



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
ABRIL 2022***

**San Juan de Pasto, mayo de 2022**



**El futuro  
es de todos**

**Minenergía**

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©**

Oscar Paredes Zapata  
**Director General**

Marta Lucia Calvache Velasco  
**Dirección Técnica Geoamenazas**

Cristian Mauricio López  
**Coordinador Grupo Trabajo Investigación Evaluación y Monitoreo Actividad Volcánica**

Diego Mauricio Gómez Martínez  
**Coordinador Grupo Trabajo Pasto**

**AUTORES**

Adriana Ortega Estupiñan  
Betty Silva Parra  
Carlos Laverde Castaño  
Darío Arcos Guerrero  
Edgar Muñoz Hidalgo  
Jorge Mora Arroyo  
John Meneses Muñoz  
Jairo Ortiz Valencia  
Lourdes Narváez Medina  
Oscar Cadena Ibarra  
Paola Narváez Obando  
Patricia Ponce Villarreal  
Rafael Cárdenas Santacruz  
Roberto Torres Corredor  
Richard Mier Portilla  
Yenny Hache Timana

**Grupo de Trabajo Observatorio Pasto**

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN   | 15   |
| INTRODUCCIÓN  | 17   |
| 1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL DE 2022                                    | 18   |
| 1.1 Red de Vigilancia   | 18   |
| 1.2 Sismología  | 24   |
| 1.3 Deformación   | 27   |
| 1.3.1 Inclínometría Electrónica   | 27   |
| 1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes   | 28   |
| 1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM                                    | 31   |
| 1.3.4 D_InSAR   | 31   |
| 1.4 Electromagnetismo   | 31   |
| 1.5 Geoquímica  | 34   |
| 1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico                                       | 34   |
| 1.5.2 Pluviómetros  | 37   |
| 1.6 Actividad Superficial   | 38   |
| 1.7 Conclusiones  | 41   |
| 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ABRIL DE 2022                                     | 41   |
| 2.1 Red de Vigilancia   | 41   |
| 2.2 Sismología  | 43   |
| 2.3 Deformación   | 47   |
| 2.3.1 Inclínometría Electrónica   | 47   |
| 2.3.2 D_InSAR   | 48   |
| 2.4 Electromagnetismo   | 49   |
| 2.5 Geoquímica  | 49   |
| 2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales                                       | 49   |
| 2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) | 49   |
| 2.6 Actividad Superficial   | 51   |
| 2.7 Conclusiones  | 55   |
| 3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER -<br>ABRIL DE 2022  | 55   |
| 3.1 Ubicación Geográfica  | 55   |
| 3.2 Red de Vigilancia   | 56   |
| 3.3 Sismología  | 59   |
| 3.4 Deformación   | 61   |
| 3.4.1 Inclínometría Electrónica   | 61   |
| 3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes   | 62   |
| 3.4.3 D_InSAR   | 64   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.5   | Electromagnetismo   | 65 |
| 3.6.1 | Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer   | 68 |
| 3.6.2 | Muestreo de aguas en fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer | 68 |
| 3.6.3 | Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles                  | 70 |
| 3.7   | Actividad Superficial   | 70 |
| 3.8   | Conclusiones  | 70 |
| 4     | ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ABRIL DE 2022              | 71 |
| 4.1   | Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas                                       | 72 |
| 4.1.1 | Red de Vigilancia   | 72 |
| 4.1.2 | Sismología  | 74 |
| 4.1.3 | Deformación   | 77 |
| 4.1.4 | Geoquímica  | 81 |
| 4.1.5 | Actividad Superficial   | 81 |
| 4.1.6 | Conclusiones  | 81 |
| 4.2   | Actividad del Volcán Azufral  | 82 |
| 4.2.1 | Red de Vigilancia   | 82 |
| 4.2.2 | Sismología  | 85 |
| 4.2.3 | Deformación   | 87 |
| 4.2.4 | Electromagnetismo   | 91 |
| 4.2.5 | Geoquímica  | 93 |
| 4.2.6 | Actividad Superficial   | 95 |
| 4.2.7 | Conclusiones  | 98 |
| 5.    | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS  | 99 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Figura 1.</b> Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022   | 20   |
| <b>Figura 2.</b> Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022   | 20   |
| <b>Figura 3.</b> Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022                                       | 22   |
| <b>Figura 4.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en abril de 2022   | 23   |
| <b>Figura 5.</b> Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante marzo y abril 2022; el recuadro indica el periodo evaluado  | 24   |
| <b>Figura 6.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante marzo y abril del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado  | 25   |
| <b>Figura 7.</b> Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, abril 2022   | 26   |
| <b>Figura 8.</b> Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de abril del 2022 en la componente vertical de la estación Anganoy del volcán Galeras   | 26   |
| <b>Figura 9.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022                          | 27   |
| <b>Figura 10.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022                     | 28   |
| <b>Figura 11.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cóndor y San Cayetano, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK       | 29   |
| <b>Figura 12.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base                           | 30   |
| <b>Figura 13.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada | 30   |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 14.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Galeras   | 31 |
| <b>Figura 15.</b> CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre enero y abril de 2022                   | 33 |
| <b>Figura 16.</b> Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde), DEF (roja) y KOU (negra), para el mes de abril de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo | 34 |
| <b>Figura 17.</b> Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)   | 35 |
| <b>Figura 18.</b> Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)  | 35 |
| <b>Figura 19.</b> Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)   | 36 |
| <b>Figura 20.</b> Temperatura, en grados Celsius (°C) - volcán Galeras - Estación térmica Deformes, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)                                   | 37 |
| <b>Figura 21.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 3 de abril de 2022 a las 8:40 a.m., (izquierda) y para el día 4 de abril de 2022 a las 6:33 a.m., (derecha)                           | 38 |
| <b>Figura 22.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 5 de abril de 2022 a las 3:16 p.m., (izquierda) y para el día 10 de abril de 2022 a las 5:00 p.m., (derecha)                          | 39 |
| <b>Figura 23.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de abril de 2022 a las 5:52 a.m., (izquierda) y para el día 17 de abril de 2022 a las 6:07 p.m., (derecha)                         | 39 |
| <b>Figura 24.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 18 de abril de 2022 a las 3:51 p.m., (izquierda) y para el día 10 de abril de 2022 a las 7:26 a.m., (derecha)                         | 39 |
| <b>Figura 25.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 21 de abril de 2022 a las 12:36 p.m., (izquierda) y para el día 23 de abril de 2022 a las 8:08 a.m., (derecha)                        | 40 |
| <b>Figura 26.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 24 de abril de 2022 a las 7:52 a.m., (izquierda) y para el día 26 de abril de 2022 a las 6:16 p.m., (derecha)                         | 40 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 27.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 27 de abril de 2022 a las 3:47 p.m., (izquierda) y para el día 28 de abril de 2022 a las 6:48 a.m., (derecha)                                 | 40 |
| <b>Figura 28.</b> Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de abril de 2022   | 42 |
| <b>Figura 29.</b> Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de abril de 2022  | 43 |
| <b>Figura 30.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en abril de 2022   | 43 |
| <b>Figura 31.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado  | 44 |
| <b>Figura 32.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante marzo y abril del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado  | 45 |
| <b>Figura 33.</b> Sismos localizados en el CVC, abril 2022  | 46 |
| <b>Figura 34.</b> Sismogramas y espectros en frecuencia de 3 eventos TOR de abril del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC   | 47 |
| <b>Figura 35.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu$ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022           | 48 |
| <b>Figura 36.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24 de abril de 2022 y el 6 de mayo de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal  | 48 |
| <b>Figura 37.</b> Estimación cualitativa de SO <sub>2</sub> obtenido con la aplicación TROPOMI para el mes de abril de 2022. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores                                | 50 |
| <b>Figura 38.</b> Estimación de SO <sub>2</sub> obtenida con la aplicación TROPOMI para el mes de abril de 2022 y el pronóstico de lluvias para la zona generado por el IDEAM   | 51 |
| <b>Figura 39.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 1 de abril de 2022 a las 7:32 a.m., (izquierda) y para el día 2 de abril de 2022 a las 6:42 p.m., (derecha) | 52 |
| <b>Figura 40.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 3 de abril de 2022 a las 5:54 a.m., (izquierda) y para el día 4 de abril de 2022 a las 6:54 a.m., (derecha) | 52 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 41.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 5 de abril de 2022 a las 6:57 a.m., (izquierda) y para el día 11 de abril de 2022 a las 5:27 p.m., (derecha)                | 52 |
| <b>Figura 42.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 15 de abril de 2022 a las 00:44 a.m., (izquierda) y para el día 16 de abril de 2022 a las 9:59 p.m., (derecha)              | 53 |
| <b>Figura 43.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 17 de abril de 2022 a las 9:06 a.m., (izquierda) y para el día 18 de abril de 2022 a las 3:14 a.m., (derecha)               | 53 |
| <b>Figura 44.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 19 de abril de 2022 por la cámara ubicada en el sector del Boliche a las 6:50 a.m., (izquierda) y desde Punta Vieja para el día 20 de abril de 2022 a las 8:36 a.m., (derecha)        | 53 |
| <b>Figura 45.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 21 de abril de 2022 a la 1:13 p.m., (izquierda) y para el día 23 de abril de 2022 a las 12:57 p.m., desde Boliche (derecha) | 54 |
| <b>Figura 46.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 24 de abril de 2022 a las 4:04 p.m., (izquierda) y para el día 26 de abril de 2022 a las 5:53 p.m., (derecha)               | 54 |
| <b>Figura 47.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 27 de abril de 2022 a las 5:37 a.m., (izquierda) y para el día 29 de abril de 2022 a las 6:02 p.m., (derecha)               | 54 |
| <b>Figura 48.</b> Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)  | 56 |
| <b>Figura 49.</b> Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2022  | 57 |
| <b>Figura 50.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en abril de 2022  | 59 |
| <b>Figura 51.</b> Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado   | 60 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 52.</b> Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado  | 60 |
| <b>Figura 53.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril del 2022   | 61 |
| <b>Figura 54.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022                                      | 62 |
| <b>Figura 55.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo y el 8 de mayo de 2022                                | 62 |
| <b>Figura 56.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido 6 de julio de 2019 y 23 de abril de 2022 (izquierda) y 1 de enero de 2021 y 23 de abril de 2022 (derecha)                                    | 63 |
| <b>Figura 57.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas sobre Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 23 de abril de 2022, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN | 64 |
| <b>Figura 58.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24 de abril de 2022 y el 6 de mayo de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro   | 65 |
| <b>Figura 59.</b> CMT-F en la estación de monitoreo magnético de Chiles – Cerro Negro: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para los meses comprendidos entre enero y abril de 2022                                      | 66 |
| <b>Figura 60.</b> Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de abril de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo  | 67 |
| <b>Figura 61.</b> Imágenes de manantiales termales perteneciente a la zona de influencia del volcán Chiles-Cerro negro en el sector colombiano, A) La Cristalina, B) Baño Grande, C) El Infiernillo y D) El Rincón Más Bello   | 68 |
| <b>Figura 62.</b> Variación del pH en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022   | 69 |
| <b>Figura 63.</b> Variación de la temperatura en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022  | 69 |
| <b>Figura 64.</b> Variación de la conductividad eléctrica en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022  | 70 |
| <b>Figura 65.</b> Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano   | 72 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 66.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de abril de 2022   | 74 |
| <b>Figura 67.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en abril de 2022  | 74 |
| <b>Figura 68.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante marzo y abril del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado   | 75 |
| <b>Figura 69.</b> Energía diaria liberada de eventos VT, registrados durante marzo y abril del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado  | 75 |
| <b>Figura 70.</b> Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, abril del 2022  | 76 |
| <b>Figura 71.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022 | 77 |
| <b>Figura 72.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022      | 78 |
| <b>Figura 73.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS La Palma y Lavas, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022                | 79 |
| <b>Figura 74.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base           | 80 |
| <b>Figura 75.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada      | 80 |
| <b>Figura 76.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas                                  | 81 |
| <b>Figura 77.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufra durante el mes de abril de 2022  | 83 |
| <b>Figura 78.</b> Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufra en el mes de abril de 2022  | 83 |
| <b>Figura 79.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante abril de 2022  | 84 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 80.</b> Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azuftral, marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado  | 85 |
| <b>Figura 81.</b> Energía diaria de sismos por tipo en Azuftral, marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado   | 86 |
| <b>Figura 82.</b> Localizaciones de sismos VT en Azuftral, abril del 2022  | 86 |
| <b>Figura 83.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2022  | 87 |
| <b>Figura 84.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna, Lobo, Roca y Ventana instaladas en Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK               | 88 |
| <b>Figura 85.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azuftral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base   | 89 |
| <b>Figura 86.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada                | 90 |
| <b>Figura 87.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Azuftral   | 91 |
| <b>Figura 88.</b> Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), juntamente con el registro de lluvia, instalado en la parte alta del volcán Azuftral  | 92 |
| <b>Figura 89.</b> Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), para el mes de abril de 2022, con el promedio móvil, graficada en la serie amarilla superpuesta, juntamente con el sensor de lluvia (azul) ubicado en la zona de influencia del volcán Azuftral | 92 |
| <b>Figura 90.</b> Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)   | 93 |
| <b>Figura 91.</b> Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azuftral. Diciembre de 2021 – abril de 2022 (región sombreada: abril)   | 94 |
| <b>Figura 92.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azuftral registradas el 1 de abril de 2022 a las 6:05 a.m., (izquierda) y el 2 de abril de 2022 a las 7:55 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán                               | 95 |
| <b>Figura 93.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azuftral registradas el 3 de abril de 2022 a las 10:55 a.m., (izquierda) y el 4 de abril de 2022  |    |

|  |    |
|--|----|
| a las 7:55 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán  | 96 |
| <b>Figura 94.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 5 de abril de 2022 a las 2:40 p.m., (izquierda) y el 7 de abril de 2022 a las 7:00 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán    | 96 |
| <b>Figura 95.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 8 de abril de 2022 a las 2:15 p.m., (izquierda) y el 9 de abril de 2022 a las 3:35 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán    | 96 |
| <b>Figura 96.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 11 de abril de 2022 a las 8:05 a.m., (izquierda) y el 17 de abril de 2022 a las 4:55 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán  | 97 |
| <b>Figura 97.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 18 de abril de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y el 19 de abril de 2022 a las 10:15 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán | 97 |
| <b>Figura 98.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 20 de abril de 2022 a las 10:35 a.m., (izquierda) y el 21 de abril de 2022 a las 8:35 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán | 97 |
| <b>Figura 99.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 26 de abril de 2022 a las 9:30 a.m., (izquierda) y el 27 de abril de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán  | 98 |
| <b>Figura 100.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 28 de abril de 2022 a las 4:15 p.m., (izquierda) y el 29 de abril de 2022 a las 9:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán | 98 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Tabla 1.</b> Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de abril de 2022                             | 19   |
| <b>Tabla 2.</b> Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en abril de 2022 | 21   |



|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 3.</b> Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en abril de 2022                               | 21 |
| <b>Tabla 4.</b> Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en abril de 2022                                      | 22 |
| <b>Tabla 5.</b> Estaciones que monitorean las variaciones del campo potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras                    | 23 |
| <b>Tabla 6.</b> Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras  | 23 |
| <b>Tabla 7.</b> Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, marzo y abril 2022  | 24 |
| <b>Tabla 8.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, marzo y abril 2022  | 25 |
| <b>Tabla 9.</b> Sismos con ML entre 2.0 y 3.1, volcán Galeras, abril 2022  | 27 |
| <b>Tabla 10.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Lavas - Volcán Galeras marzo - Abril de 2022                            | 35 |
| <b>Tabla 11.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Lirios - Volcán Galeras marzo - abril de 2022                           | 36 |
| <b>Tabla 12.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Parques - Volcán Galeras marzo - abril de 2022                          | 36 |
| <b>Tabla 13.</b> Valores de temperatura en grados Celsius (° C) - Estación Térmica Deformes - Volcán Galeras marzo - abril de 2022                                     | 37 |
| <b>Tabla 14.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en abril de 2022                                     | 42 |
| <b>Tabla 15.</b> Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, marzo y abril del 2022  | 44 |
| <b>Tabla 16.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, marzo y abril del 2022  | 45 |
| <b>Tabla 17.</b> Sismo con ML de 1.5 en el CVC, abril 2022   | 46 |
| <b>Tabla 18.</b> Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro  | 57 |
| <b>Tabla 19.</b> Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro                              | 58 |
| <b>Tabla 20.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril del 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer | 59 |
| <b>Tabla 21.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022             | 60 |
| <b>Tabla 22.</b> Sismos VT con ML entre 1.2 y 2.0, Chiles - Cerro Negro, abril del 2022  | 61 |
| <b>Tabla 23.</b> Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en abril de 2022                          | 73 |
| <b>Tabla 24.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas             | 75 |
| <b>Tabla 25.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril del 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas        | 76 |
| <b>Tabla 26.</b> Sismo con ML de 1.4 en Doña Juana y Las Ánimas, abril del 2022  | 76 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 27.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de abril de 2022 | 84 |
| <b>Tabla 28.</b> Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022                      | 85 |
| <b>Tabla 29.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022                     | 85 |
| <b>Tabla 30.</b> Sismos con ML de 1.3 y 1.5, volcán Azufral, abril 2022  | 87 |
| <b>Tabla 31.</b> Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral marzo - abril de 2022           | 94 |
| <b>Tabla 32.</b> Datos parámetros estación climatológica La Roca – abril de 2022                               | 95 |

