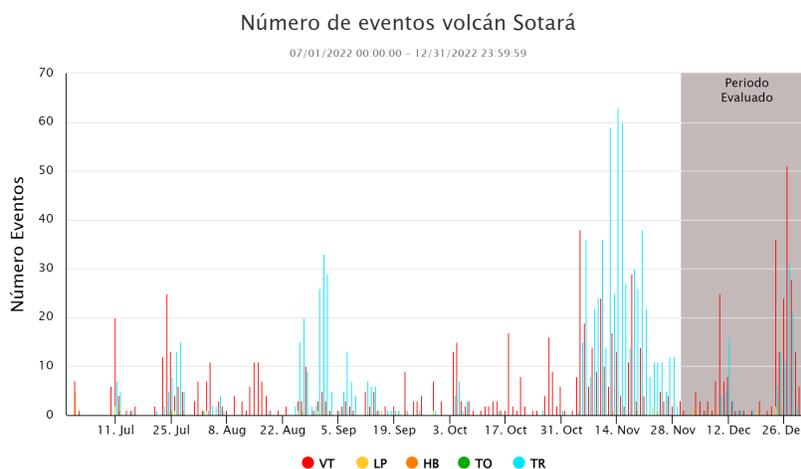
### 4.1.1 Actividad sísmica

Las estaciones sismológicas instaladas en la zona de influencia del volcán Sotará registraron durante el mes de diciembre 383 eventos sísmicos, de los cuales 253 estuvieron relacionados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT) y 130 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos, 118 fueron clasificados como sismos de Largo Periodo (tipo LP) y 12 como pulsos de tremor de bajo aporte energético (tipo TR).

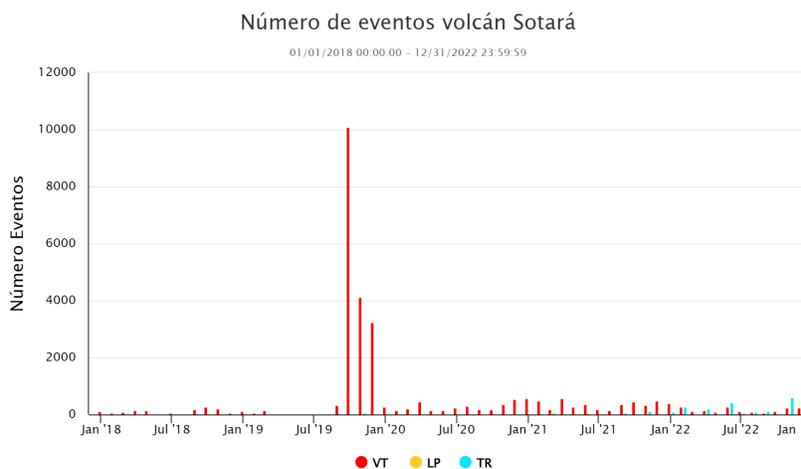
La figura 81 muestra el número de eventos registrados diariamente durante el segundo semestre de 2022, en la que se observan los sucesivos aumentos y descensos en la sismicidad de fractura y los pulsos de tremor. Durante el mes de diciembre los eventos tipo TR alcanzaron las mayores recurrencias los días 12, 27 y 28 con un máximo de 31 sismos/día. Por su parte, los eventos VT mostraron un aumento entre el 27 y 29 de diciembre, alcanzando un máximo de 51 sismos/día.

En la figura 82 se muestra el acumulado mensual de los eventos sísmicos VT, LP y TR para el periodo comprendido entre enero de 2018 y diciembre de 2022. En ella se puede observar que posterior al incremento en el número de eventos de fractura, registrado durante el último trimestre de 2019, la dinámica volcánica ha mostrado una tendencia a sucesivos aumentos y descensos en los mismos; mientras que los incrementos observados en los pulsos de tremor, se han visto de manera más recurrente en el 2022, principalmente en los meses

de febrero, junio y noviembre. Cabe mencionar que las variaciones observadas en la recurrencia de la sismicidad del volcán Sotará son usuales en los sistemas volcánicos activos y reflejan la complejidad de las interacciones con la dinámica estructural de la zona.