## RESUMEN

Para el mes de abril de 2022 y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó incremento en la ocurrencia sísmica, pasando de 148 a 203 eventos, 192 de ellos asociados con fractura de roca. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 2 y 3 de abril, respectivamente con 45 y 23 eventos. En abril del 2022 la energía liberada por la sismicidad disminuyó el 88% del valor registrado en marzo del 2022, pasando de  $1.62 \times 10^{14}$  ergios a  $1.99 \times 10^{13}$  ergios. La mayoría de los eventos se ubicaron al noreste de la cima de Galeras, a distancias entre 0.6 y 6 km, con profundidad entre 4 y 8 km, con ML máxima de 3.1 Richter. El evento de mayor energía se registró el 2 de abril, a las 04:21 p.m., se ubicó a 3.6 km al noreste del cono activo de Galeras, con profundidad de 5 km y magnitud local de 3.1 Richter, se reportó sentido en Pasto y la zona de influencia volcánica.

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico de Cumbal disminuyó en un 9% en comparación con el mes de marzo de 2022. Con un total para este periodo de 1941 eventos, donde el 83% está asociado con fractura al interior del volcán, seguida por la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con el 12% del total. El pico de ocurrencia se registró el 9 de abril con 158 eventos. La gran mayoría de los sismos se ubicaron en la cima y en el cuadrante suroriental del Complejo Volcánico, en distancias entre cero y 6 km, en profundidades menores de 3 kilómetros, con respecto al cráter La Plazuela y con ML máxima de 1.5 Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en abril se incrementó un 19% de lo reportado en marzo de 2022, pasando de 181 a 215 eventos. Los eventos VT con 111 sismos representan el 52% del total, seguido por los eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos con 104 sismos. El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 28 de abril, con 28 eventos. La mayoría de los sismos se ubicaron en el cuadrante suroccidental del volcán Chiles y suroriental del volcán Cerro Negro, en general, en distancias entre 0.5 y 4.5 km, profundidades entre 1.5 y 5 km con respecto a la cima de Chiles y con ML máxima de 2.0 Richter.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas para abril, mostraron niveles bajos en el número de sismos con un total de 5 eventos, asociados con fractura de roca, fue posible localizar 4 sismos VT de baja energía, ubicados en el sector suroccidental del volcán Las Ánimas, en distancias entre 3 y 5 km, con profundidades entre 4 y 6 km con respecto a su cima y con ML máxima de 1.4 Richter.

En abril de 2022, la sismicidad del volcán Azufral incremento su ocurrencia pasando de 33 a 42 sismos, de los cuales 35 están asociados con fractura de roca, el pico de ocurrencia sísmica se registró en los días 24 y 25 de abril con 6 eventos VT. La mayoría de los sismos se ubicaron dispersos en la zona de influencia del volcán Azufral, en distancias entre 0.4 y 19 km, con profundidades entre 2.5 y 19 km, con respecto a la cima y ML máxima de 1.5 Richter.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del periodo evaluado, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Azufral, Doña Juana y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas geofísicas y geoquímicas. Cambios en el comportamiento de la actividad que son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y que pueden ser provocados por procesos hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de presión-temperatura en el sistema volcánico, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza, movimiento de material fluido (magma, volátiles o gases) desde niveles más profundos a reservorios más someros o a la superficie misma.

El análisis presentado en este informe corresponde a los resultados preliminares derivados a partir del procesamiento primario de los datos instrumentales y de las observaciones directas de la actividad volcánica. Se realiza también una recopilación del funcionamiento de los equipos que conforman la red de monitoreo volcánico en sus diferentes áreas.

## **1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL DE 2022**

### **1.1 Red de Vigilancia**

Para el mes de abril de 2022, la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Diecisiete estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de corto periodo y quince de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Seis sensores de infrasonido (Figura 1, Tabla 1).
- Cinco cámaras de video telemétricas para registro de la actividad superficial, una instalada en la sede del OVSP, otra en la población de Consacá al occidente, otras al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo y otra, en Morasurco (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Once estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital) telemétricas (Figura 2, Tabla 3).
- Cinco bases de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Dos estaciones para monitoreo y seguimiento térmico Paisita y Deformes.
- Dos estaciones telemétricas para monitoreo de flujos de lodos, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 2).
- Tres estaciones ScanDOAS telemétricas para detección de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (Figura 3, Tabla 4).
- Un sensor de CO<sub>2</sub> - Parques.
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Deformes, Frailejón y Barranco y dos estaciones de medición de campo eléctrico en Frailejón y Barranco (Figura 3, Tabla 5).

- Tres estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón ( $Rn_{-222}$ ) proveniente del suelo denominadas Lavas 1, Parques y Lirios ubicadas hacia el sector oriental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 6).

La red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 90% (Figura 4).

**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de abril de 2022

| Estación   | Código | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor           | Componente | Distancia al Cráter (Km) | Dirección Respecto al Cráter | Altitud (msnm) |
|------------|--------|----------------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------------------------|----------------|
| Cóndor     | COND   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 4,4                      | SW                           | 3977           |
| Calabozo   | CAVZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 6,9                      | WSW                          | 2313           |
| Morasurco  | MORZ   | Digital              | Sismómetro Corto Período | Triaxial   | 13,7                     | ENE                          | 3504           |
| Anganoy    | ANGV   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 0,7                      | E                            | 4227           |
| Cufiño     | CUVZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 1,4                      | ENE                          | 3828           |
| Cráter     | CRAZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 1,5                      | SW                           | 4032           |
| Urcunina   | URCR   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 2,4                      | ESE                          | 3494           |
| Arlés      | ARLZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 4                        | WNW                          | 3450           |
| Cobanegra  | COB3   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 4,3                      | SSE                          | 3625           |
| Nariño     | NR2Z   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 5,2                      | NNW                          | 2856           |
| Obonuco    | OBVR   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 5,4                      | SE                           | 3021           |
| Ingenio    | INGZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 7                        | WNW                          | 2890           |
| San Felipe | SNFZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 7,6                      | SW                           | 3491           |
| Tosoabí    | TOSZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 10,6                     | ENE                          | 2898           |
| ViviOVSP   | VSGC   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 11,44                    | SE                           | 2622           |
| Achalay    | ACHA   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 0,6                      | N                            | 4134           |
| Loma Larga | LOMZ   | Digital              | Sismómetro Corto Período | Uniaxial   | 14,2                     | NNO                          | 2393           |
| Cóndor     | CONA   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 4,4                      | SW                           | 3977           |
| Cráter     | CRAC   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 1,5                      | S                            | 4032           |
| Cráter2    | CR2C   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 1,5                      | S                            | 4032           |
| Calabozo   | CAMI   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 6,9                      | WSW                          | 2313           |
| Calabozo2  | CA2P   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 6,9                      | WSW                          | 2313           |
| Ingenio    | INGE   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 7                        | WNW                          | 2890           |
| Ingenio2   | ING2   | Digital              | Sensor de infrasonido    | Uniaxial   | 7                        | WNW                          | 2890           |

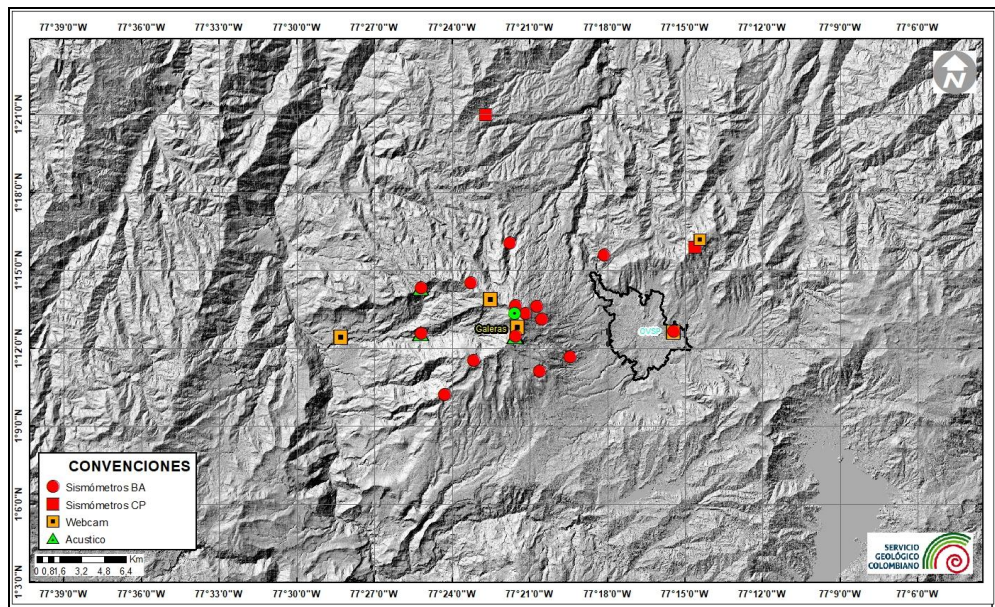


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022

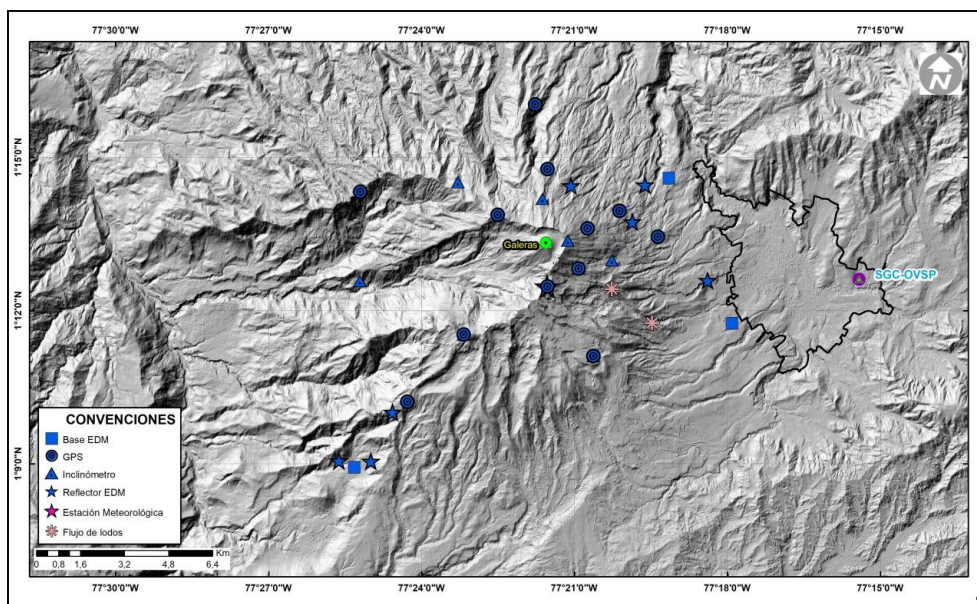


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022

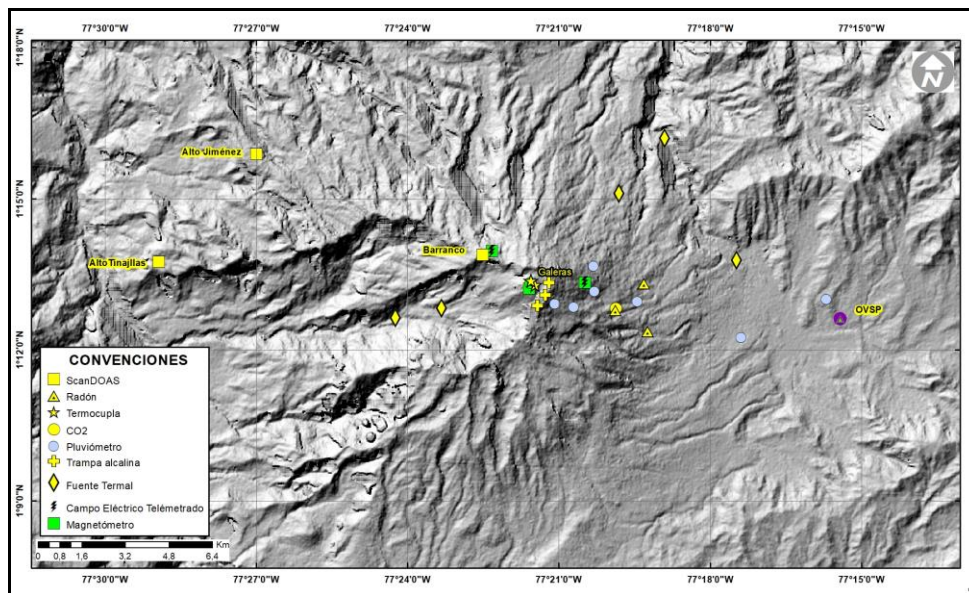


**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en abril de 2022

| <b>Inclínómetros Electrónicos</b> | <b>Distancia al Cráter (Km)</b> | <b>Ubicación Respecto al Cráter Principal</b> | <b>Altitud (msnm)</b> |
|-----------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------|
| Cráter                            | 0,8                             | E   | 4060                  |
| Peladitos                         | 1,4                             | SE  | 3850                  |
| Huairatola                        | 1,7                             | N   | 3745                  |
| Urcunina                          | 2,3                             | ESE   | 3494                  |
| Cobanegra                         | 3,9                             | SSE   | 3625                  |
| Arlés                             | 4                               | NW  | 3450                  |
| Cóndor                            | 4,9                             | SW  | 3985                  |
| Calabozo                          | 7,1                             | WSW   | 2350                  |