**Figura 81:** Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sotará para el periodo comprendido entre julio y diciembre de 2022.



**Figura 82:** Acumulado mensual de eventos sísmicos para el periodo comprendido entre enero de 2018 y diciembre de 2022.

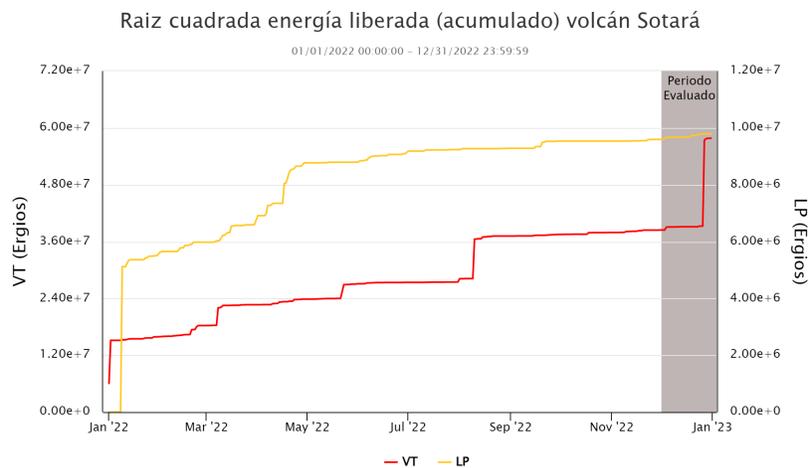
#### 4.1.2 Energía sísmica liberada

Durante el mes de diciembre la energía sísmica liberada por los eventos tipo VT mostró una variación destacada hacia finales del periodo evaluado, mientras que la liberación de energía asociada con los sismos LP se caracterizó por permanecer dentro de los rangos usualmente observados para este volcán durante los últimos años de monitoreo sísmico. Del aumento observado en el número de eventos, se destaca que de los 31 sismos ocurridos el día 27, cuatro tuvieron magnitudes entre 2.1 y 2.7  $M_L$ , por lo que este día se tuvo un aporte energético de  $3.15E+15$  *ergios*, el cual corresponde al máximo registrado para el último año. En el caso de los eventos LP, la máxima liberación de energía ocurrió el 20 de diciembre con un valor

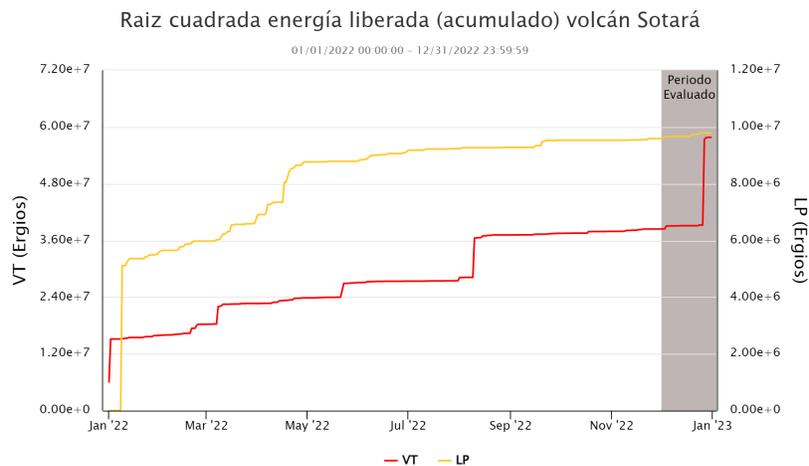
de  $1.52E+12$  *ergios*, asociado con el registro de un evento con una magnitud de duración de  $1.1 M_C$  (figura 83).

En la figura 84 se observa la energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP entre enero y diciembre de 2022. En ella es posible apreciar que para los eventos LP se presentó un aumento sostenido en la liberación de energía sísmica entre los meses de enero y abril, para pasar a un comportamiento más estable desde el mes de mayo hasta finales del mes de diciembre. En cuanto a la tendencia observada para los sismos de fractura, se evidencia que la liberación de energía ha estado caracterizada por presentar variaciones asociadas principalmente con periodos de mayor recurrencia en la sismicidad VT, situación que se acentuó aún más con el aumento observado a finales del mes de diciembre, durante el cual se registraron siete sismos con magnitudes entre  $2.0$  y  $2.7 M_L$ .

*Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada con el fin de facilitar su visualización.*



**Figura 83:** Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2022.

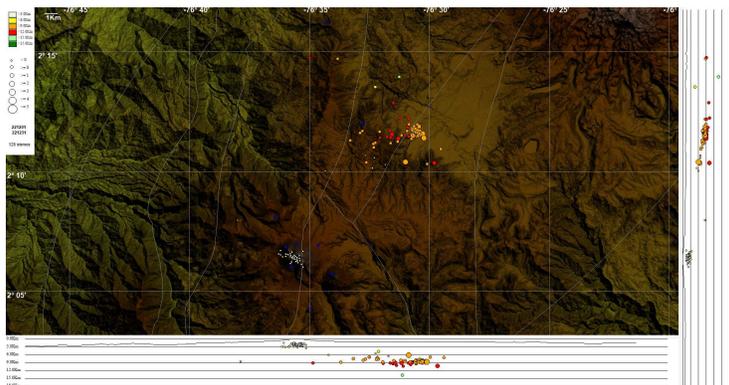


**Figura 84:** Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sotará entre enero y diciembre de 2022.

### 4.1.3 Localización de eventos sísmicos

**4.1.3.1 Localización de eventos asociados con procesos de fractura.** En el periodo evaluado se localizaron 126 sismos de fractura en la zona de influencia del volcán Sotará, los cuales se concentraron principalmente al NE del edificio volcánico en el sector del valle de Paletará y en menor proporción debajo del edificio volcánico. En el primer sector fueron localizados 77 sismos en un rango de distancia epicentral, a la cima volcánica, entre 9 y 17 *km*, cabe mencionar que entre el 27 y el 30 de diciembre se observó una mayor recurrencia en la localización de eventos en este sector, con un total de 51 sismos con magnitudes entre -0.1 y 2.7  $M_L$ , correspondiendo esta última a la máxima calculada para el periodo evaluado. En general, el rango de profundidad para los eventos localizados en el valle de Paletará durante el mes de diciembre osciló entre 6 y 10 *km*.

Los demás eventos de fractura se localizaron bajo el edificio volcánico, a una distancia epicentral de aproximadamente 2 *km* a partir de la cima. Estos sismos se caracterizaron por ser de muy bajo aporte energético, con magnitudes por debajo de 1.0  $M_L$ , así como por generarse a nivel superficial, entre 1 y 3 *km* de profundidad (figura 85).



**Figura 85:** Mapa de localización de eventos volcano-tectónicos del volcán Sotará del 1 al 31 de diciembre 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.

La figura 86 muestra la distribución de los valores de magnitud ( $M_L$ ) de los eventos localizados durante el año 2022, allí se aprecia que las magnitudes de los eventos localizados permanecieron dentro del rango observado durante el último año de monitoreo sísmico. Se concluye que la actividad sísmica localizada en el sector de Paletará presentó un aumento a finales del mes de diciembre, reflejando la interacción y dinámica propia entre los componentes superficiales del volcán (sistema hidrotermal) y zonas más profundas y distales al edificio volcánico, estas últimas relacionadas con el régimen tectónico presente en este sector, sistema de fallas San Jerónimo y Moras. Hasta el momento las variaciones aquí mencionadas no comprometen la estabilidad del volcán.

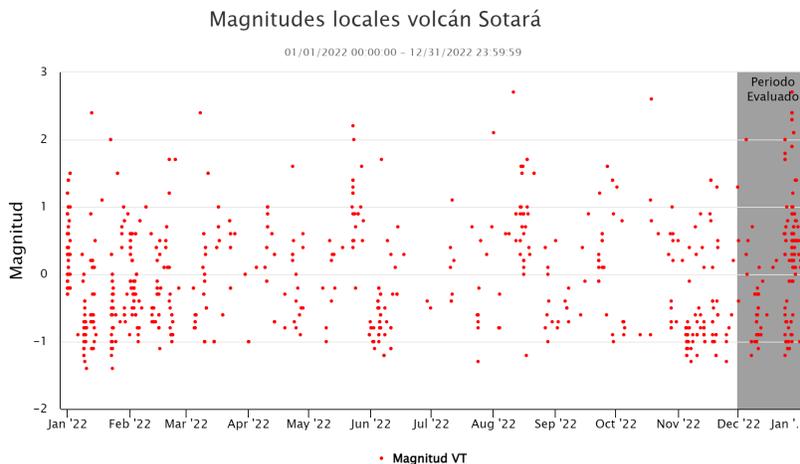


Figura 86: Magnitud local de los eventos VT localizados en el volcán Sotará entre enero y diciembre de 2022.