**Tabla 3.** Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en abril de 2022

| <b>Estaciones GNSS Permanentes</b> | <b>Distancia al Cráter (Km)</b> | <b>Ubicación Respecto al Cráter Principal</b> | <b>Altitud (msnm)</b> |
|------------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------|
| Cráter                             | 1.5                             | S   | 4048                  |
| Cóndor                             | 7.6                             | SW  | 3985                  |
| Barranco                           | 2.6                             | NW  | 3904                  |
| San Cayetano                       | 4.1                             | E   | 3035                  |
| Ingenio                            | 7                               | WNW   | 2907                  |
| Cufiño                             | 1.4                             | E   | 3827                  |
| Peladitos                          | 1.4                             | SE  | 3850                  |
| Nariño                             | 5                               | N   | 2870                  |
| Cóndor Pasto                       | 4.9                             | SW  | 3985                  |
| Cobanegra                          | 3.9                             | SSE   | 3625                  |
| Mapachico                          | 2.9                             | NE  | 3268                  |



**Figura 3.** Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en abril de 2022

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en abril de 2022

| Estación        | Distancia al Cráter (Km) | Ángulo del Scan (°) | Altura de referencia de la pluma *(m) | Dirección compás (°contra-azimut) | Ubicación respecto al cráter | Altitud (msnm) |
|-----------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------|
| Barranco        | 7.9                      | 60                  | 1600                                  | 131                               | NNW                          | 3865           |
| Alto Jiménez    | 10.8                     | 90                  | 1800                                  | 115                               | WNW                          | 2402           |
| Alto Tinajillas | 13.3                     | 60                  | 2100                                  | 94                                | WNW                          | 2095           |

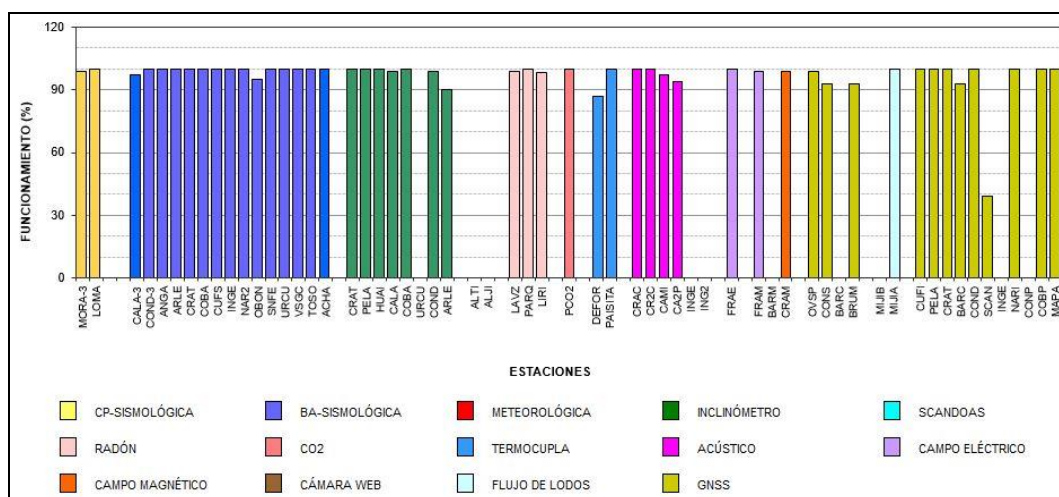
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm)

**Tabla 5.** Estaciones que monitorean las variaciones del campo potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras

| Estación  | Transmisión de datos | Tipo de Sensor | Componente | Distancia al Cráter (Km) | Dirección Respecto al Cráter Principal | Altitud (msnm) |
|-----------|----------------------|----------------|------------|--------------------------|--|----------------|
| Frailejón | Digital              | Eléctrico      | Biaxial    | 2,7                      | E                                      | 3727           |
| Barranco  | Digital              | Eléctrico      | Biaxial    | 2                        | NW                                     | 3800           |
| Frailejón | Digital              | Magnético      | Triaxial   | 2,7                      | E                                      | 3727           |
| Barranco  | Digital              | Magnético      | Triaxial   | 2                        | NW                                     | 3800           |
| Deformes  | Digital              | Magnético      | Triaxial   | 1,9                      | SSE                                    | 4001           |
| Cráter    | Digital              | Magnético      | Triaxial   | 1,5                      | SW                                     | 4016           |

**Tabla 6.** Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras

| Estación | Distancia al Cráter (km) | Ubicación respecto al Cráter Principal | Altitud (msnm) |
|----------|--------------------------|--|----------------|
| Parques  | 3,6                      | ESE                                    | 3330           |
| Lavas    | 4,5                      | NE                                     | 3260           |
| Lirios   | 4,7                      | ESE                                    | 3053           |



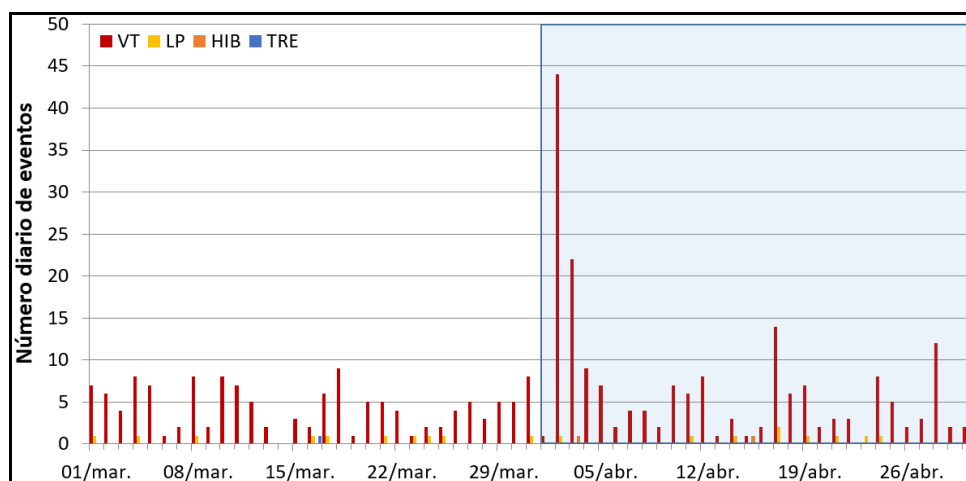
**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en abril de 2022

## 1.2 Sismología

En abril 2022 la ocurrencia sísmica se incrementó 37% en comparación con marzo, pasando de 148 a 203 eventos, 192 de ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), que representan el 95%, 9 asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LPS), que representan el 4% y dos eventos de tipo híbrido (HIB) que representan el 1% restante. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 2 y 3 de abril, respectivamente con 45 y 23 eventos, la gran mayoría de tipo VT (Tabla 7, Figura 5).

**Tabla 7.** Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, marzo y abril 2022

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Marzo 2022          | 137                        | 10  | 1   | 0   | 148   |
| Abril 2022          | 192                        | 9   | 0   | 2   | 203   |



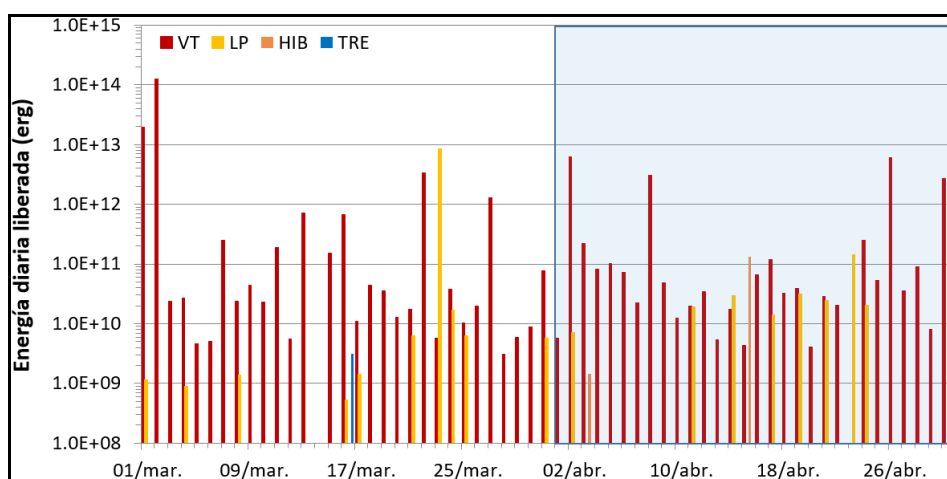
**Figura 5.** Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante marzo y abril 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

La energía liberada por la sismicidad disminuyó 88% su valor, pasando de  $1.62 \times 10^{14}$  ergios a  $1.99 \times 10^{13}$  ergios. El mayor aporte energético provino de los eventos asociados con fractura de roca VT, con  $1.95 \times 10^{13}$  ergios que corresponden al 98%, seguida de los eventos LP con  $2.89 \times 10^{11}$  ergios que corresponden al 1% y de los eventos HIB con  $1.32 \times 10^{11}$  ergios que corresponden al 1% (Tabla 8 y Figura 6). Se registraron dos picos de energía, el primero el 2 de abril con  $6.29 \times 10^{12}$  ergios, debida a 44 eventos de tipo VT y un evento de tipo LP, uno de los VT con ML de 3.1 Richter; el segundo pico energético

se registró el día 26 de abril con  $6.04 \times 10^{12}$  ergios, debida a 2 eventos de tipo VT, uno de ellos con ML de 2.1 Richter.

**Tabla 8.** Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, marzo y abril 2022

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |          |          |          |          |
|---------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                     | VT                         | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Marzo 2022          | 1.54E+14                   | 8.52E+12 | 3.13E+09 | 0.00E+00 | 1.62E+14 |
| Abril 2022          | 1.95E+13                   | 2.89E+11 | 0.00E+00 | 1.32E+11 | 1.99E+13 |



**Figura 6.** Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante marzo y abril del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

Se localizaron 93 sismos VT, destacándose un grupo de 53 eventos, ubicado al noreste de la cima de Galeras, a distancias entre 0.6 y 6 km, con profundidad entre 4 y 8 km, con ML máxima de 3.1 Richter. En general el resto de los sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en distancias entre 1 y 23 km, con profundidades entre 0.5 y 17 km con respecto a su cima (4200 msnm) y magnitud local máxima de 2.1 Richter (Figura 7). La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 3 eventos VT con ML de 3.1, 2.1 y 2.0 Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características. El evento de mayor energía se registró el 2 de abril, a las 04:21 pm hora local, se ubicó a 3.6 km al noreste del cono activo de Galeras, con profundidad de 5 km y magnitud local de 3.1 Richter, se reportó sentido en Pasto y la zona de influencia volcánica (Figura 7).

En la Figura 8 se muestra los sismogramas y espectros en frecuencia de dos eventos de baja energía, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con características de Tornillo, registrados respectivamente en abril 11 a las 12:29 hora local y en abril 23 a las 7:46 hora local; sus espectros en frecuencia presentan picos dominantes en 2.1 Hz y

9.0 Hz en la estación Anganoy (Figura 8). Las características de estos eventos indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados con el sistema hidrotermal del volcán Galeras.

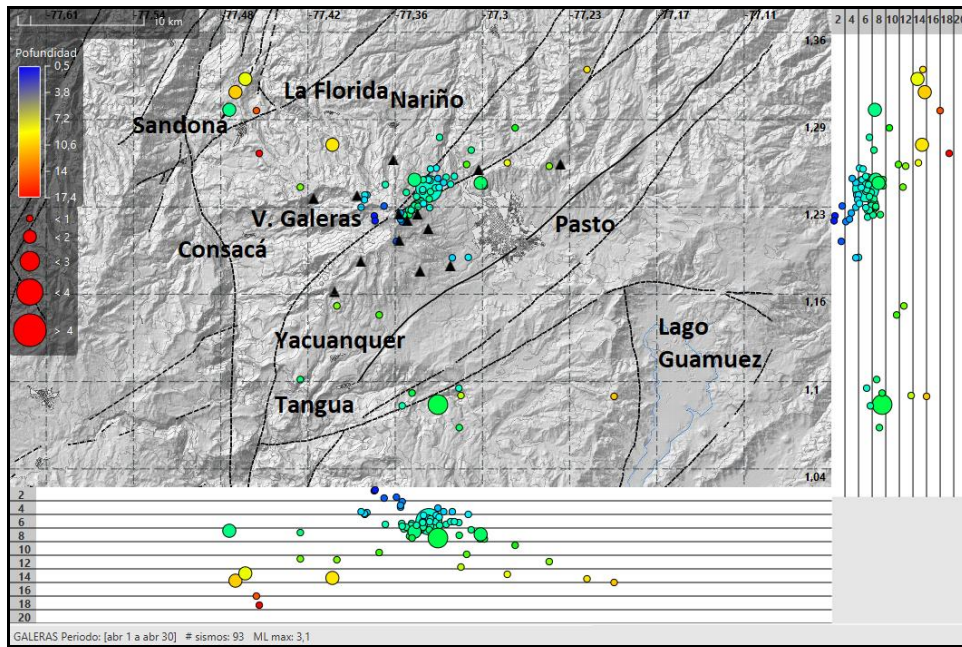


Figura 7. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, abril 2022

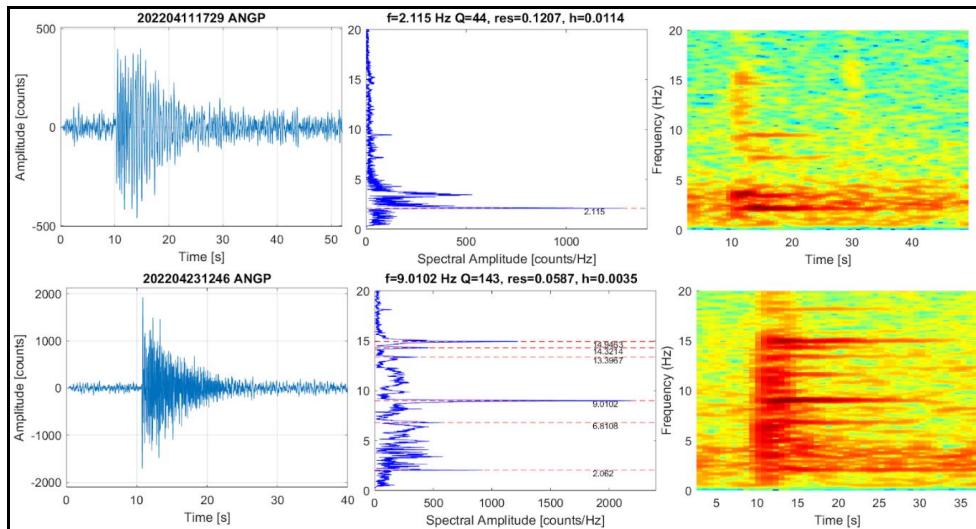


Figura 8. Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de abril del 2022 en la componente vertical de la estación Anganoy del volcán Galeras