## 4.2 DEFORMACIÓN

### 4.2.1 Inclinatora electrónica

Durante el mes de diciembre estuvieron operativos los inclinómetros Triángulo y Oso, la tendencia de las componentes este  $-\sigma_E$  y norte  $-\sigma_N$  mantuvo un comportamiento estable. En la figura 87 se presenta la serie temporal del inclinómetro Triángulo como representativo de esta red sin el efecto de temperatura y deriva en el instrumento.

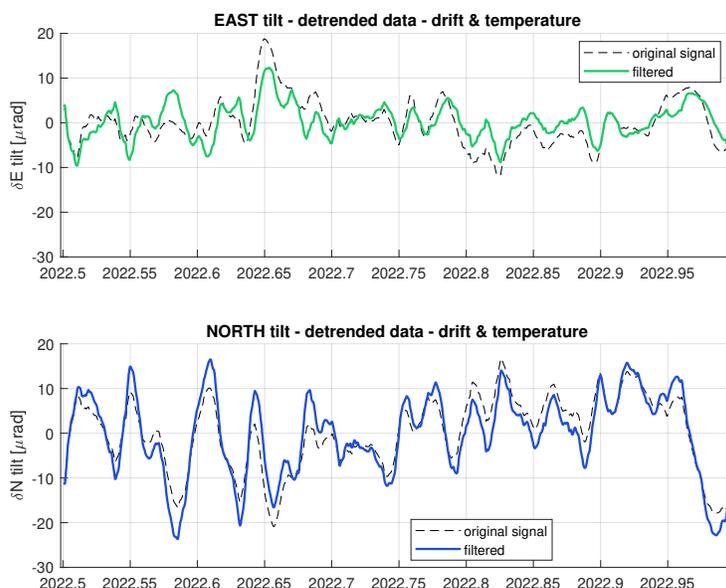


Figura 87: Comportamiento del inclinómetro electrónico Triángulo para el periodo 1 de julio a 31 de diciembre de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. Las líneas punteadas representan la serie original de datos y las líneas continuas los datos filtrados por temperatura y deriva del 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 88). Los resultados del procesamiento para

Diciembre de 2022

el mes de diciembre no muestran procesos deformativos entre las líneas base evaluadas al igual que en los meses anteriores (figura 89).

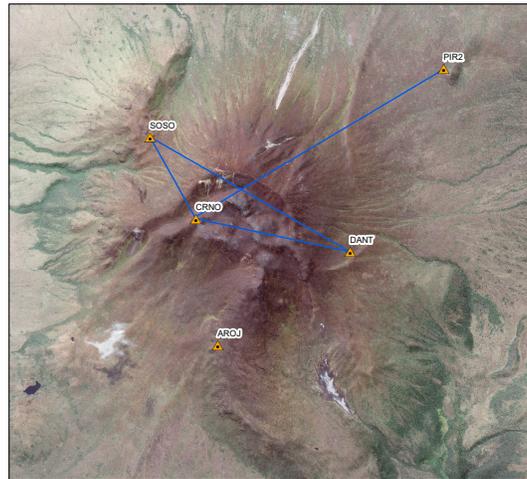


Figura 88: Localización de líneas base GNSS en el volcán Sotará.

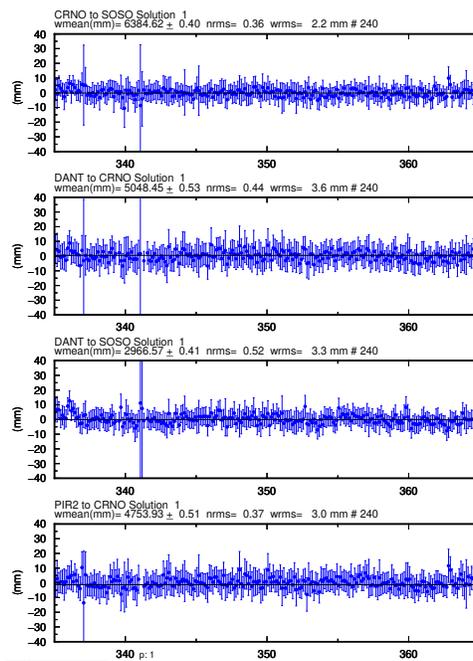


Figura 89: Resultados de líneas Base del volcán Sotará. AROJ-SOSO, DANT-ARAJ, DANT-SOSO y PIR2-CRNO. Diciembre de 2022.

#### 4.2.3 Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Los resultados del procesamiento para las estaciones GNSS del volcán Sotará muestran estabilidad en sus componentes Norte, Este y Altura. En la figura 90 se presenta la serie temporal de la estación GNSS DANT como una estación representativa de la red de monitoreo.

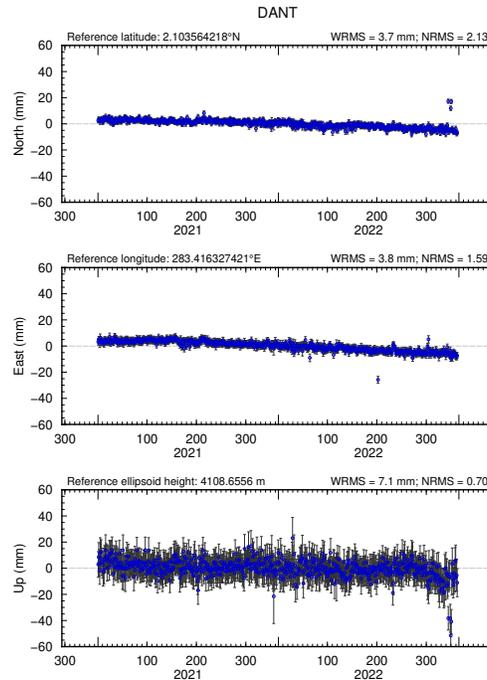
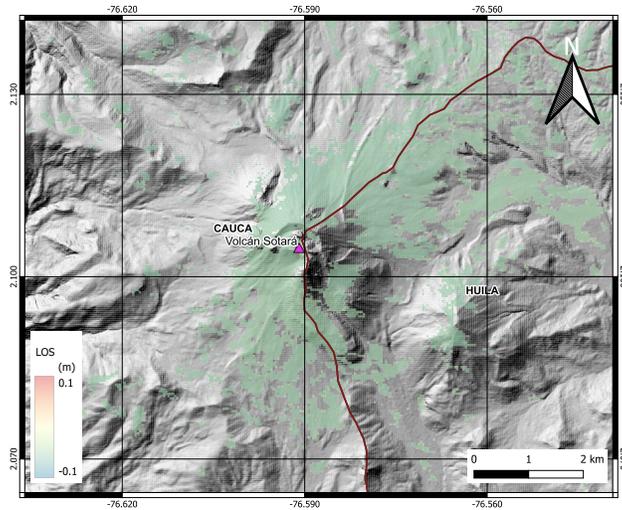


Figura 90: Serie temporal para la estación GNSS permanente DANT. Enero de 2021 a diciembre de 2022.

#### 4.2.4 Interferometría diferencial de radar (D-InSAR)

Para el área volcán Sotará, se procesó el par interferométrico del 26-11-2022 y 01-01-2023 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente. Los resultados se muestran en la figura 91 y evidencian que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos detectables a la sensibilidad de esta técnica.



**Figura 91:** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 26-11-2022 y 01-01-2023 del satélite Sentinel-1A en pasada descendente. Área del volcán Sotará.

### 4.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

#### 4.3.1 Registro de actividad superficial

Durante el mes de diciembre las imágenes captadas por las cámaras web del volcán Sotará (Cerro Crespo y Majúas 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, diciembre de 2022.