**Tabla 9.** Sismos con ML entre 2.0 y 3.1, volcán Galeras, abril 2022

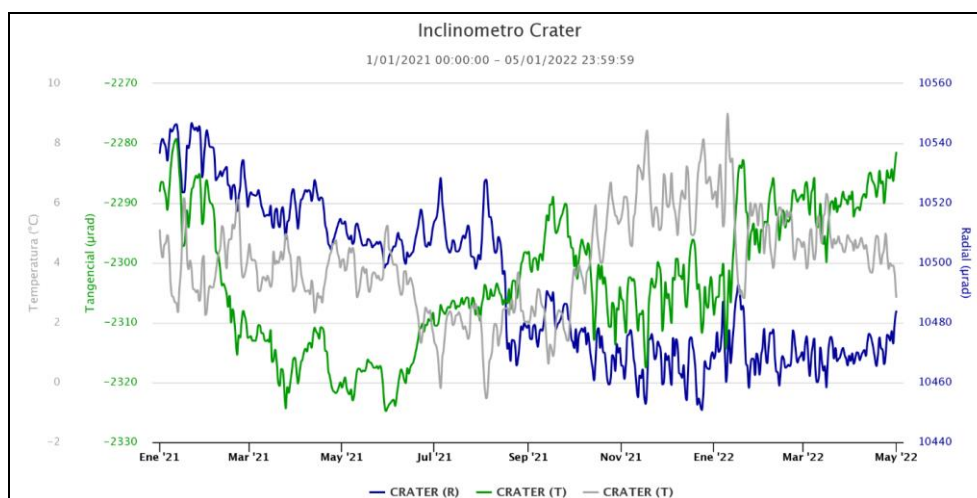
| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud  | Prof. km | ML  |
|------------|------------|---------|-----------|----------|-----|
| 02/04/2022 | 16:21:22   | 1.24183 | -77.33350 | 5        | 3.1 |
| 26/04/2022 | 23:48:52   | 1.08267 | -77.32717 | 8        | 2.1 |
| 30/04/2022 | 23:29:12   | 1.30017 | -77.47583 | 6        | 2.0 |

### 1.3 Deformación

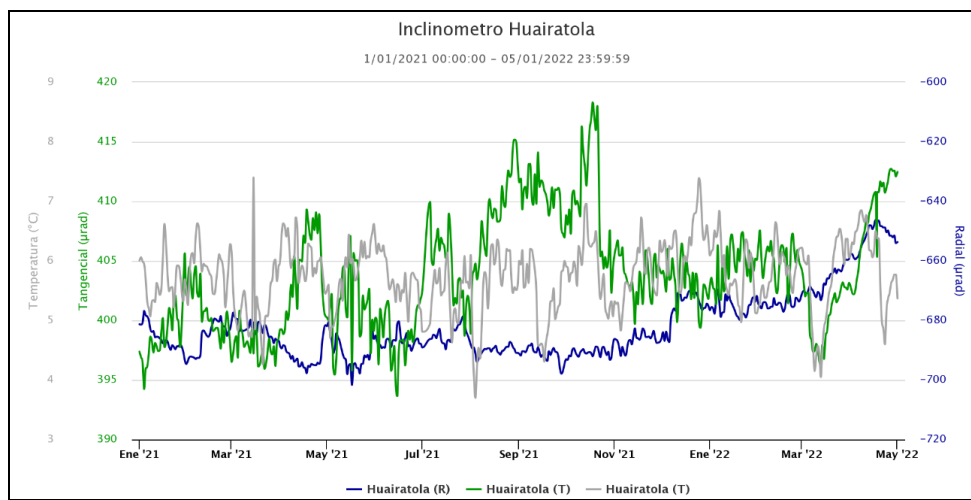
Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 10 estaciones GNSS Permanentes telemétricas.

#### 1.3.1 Inclinometría Electrónica

Las componentes de inclinación de las estaciones que forman parte de la red de deformación continúan con tendencias estables, con variaciones que pueden estar asociadas con las condiciones climáticas imperantes en la zona. A excepción de la estación Huairatola, donde se observa un comportamiento ascendente en una de las componentes. En las Figuras 9 y 10 se muestra el comportamiento de las estaciones Cráter y Huairatola.



**Figura 9.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022



**Figura 10.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022

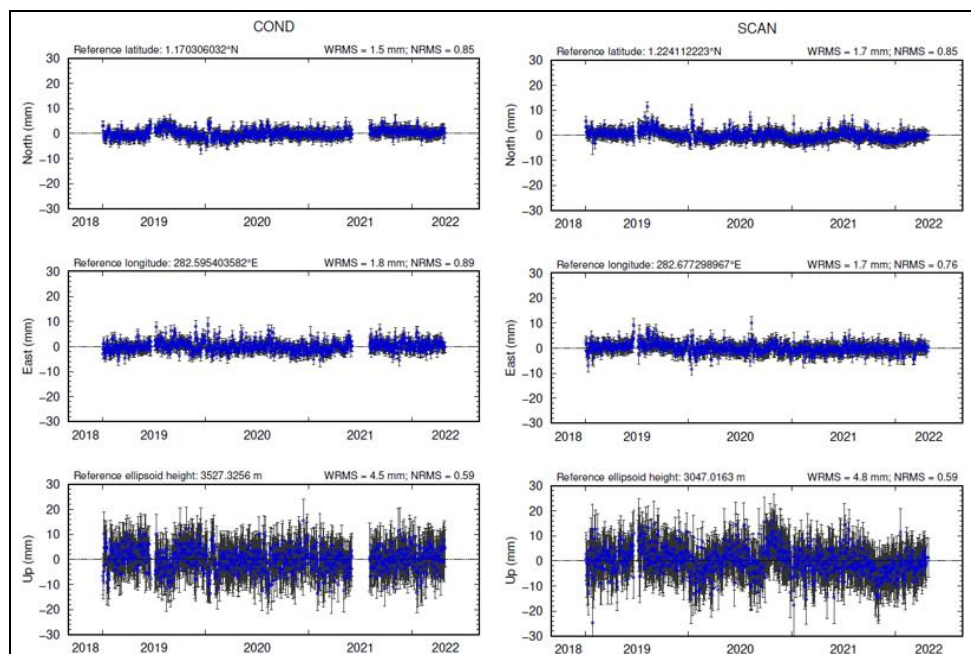
### 1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 10 estaciones permanentes, Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cónдор se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico. Desafortunadamente el 4 de septiembre de 2019 personas inescrupulosas sustrajeron del sitio de instalación los equipos de la estación GNSS Chiguaco, ubicada al norte del volcán. De igual forma en el mes de enero de 2022 sustrajeron del sitio de instalación equipos de la estación GNSS El Ingenio, al noroccidente del cráter volcánico.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo.

Las estaciones que forman parte de la red de GNSS en el volcán Galeras continúan mostrando tendencias estables en las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 11, se presenta el comportamiento de las estaciones GNSS de Cónдор y San Cayetano.

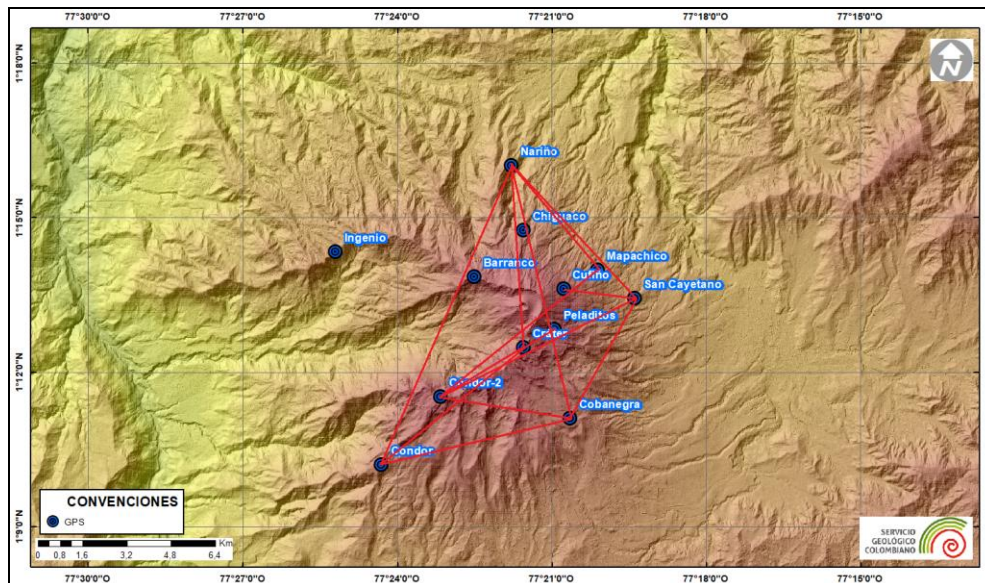




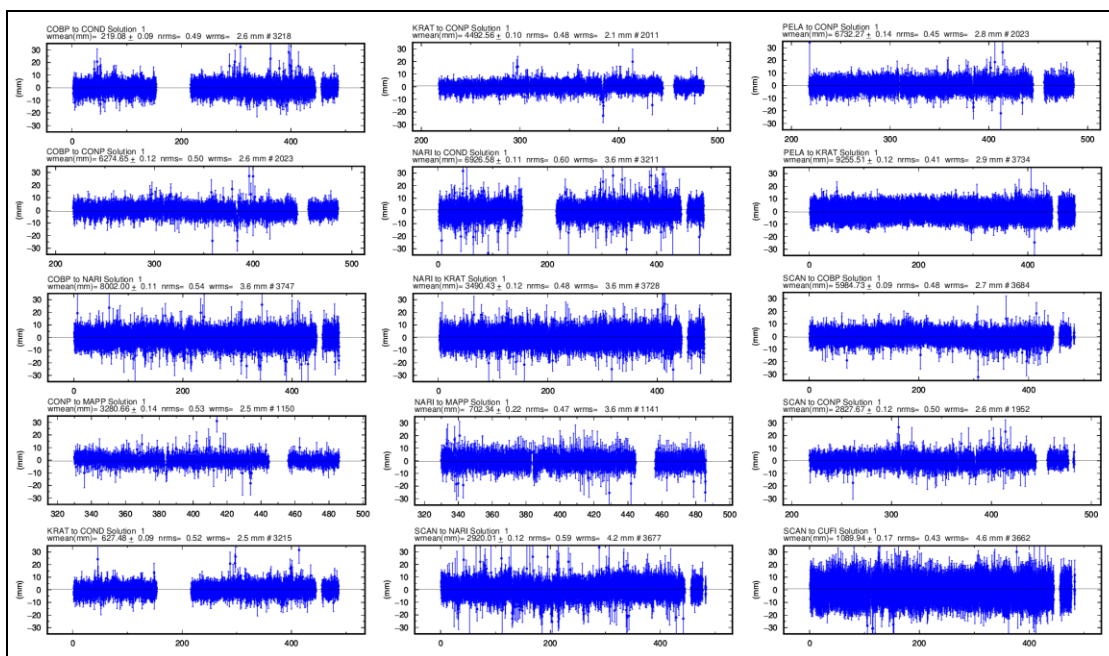
**Figura 11.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cónдор y San Cayetano, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

### Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 12, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 13, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 12.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base



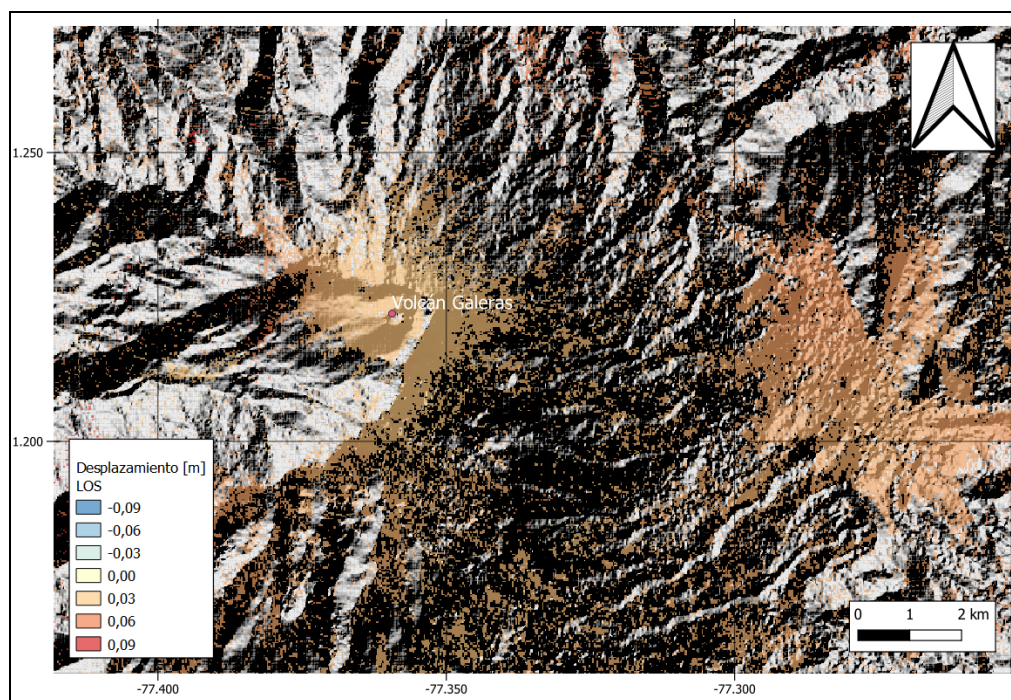
**Figura 13.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

### 1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

### 1.3.4 D\_InSAR

En la Figura 14, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona del volcán Galeras obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 14.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Galeras

## 1.4 Electromagnetismo

En abril de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras se realizó usando la información de las estaciones Frailejón (FRA) y Deformes (DEF), que cuentan con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Se ha tomado también la información de una estación de referencia llamado Kourou (KOU), ubicada en

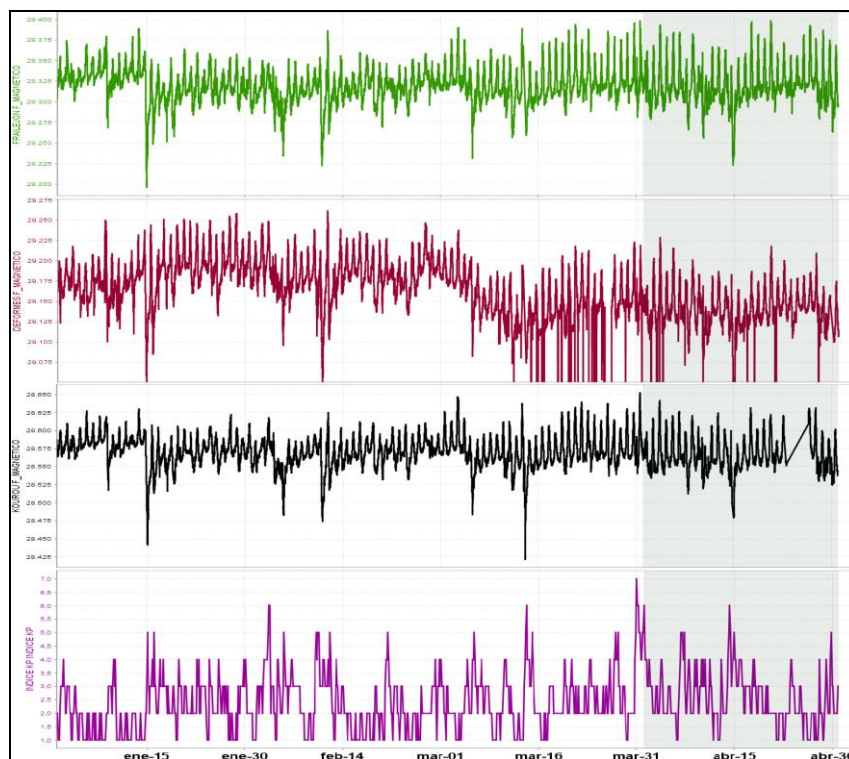
Guayana Francesa; para tratar de identificar efectos externos a la zona volcánica. El sensor de campo eléctrico instalado en la estación FRA, aún no ha podido registrar por falta de sistema de digitalización.