**Figura 93:** Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas-Sotará, volcán Sotará, diciembre 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 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, 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 dmica 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 fotogeologa, 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 NO–SE. (Pulgarn et. al, Geología e Historia Eruptiva del Complejo Volcánico Sotará, Colombia – Ingeominas, 2011).

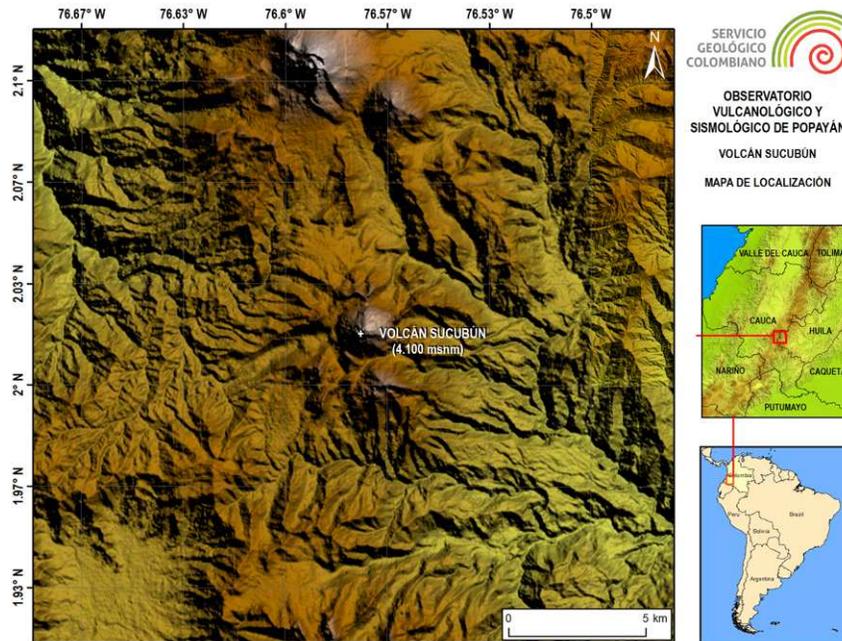


Figura 95: Mapa de localización del volcán Sucubún.

## 5.1 SISMOLOGÍA

### 5.1.1 Actividad Sísmica

Durante el mes de diciembre de 2022 la red de estaciones sismológicas registró un total de 13 eventos sísmicos en el área de influencia del volcán Sucubún, asociados en su totalidad con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT), manteniéndose en niveles bajos, con un máximo de cinco eventos diarios los días 17 y 28 de diciembre (figura 96).

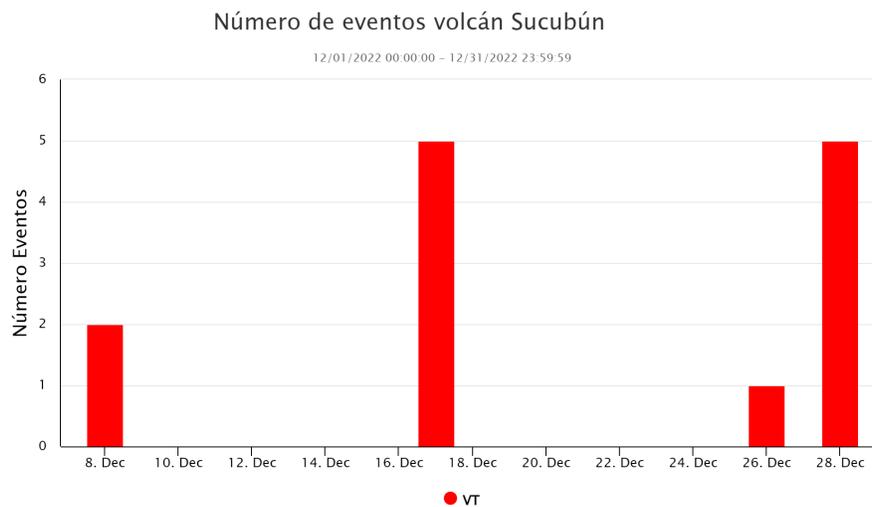
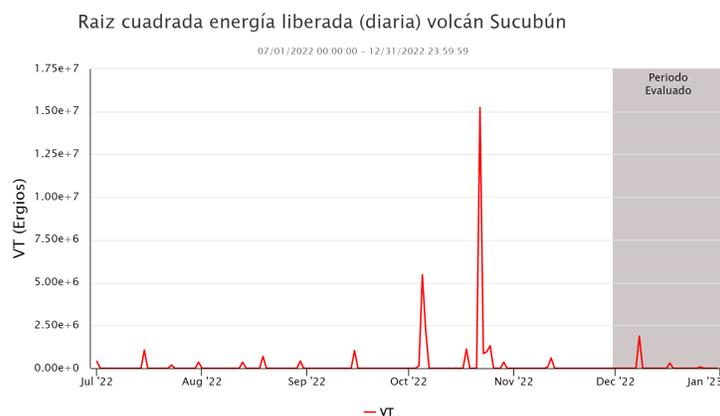