En el periodo entre enero y abril de 2022, se evidencia que el comportamiento de las series de tiempo, de las estaciones monitoreadas, mostraron una tendencia promedio estable; con un valor de campo magnético total (CMT F) de alrededor de 28.315 nT en FRA y de alrededor de 29.140 nT en DEF; en tanto que la estación de referencia KOU, tuvo un valor promedio de alrededor de 28.560 nT.

A mediados de abril el comportamiento de las series de tiempo estuvo significativamente afectado por variaciones importantes tanto en amplitud como en frecuencia. Estas variaciones se asociaron con el fenómeno ocurrido en el clima espacial y que se originan por las llamaradas o eyecciones de masa del núcleo del Sol (Coronal Mass Ejection - CME), que son grandes expulsiones de masa o plasma y campo magnético del núcleo del sol, que se producen en los periodos de mayor actividad solar. Esos fenómenos ocurren con regularidad. Las velocidades de estas CME viajan a velocidades que van desde menos de 250 kilómetros por segundo (km/s) hasta cerca de 3.000 km/s, por lo que pueden llegar a nuestro planeta en términos de 15-18 horas, y las perturbaciones más lentas pueden tardar varios días en llegar.

Estas CME producen fenómenos como tormentas solares y tormentas geomagnéticas que ocurren en la atmosfera superior de la Tierra y afectan los datos registrados en los sensores magnéticos instalados en inmediaciones de las zonas volcánicas de estudio, mostrando variaciones tanto en amplitud como en frecuencia, en las fechas cuando las CME llegan a la Tierra. En los sensores magnéticos de FRA, DEF e incluso en el de la estación de referencia KOU es evidente la afectación de estas tormentas, que se pueden ver en los registros del índice Kp que mide la intensidad de estas tormentas geomagnéticas (Figura 15). Para el periodo entre enero a abril de 2022, la intensidad de las tormentas geomagnéticas, estuvieron en un rango entre 1 a 7; para el periodo evaluado la de mayor intensidad se presentó el 14 de abril (Kp 6). Se hace evidente la perturbación que estas tormentas de alto índice Kp ejercen sobre los registros, modificando el nivel base de las series de tiempo de las estaciones, así como también su amplitud y la frecuencia (Figuras 15 y 16).



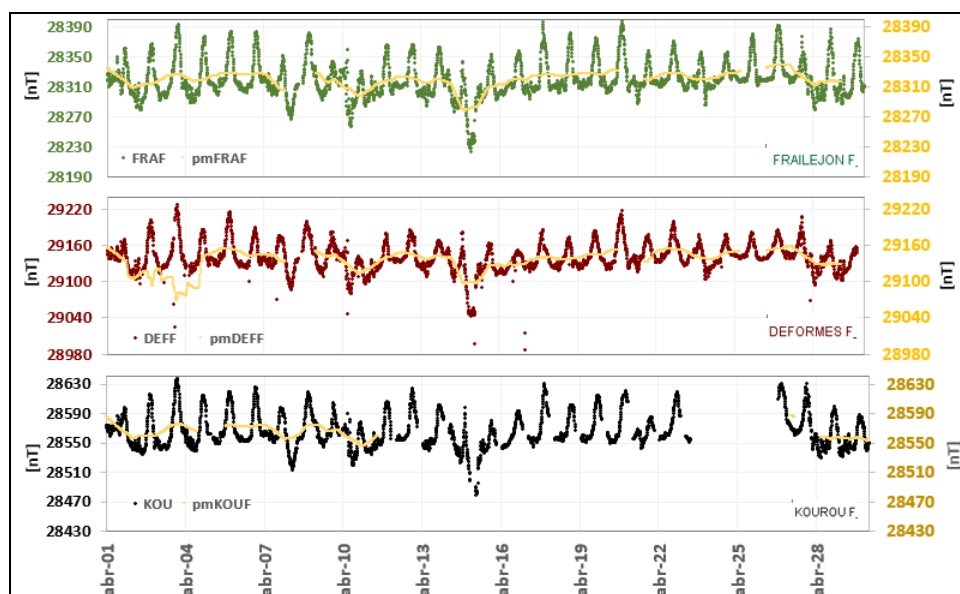


**Figura 15.** CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre enero y abril de 2022

Las alertas de tormentas geomagnéticas las recibimos por medio del sistema de alertas del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration). Por otra parte, la estación Kourou (KOU) se ha seleccionado como estación de referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia y porque KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cercana a la zona de los volcanes de Nariño.

En el mes de abril de 2022, los fenómenos más evidentes en los registros magnéticos fueron las variaciones periódicas con periodos de; un día (variaciones día/noche), 12 y 8 horas y, muy especialmente, los efectos de las perturbaciones por las tormentas geomagnéticas. En general, y tomando el valor promedio móvil de las series de tiempo para disminuir los efectos de las variaciones seculares diarias, las variaciones periódicas tuvieron amplitudes máximas de hasta 55 nT en la estación FRA, de 50 nT en DEF y de 35 nT en KOU; en las fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas (Figura

16) lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del volcán Galeras.



**Figura 16.** Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde), DEF (roja) y KOU (negra), para el mes de abril de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

## 1.5 Geoquímica

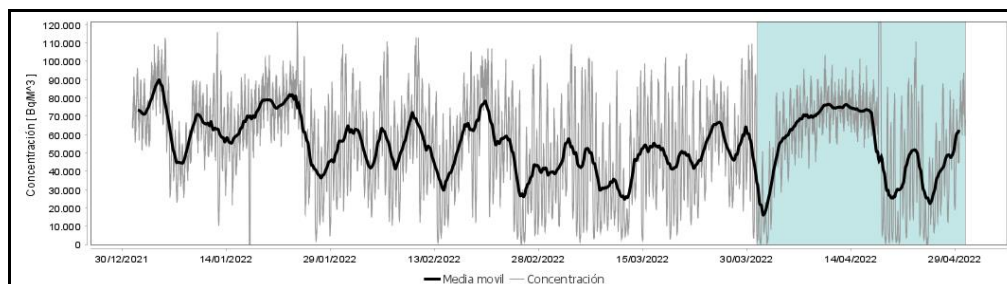
### 1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

#### 1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas, razón por la cual, en zona de influencia del volcán Galeras, se tiene instalado tres estaciones para seguimiento de este gas (Figura 3 de red de vigilancia).

El comportamiento de radón emitido desde las estaciones Lavas, Lirios y Parques, presentan oscilaciones diferentes entre sí, debido posiblemente a que se encuentran influenciadas por factores externos, tales como la temperatura, las lluvias, la porosidad del suelo, entre otros.

En la Figura 17 y Tabla 10 se presenta la información correspondiente a la estación Lavas, a pesar de la dispersión que se registra, con la línea de color negro es posible evidenciar estabilidad en el registro.

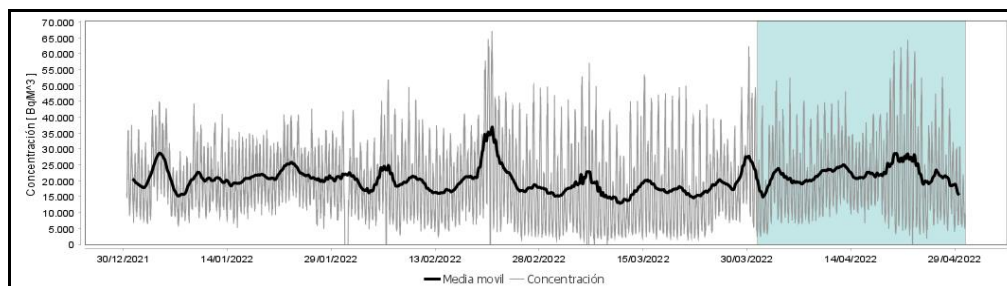


**Figura 17.** Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 10.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup> - estación Lavas - Volcán Galeras marzo - Abril de 2022

| Valor    | Marzo  | Abril  |
|----------|--------|--------|
| Mínimo   | 1260   | 1041   |
| Promedio | 46860  | 53768  |
| Máximo   | 109106 | 110797 |

En la Figura 18 y Tabla 11, se presenta la información correspondiente a la estación Lirios, la media móvil, representada en la línea de coloración negra, en general, permite evidenciar estabilidad en los valores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

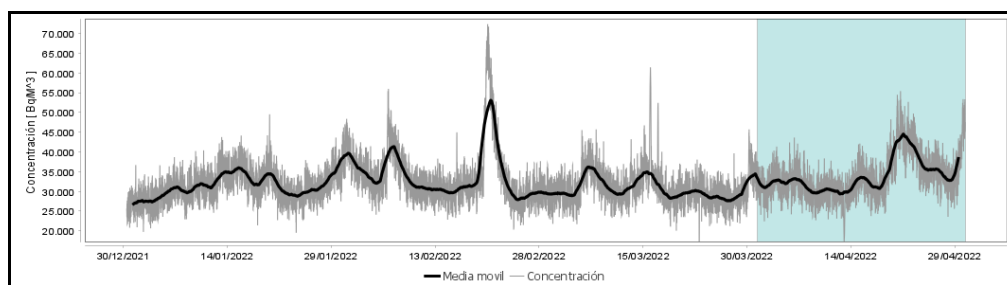


**Figura 18.** Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 11.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup>- estación Lirios - Volcán Galeras marzo - abril de 2022

| Valor    | Marzo | Abril |
|----------|-------|-------|
| Mínimo   | 1207  | 2513  |
| Promedio | 17858 | 21668 |
| Máximo   | 62353 | 64311 |

La Figura 19 y Tabla 12, muestra la información correspondiente a la estación Parques, en el periodo graficado es posible observar dos incrementos a mediados de diciembre de 2021 y mediados de febrero de 2022, en los cuales no se encontró correlación con la actividad volcánica ni tampoco con la lluvia registrada por los pluviómetros de Mijitayo, así que probablemente otros factores están influenciando en este comportamiento.



**Figura 19.** Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 12.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup>- estación Parques - Volcán Galeras marzo - abril de 2022

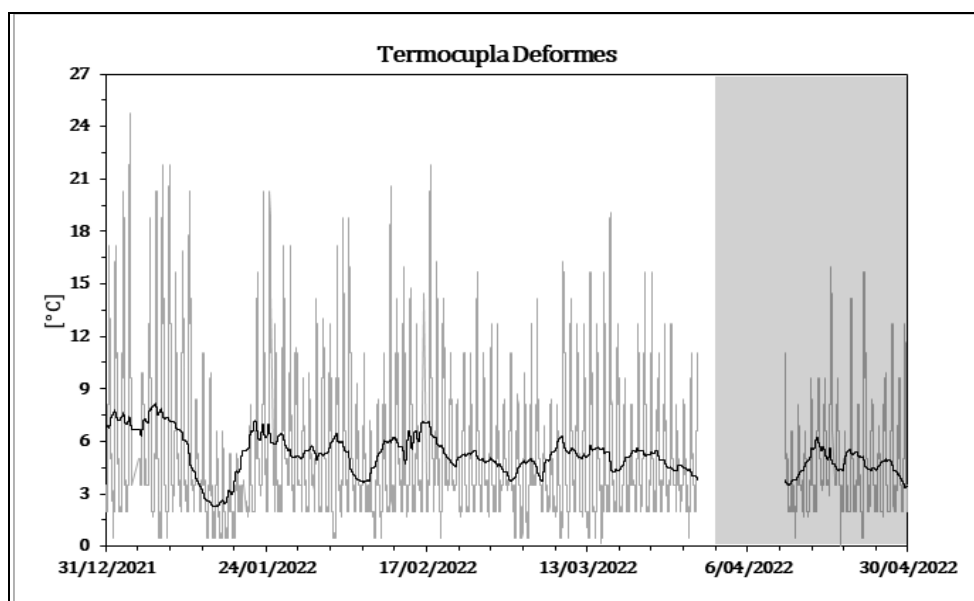
| Valor    | Marzo | Abril |
|----------|-------|-------|
| Mínimo   | 20249 | 22515 |
| Promedio | 30675 | 34000 |
| Máximo   | 46089 | 55399 |

#### 1.5.1.2 Estación Térmica Deformes

Desde agosto de 2018, en esta fumarola se tiene instalada una estación telemétrica para medida de la temperatura, sin embargo, en sitios extremos como lo son los campos fumarólicos, en donde la temperatura es elevada y el ambiente es altamente corrosivo, se hace difícil mantener en funcionamiento continuo este tipo de estaciones. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, no fue posible dejar en funcionamiento la termocupla en el campo fumarólico, razón por la cual se optó por al menos dejarla cerca para medir la temperatura ambiente y en caso de presentarse cambios



importantes, se espera que se vean reflejados en este registro, en la Figura 20 y Tabla 13, se muestra el comportamiento gráfico y la estadística básica respectivamente, los máximos se registran en el día, mientras que los mínimos en la noche, en el mes evaluado se evidencia valores dentro de la línea base que se está construyendo.



**Figura 20.** Temperatura, en grados Celsius (°C) - volcán Galeras - Estación térmica Deformes, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 13.** Valores de temperatura en grados Celsius (° C) - Estación Térmica Deformes - Volcán Galeras marzo - abril de 2022

| Valor    | Marzo | Abril |
|----------|-------|-------|
| Mínimo   | 0.2   | 0.5   |
| Promedio | 5.0   | 4.7   |
| Máximo   | 19.1  | 16.0  |

### 1.5.1.3 Muestreo de aguas en fuentes Termales

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

### 1.5.2 Pluviómetros

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

## 1.6 Actividad Superficial

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas hacia la cima desde el OVSP, por reportes de las comisiones de personal de campo y por videos e imágenes de las cámaras instaladas en el OVSP, Consacá, Barranco y Bruma.

Durante los días 3, 4, 5, 10, 11, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 26, 27 y 28 de abril de 2022 y gracias al registro principalmente de las cámaras web de Barranco y Bruma fue posible evidenciar emisión de gases. Los principales focos de emisión se ubican en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita al norte del cono activo y el cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico, columnas de color blanco, poca altura y dispersión variable por acción de los vientos.

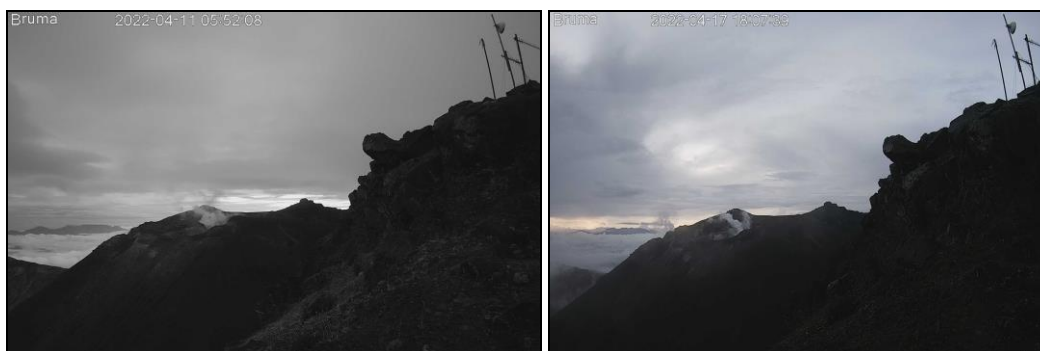
En las Figuras 21 a 27 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



**Figura 21.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 3 de abril de 2022 a las 8:40 a.m., (izquierda) y para el día 4 de abril de 2022 a las 6:33 a.m., (derecha)



**Figura 22.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 5 de abril de 2022 a las 3:16 p.m., (izquierda) y para el día 10 de abril de 2022 a las 5:00 p.m., (derecha)



**Figura 23.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de abril de 2022 a las 5:52 a.m., (izquierda) y para el día 17 de abril de 2022 a las 6:07 p.m., (derecha)



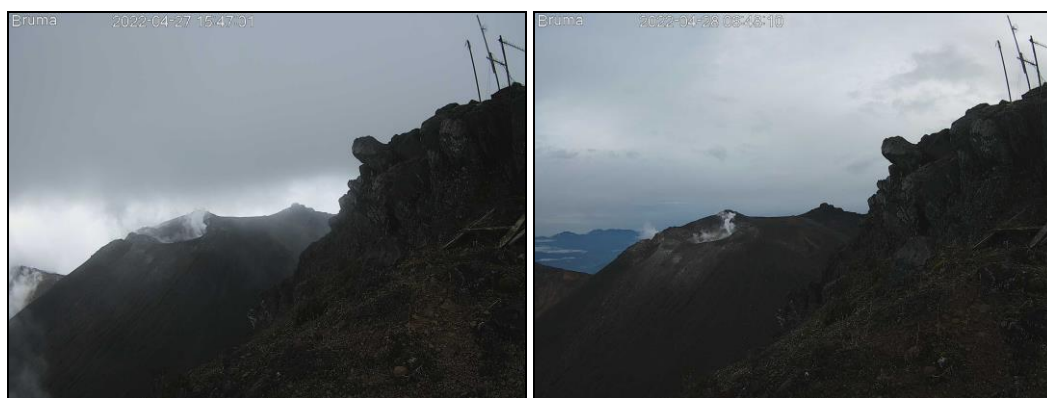
**Figura 24.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 18 de abril de 2022 a las 3:51 p.m., (izquierda) y para el día 19 de abril de 2022 a las 7:26 a.m., (derecha)



**Figura 25.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 21 de abril de 2022 a las 12:36 p.m., (izquierda) y para el día 23 de abril de 2022 a las 8:08 a.m., (derecha)



**Figura 26.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 24 de abril de 2022 a las 7:52 a.m., (izquierda) y para el día 26 de abril de 2022 a las 6:16 p.m., (derecha)



**Figura 27.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 27 de abril de 2022 a las 3:47 p.m., (izquierda) y para el día 28 de abril de 2022 a las 6:48 a.m., (derecha)

## 1.7 Conclusiones

- En abril del 2022 en el volcán Galeras se registró incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de los sismos, la mayoría de ellos asociados con fractura de material cortical, con ML máxima de 3.1 Richter, con reportes de sismo sentido en Pasto y la zona de influencia volcánica.
- El gas radón emitido y registrado en abril de 2022 se encuentra dentro de las líneas base registradas para las tres estaciones instaladas en zona de influencia del volcán Galeras.
- Se registra estabilidad en la temperatura ambiente registrada cerca a la fumarola Deformes.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en abril 2022 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

## 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ABRIL DE 2022

### 2.1 Red de Vigilancia

En abril de 2022 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

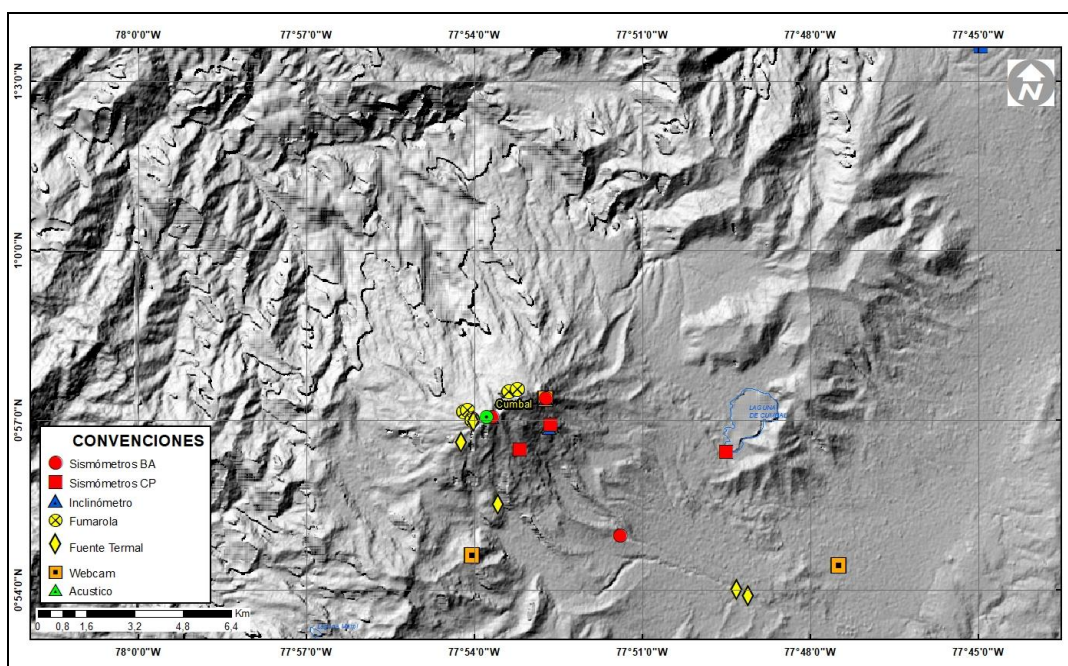
- Cinco estaciones sísmicas telemétricas: Tres de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 28, Tabla 14).
- Un sensor de presión acústica ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 28).
- Tres cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal, otra en el sitio de la estación Punta Vieja y otra, en el sector del Boliche (Figura 28).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 29, Tabla 14).



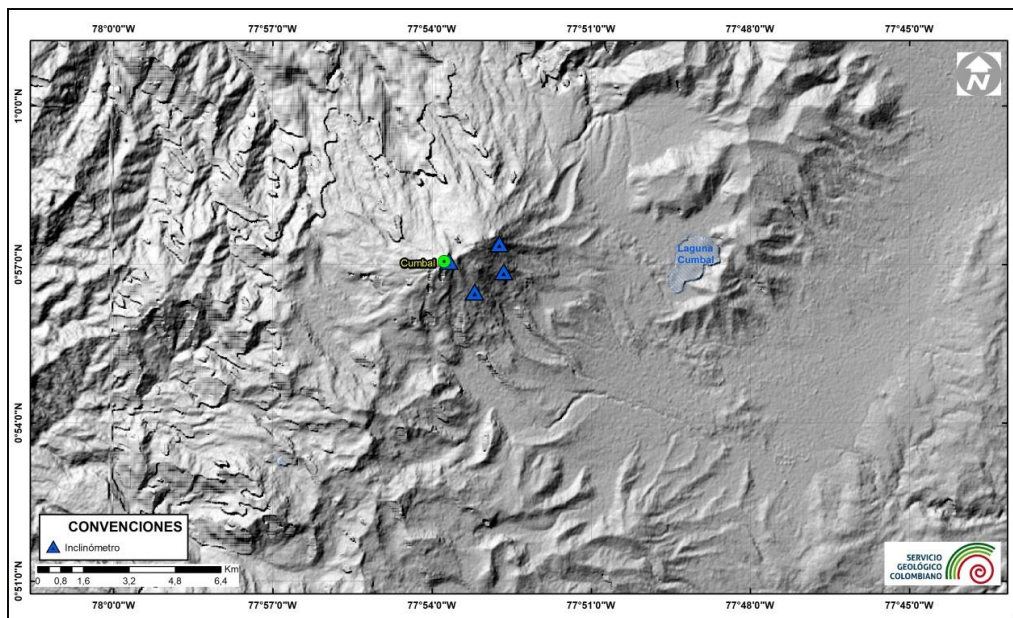
Para el periodo evaluado las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 82% (Figura 30).

**Tabla 14.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en abril de 2022

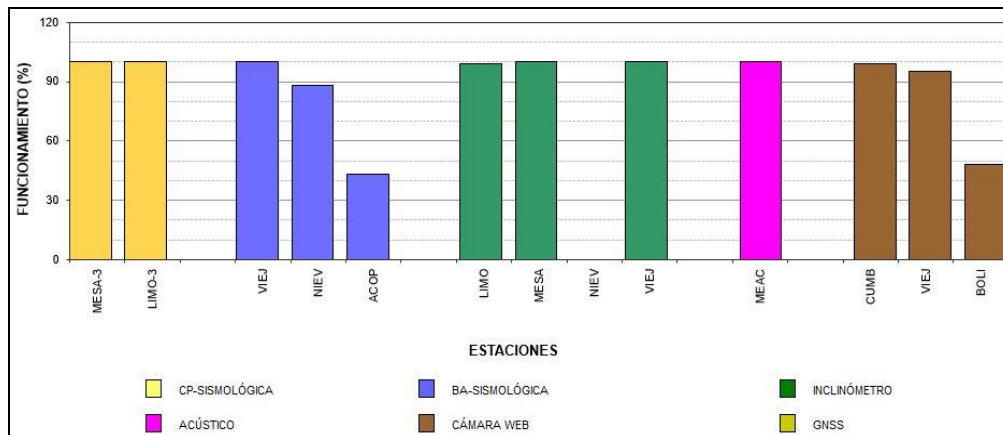
| Estación         | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor             | Componente     | Distancia al Cráter Mundo Nuevo (Km) | Ubicación Respecto al Cráter Mundo Nuevo | Altitud (msnm) |
|------------------|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------------------------|--|----------------|
| La Nieve         | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 0,2                                  | E  | 4696           |
| Limones          | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 1,5                                  | SE                                       | 4232           |
| Punta Vieja      | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 2,0                                  | NE                                       | 4519           |
| La Mesa          | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |
| Agua Colorada    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 6,1                                  | ESE                                      | 3505           |
| La Nieve         | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 0,2                                  | E  | 4696           |
| Limones          | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 1,5                                  | SE                                       | 4232           |
| Punta Vieja      | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 2,0                                  | NE                                       | 4519           |
| La Mesa          | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |
| La Mesa Acústico | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |



**Figura 28.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de abril de 2022



**Figura 29.** Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de abril de 2022



**Figura 30.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en abril de 2022

## 2.2 Sismología

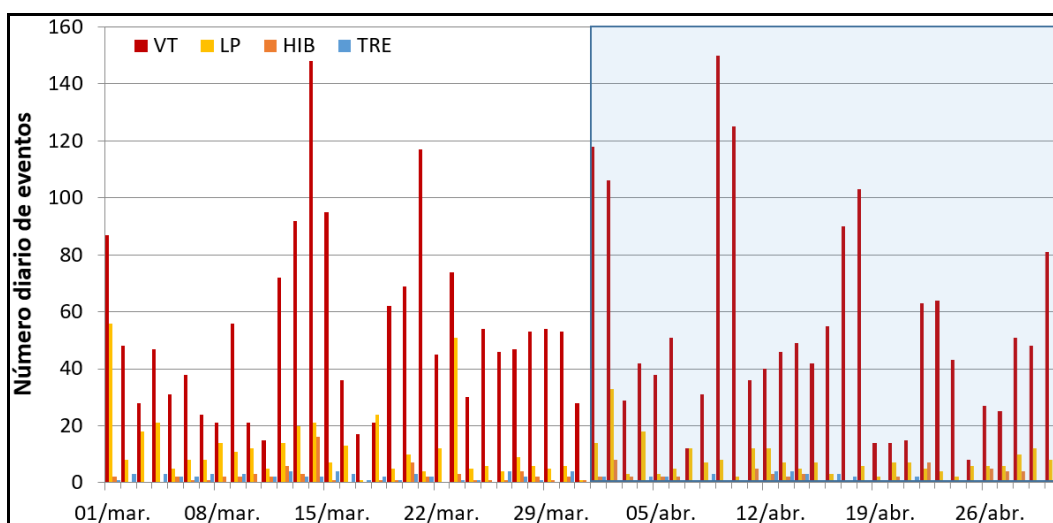
La ocurrencia sísmica en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), disminuyó un 9% en abril del 2022, pasando de 2143 a 1941 eventos, con respecto a marzo. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca de material cortical (VT) con 1616 eventos, que equivalen al 83% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LP) con 233

eventos, que representan el 12%, seguida de 55 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 3% y finalmente 37 episodios de tremor (TRE), equivalentes al 2% (Tabla 15 Figura 31). El pico de ocurrencia se registró el 9 de abril con 158 eventos (150 VT y 8 LP).

**Tabla 15.** Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, marzo y abril del 2022

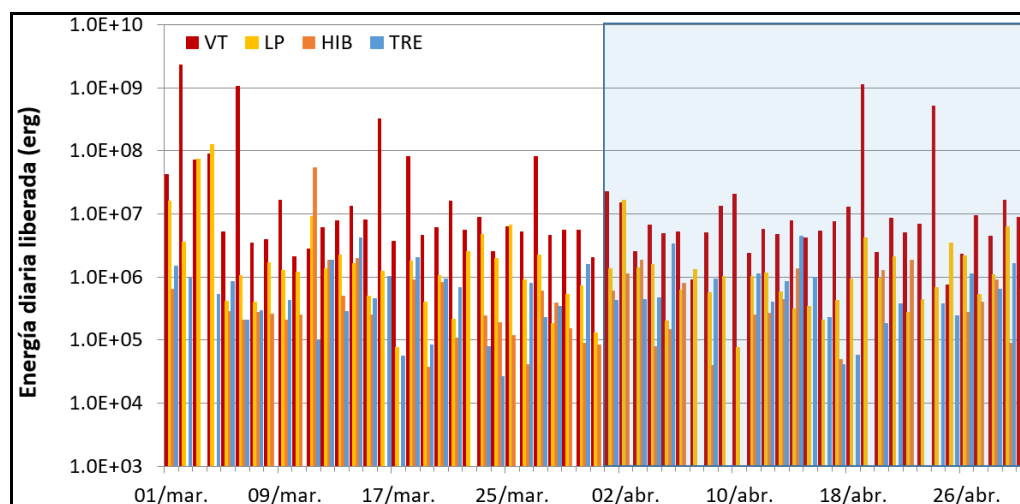
| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Marzo 2022          | 1629                       | 390 | 56  | 68  | 2143  |
| Abril 2022          | 1616                       | 233 | 37  | 55  | 1941  |

La energía sísmica liberada disminuyó 57% su valor, pasando de  $4.51 \times 10^{09}$  ergios a  $1.92 \times 10^{09}$  ergios, correspondiendo un 96% a los eventos de tipo VT con  $1.84 \times 10^{09}$  ergios, un 3% a los eventos de tipo LP con  $5.25 \times 10^{07}$  ergios, un 1% a los episodios de TRE con  $1.83 \times 10^{07}$  ergios y el restante 1% corresponde a la energía de los eventos de tipo HIB con  $1.18 \times 10^{07}$  ergios. El pico energético se presentó el 19 de abril, con  $1.12 \times 10^{09}$  ergios (Tabla 16, Figura 32).