Figura 96: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sucubún durante el mes diciembre de 2022.

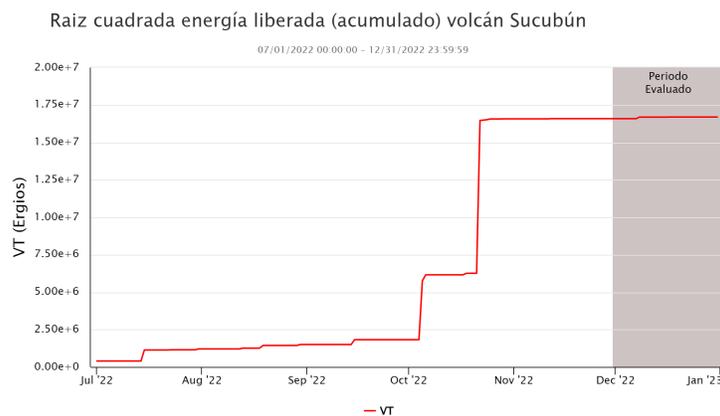
### 5.1.2 Energía sísmica liberada

Durante el mes de diciembre la energía sísmica liberada diariamente por los eventos tipo VT continuó presentando valores bajos. Las magnitudes de los eventos estuvieron principalmente por debajo de  $1.0 M_L$  (figura 97). La curva de energía evaluada de manera acumulada mantiene una tendencia estable. La pequeña variación en la pendiente marca el día en que se registró un evento de magnitud  $1.4 M_L$ , la cual corresponde a la máxima registrada durante el periodo evaluado (figura 98).

*Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada con el fin de facilitar su visualización.*



**Figura 97:** Energía sísmica liberada diariamente por eventos tipo VT en el volcán Sucubún de julio a diciembre de 2022.