**Figura 31.** Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado





**Figura 32.** Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante marzo y abril del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

**Tabla 16.** Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, marzo y abril del 2022

| Periodo<br>Evaluado | Energía de eventos volcánicos por tipo |          |          |          |          |
|---------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                     | VT                                     | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Marzo 2022          | 4.16E+09                               | 2.66E+08 | 1.95E+07 | 6.43E+07 | 4.51E+09 |
| Abril 2022          | 1.84E+09                               | 5.25E+07 | 1.83E+07 | 1.18E+07 | 1.92E+09 |

Se localizaron 148 sismos de baja energía, la gran mayoría ubicados en la cima y en el cuadrante suroriental del Complejo Volcánico de Cumbal, en distancias entre cero y 6 km, en profundidades menores de 3 kilómetros, con respecto al cráter La Plazuela (4700 m) y con ML máxima de 0.7 Richter. Solamente 4 sismos se ubicaron dispersos en la zona de influencia del CVC, en general en distancias entre 2.4 y 9 km con profundidades menores de 8 km con respecto a la altura del cráter La Plazuela (4700 m) y ML máxima de 1.5 Richter (Figura 33). La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, solamente se destaca el sismo con ML de 1.5 Richter y en la Tabla 17 se consignan sus características de localización.

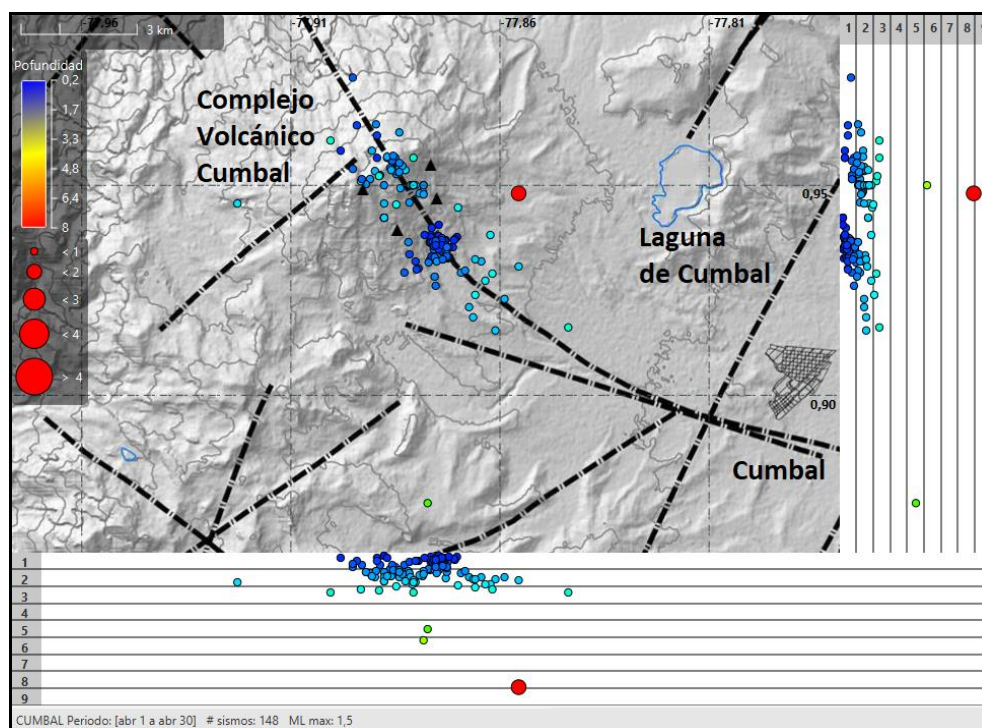
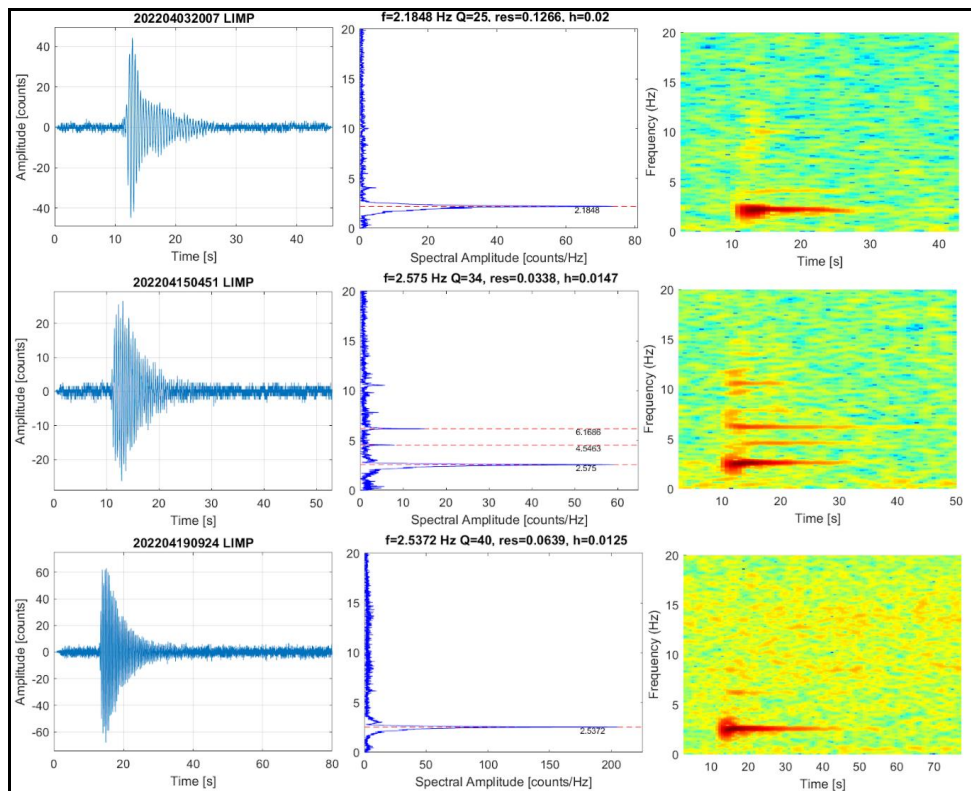


Figura 33. Sismos localizados en el CVC, abril 2022

Tabla 17. Sismo con ML de 1.5 en el CVC, abril 2022

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud  | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|-----------|----------|-----|
| 24/04/2022 | 07:33:08   | 0.94867 | -77.85700 | 8        | 1.5 |

Se registraron 5 eventos de tipo Tornillo (TOR) de baja energía en abril del 2022, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes, 3 de los cuales se muestran en la Figura 34, por presentar sismogramas con menos ruido en la componente vertical de la estación Limones del CVC. Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de abril 2022, presentaron picos dominantes en 2.5 Hz y 2.2 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.



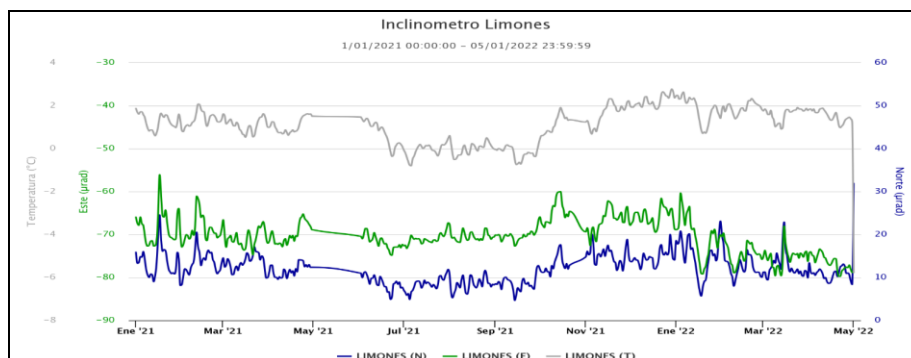
**Figura 34.** Sismogramas y espectros en frecuencia de 3 eventos TOR de abril del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

## 2.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 3 inclinómetros electrónicos. El inclinómetro Nieve está por fuera desde el 24 de octubre de 2020.

### 2.3.1 Inclinometría Electrónica

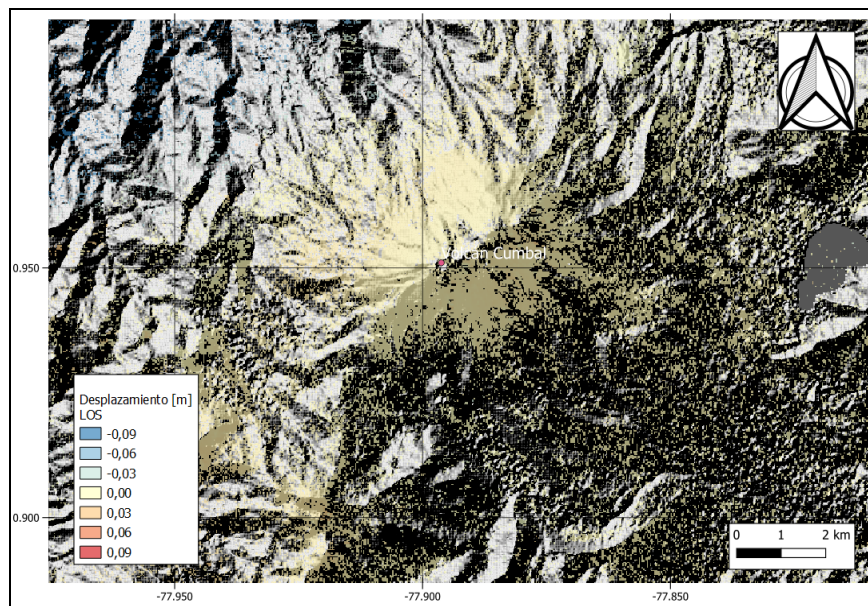
Las componentes de inclinación de las estaciones Limones, Punta Vieja y La Mesa, muestran tendencias estables. A manera de ejemplo en la Figura 35 se indica el comportamiento de la estación Limones.



**Figura 35.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022

### 2.3.2 D\_InSAR

En la Figura 36, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Cumbal obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 36.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24 de abril de 2022 y el 6 de mayo de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal

## **2.4 Electromagnetismo**

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

## **2.5 Geoquímica**

### **2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales**

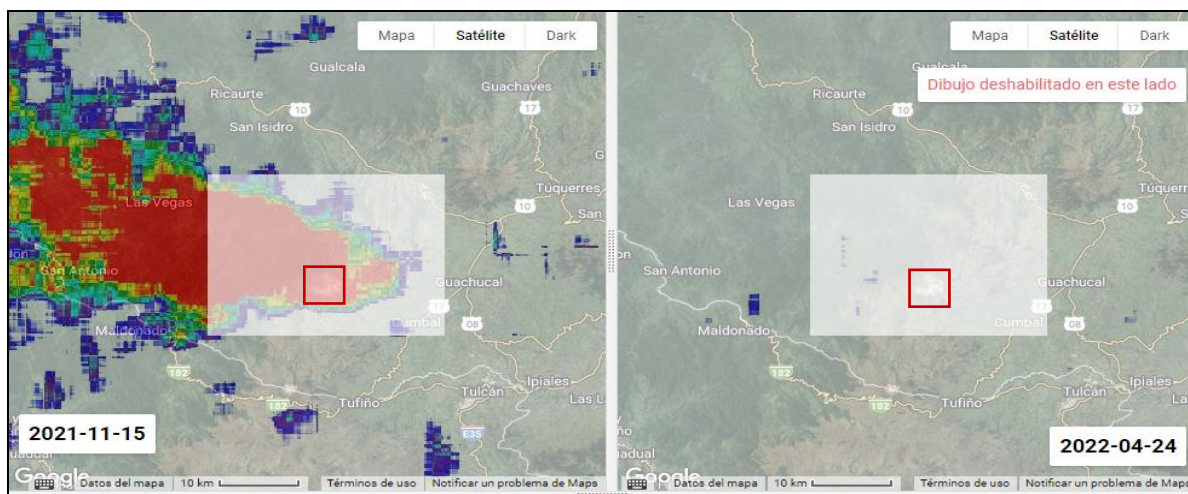
Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

### **2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

El satélite Sentinel-5 Precursor (S-5P), lanzado en el año 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la calidad del aire, cuenta con el instrumento TROPOMI (Instrumento de Monitoreo TROPosférico), el cual es un sensor multiespectral que registra concentraciones de ozono, metano, formaldehído, aerosol, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Google Earth Engine, 2018). Dado que permite realizar estimaciones de SO<sub>2</sub>, a partir de la fecha en los informes mensuales se presentará graficas del comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, obtenidas a través de la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desarrollada por el ingeniero Carlos Laverde del SGC y que usa información del satélite Sentinel-5 Precursor (Laverde, 2020).

En la Figura 37 se muestra el comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, en la imagen de la izquierda se presenta las estimaciones para el periodo del 7 al 21 de noviembre con fecha central en 15 de noviembre de 2021, se muestra este periodo porque fue uno de los periodos en donde las emisiones de SO<sub>2</sub> se alcanzaron a detectar mediante esta metodología, en la imagen de la derecha se observa el registro obtenido en los últimos 15 días del mes de abril, en donde no es posible detectar emisiones de SO<sub>2</sub>, en el rango de 0.08 a 0.2 unidades Dobson (DU).





**Figura 37.** Estimación cualitativa de SO<sub>2</sub> obtenido con la aplicación TROPOMI para el mes de abril de 2022. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores

De la región sombreada es posible extraer los valores de estimación en unidades Dobson. De acuerdo con las fotografías digitales instaladas en el CVC, se ha evidenciado en ocasiones que las columnas de gas son de mayor tamaño cuando incrementa la lluvia, razón por la cual, en la Figura 38 se muestra el comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, junto con los valores del pronóstico de lluvias generado por el IDEAM para esta zona, sin embargo, no se evidencia ninguna correlación entre estas variables. Con relación a las emisiones de SO<sub>2</sub> se observa que los máximos se presentaron en noviembre de 2021, después han descendido y ahora parecieran aproximarse a su línea base de comportamiento.