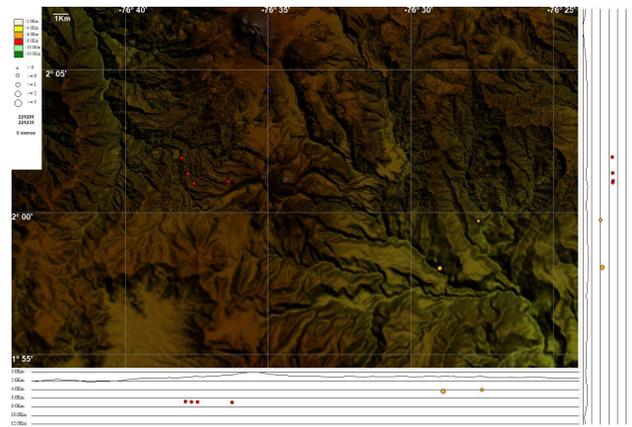


**Figura 98:** Energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Sucubún de julio a diciembre de 2022.

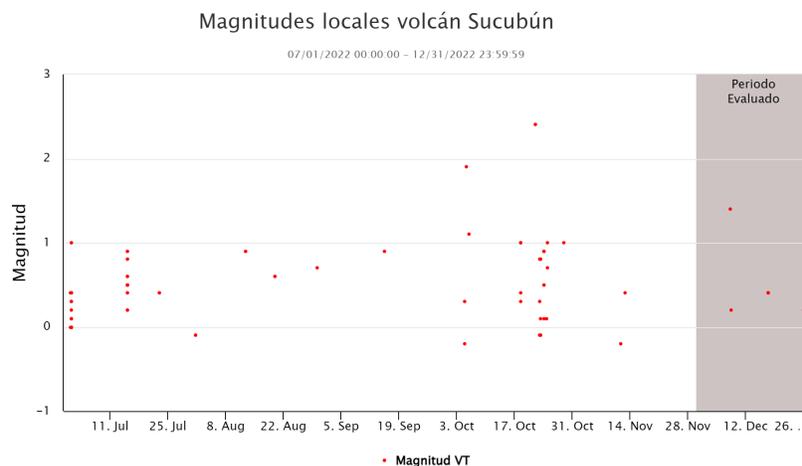
### 5.1.3 Localización de eventos sísmicos

**5.1.3.1 Localización de eventos asociados con procesos de fractura.** Durante el mes de diciembre se localizaron seis sismos tipo VT en el área de influencia del volcán Sucubún, respecto a la cima: cuatro de ellos se ubican en un rango de distancia epicentral entre 3 y 6 *km* en dirección ONO y dos a una distancia aproximada de 12 *km* al SE. Las profundidades

oscilaron entre 6 y 7 *km* para los primeros, mientras que para los localizados al SE las profundidades estuvieron alrededor de los 4 *km*. Las magnitudes calculadas para estos eventos estuvieron entre 0.2 y 1.4  $M_L$ , permaneciendo dentro de lo observado para este volcán durante los últimos 6 meses (figura 99).



**Figura 99:** Mapa de localización de eventos volcano–tectónicos del volcán Sucubún del 1 al 31 de diciembre de 2022. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud local calculada ( $M_L$ ). El cuadro azul representa la estación sísmica.



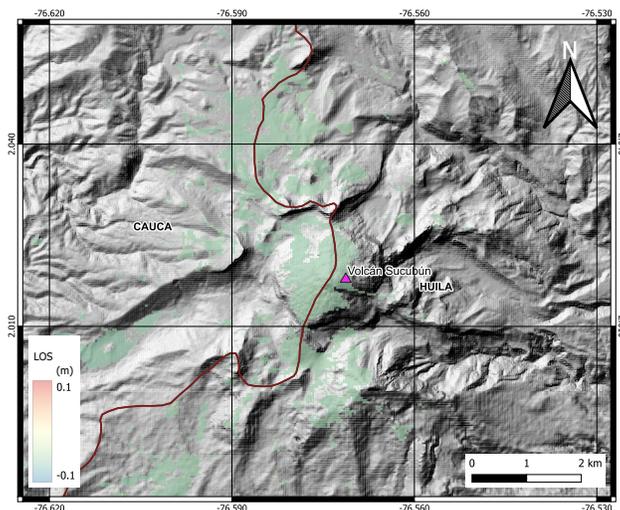
**Figura 100:** Magnitud Local de los eventos VT localizados en el volcán Sucubún de junio a diciembre de 2022.

La actividad sísmica del volcán Sucubún no mostró variaciones importantes durante el mes de diciembre de 2022, caracterizándose por la ocurrencia de eventos asociados exclusivamente con procesos de fracturamiento de roca, los cuales fueron en su totalidad de bajo aporte energético y cuyos epicentros continuaron ubicándose en fuentes distales al edificio volcánico.

## 5.2 DEFORMACIÓN

### 5.2.1 Interferometría diferencial de radar

Para el área volcán Sucubún se procesó el par interferométrico del 26-11-2022 y 01-01-2023 del satélite Sentinel-1A pasada descendente. Los resultados se presentan en la figura 101, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos detectables a la sensibilidad de esta técnica.



**Figura 101:** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 26-11-2022 y 01-01-2023 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 diciembre en las imágenes captadas del volcán Sucubún no se evidenciaron anomalías, cambios morfológicos ni procesos asociados con emanaciones de gases. En la figura 102 se muestran las mejores imágenes destacadas durante el período evaluado.



**Figura 102:** Mosaico de Imágenes captadas por la cámara web de Majuas en el volcán Sucubún, diciembre de 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 diciembre 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.