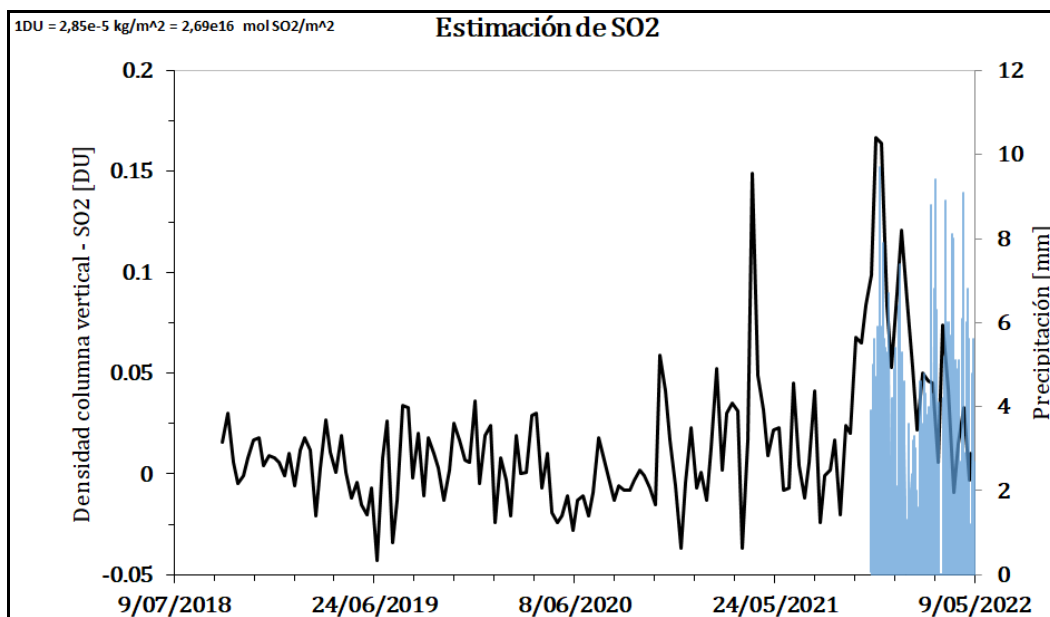
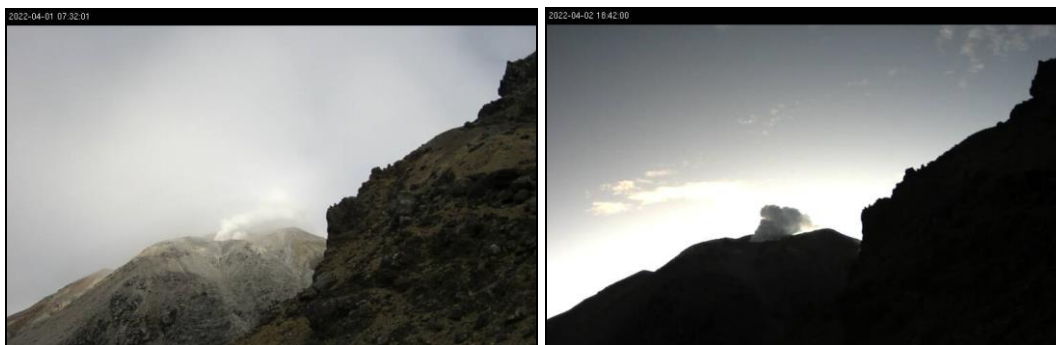


Figura 38. Estimación de SO<sub>2</sub> obtenida con la aplicación TROPOMI para el mes de abril de 2022 y el pronóstico de lluvias para la zona generado por el IDEAM

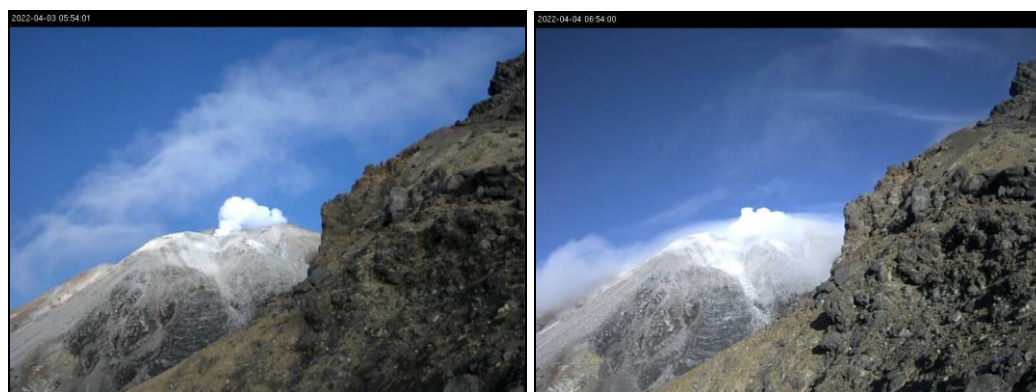
## 2.6 Actividad Superficial

Para los días 1, 2, 3, 4, 5, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 29 de abril de 2022, cuando las condiciones atmosféricas fueron favorables, las cámaras web instaladas en el complejo volcánico, registraron emisiones de gases y vapor de agua, desde los campos fumarólicos de El Verde (nororiente del CVC), Rastrojos, Boca Vieja y Las Bandas (suroriente y suroccidente del CVC), con columnas de color blanco, baja altura y dispersión variable de acuerdo con la dirección predominante de los vientos.

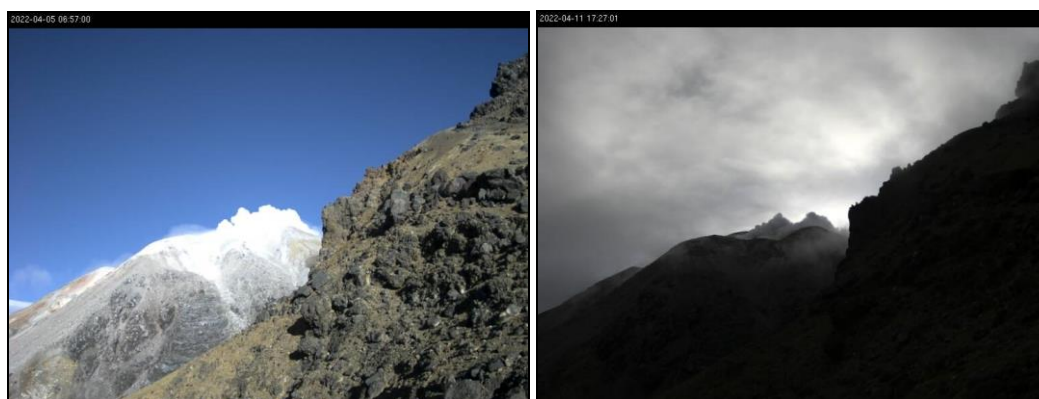
En las Figuras 39 a 47 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



**Figura 39.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 1 de abril de 2022 a las 7:32 a.m., (izquierda) y para el día 2 de abril de 2022 a las 6:42 p.m., (derecha)



**Figura 40.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 3 de abril de 2022 a las 5:54 a.m., (izquierda) y para el día 4 de abril de 2022 a las 6:54 a.m., (derecha)

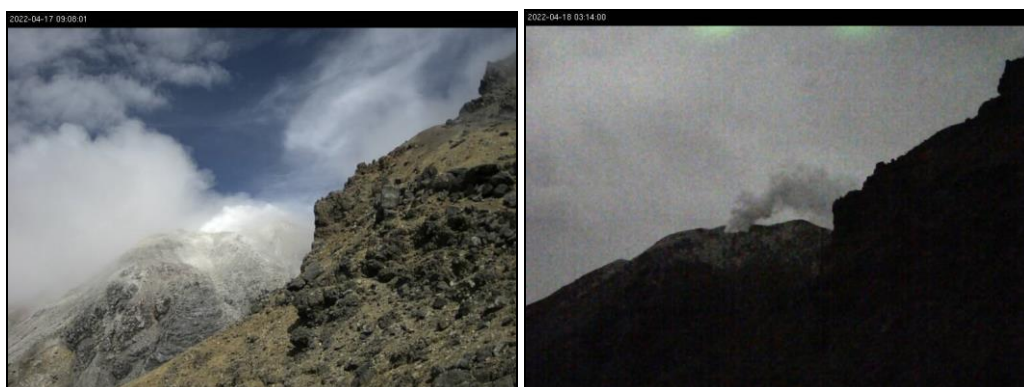


**Figura 41.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 5 de abril de 2022 a las 6:57 a.m., (izquierda) y para el día 11 de abril de 2022 a las 5:27 p.m., (derecha)

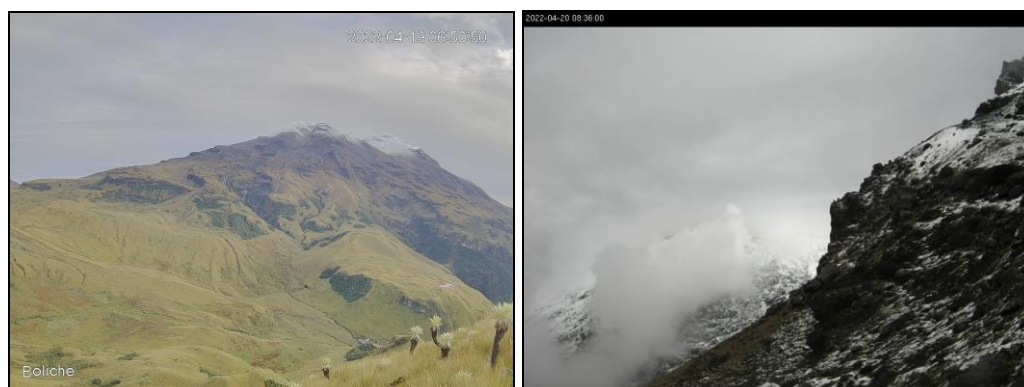




**Figura 42.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 15 de abril de 2022 a las 00:44 a.m., (izquierda) y para el día 16 de abril de 2022 a las 9:59 p.m., (derecha)



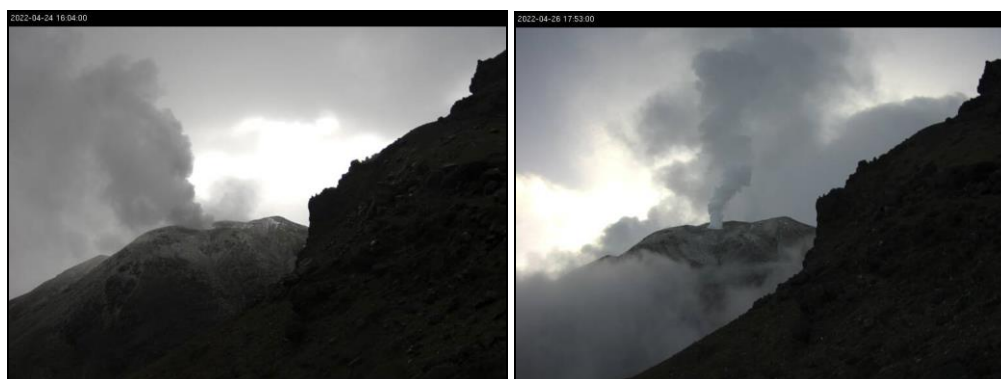
**Figura 43.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 17 de abril de 2022 a las 9:06 a.m., (izquierda) y para el día 18 de abril de 2022 a las 3:14 a.m., (derecha)



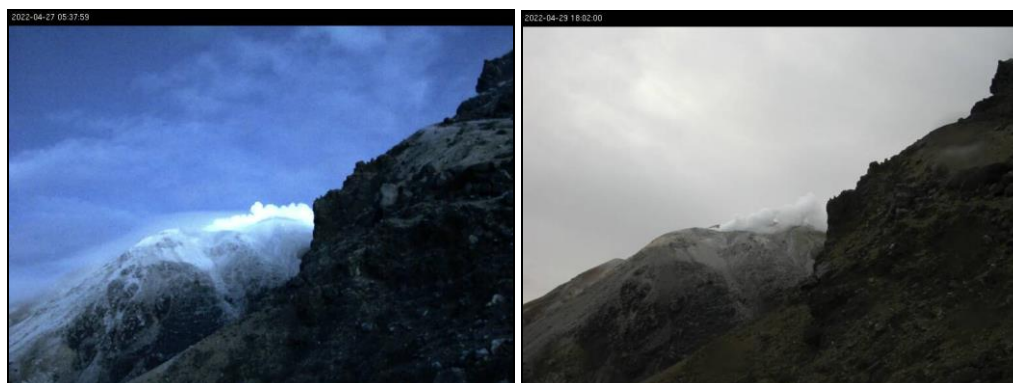
**Figura 44.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 19 de abril de 2022 por la cámara ubicada en el sector del Boliche a las 6:50 a.m., (izquierda) y desde Punta Vieja para el día 20 de abril de 2022 a las 8:36 a.m., (derecha)



**Figura 45.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 21 de abril de 2022 a las 1:13 p.m., (izquierda) y para el día 23 de abril de 2022 a las 12:57 p.m., desde Boliche (derecha)



**Figura 46.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 24 de abril de 2022 a las 4:04 p.m., (izquierda) y para el día 26 de abril de 2022 a las 5:53 p.m., (derecha)



**Figura 47.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 27 de abril de 2022 a las 5:37 a.m., (izquierda) y para el día 29 de abril de 2022 a las 6:02 p.m., (derecha)

## 2.7 Conclusiones

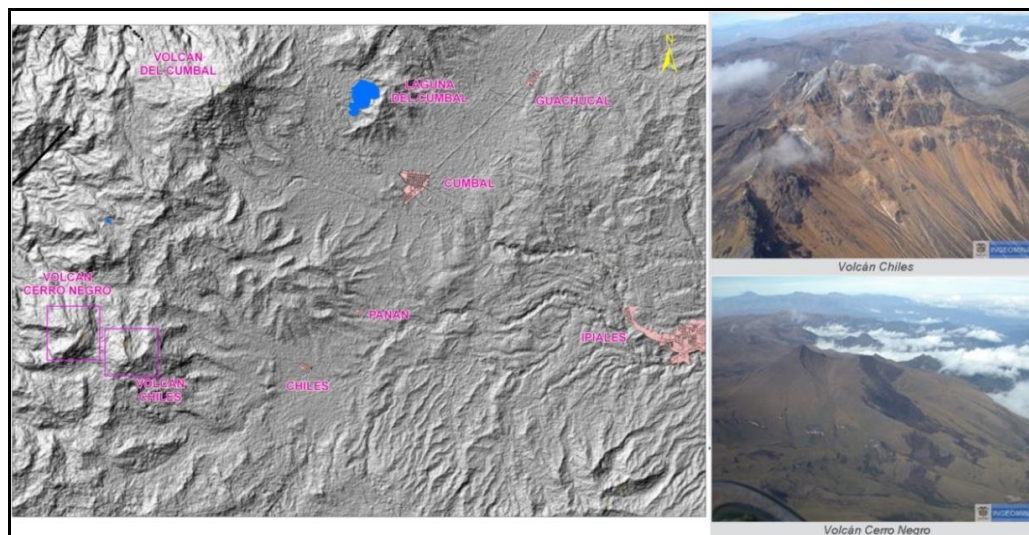
- En abril del 2022, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), los sismos disminuyeron su ocurrencia y su energía, predominando la sismicidad asociada con fractura de material cortical, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán. Los sismos son de baja energía con ML máxima de 1.5 en la escala de Richter.
- Mediante la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días”, para el periodo evaluado no se detectaron emisiones de SO<sub>2</sub>.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en abril 2022 permitió mantener el nivel **AMARILLO**  (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

## 3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - ABRIL DE 2022

### 3.1 Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroeste del país, en el departamento de Nariño, en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15.5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal y el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 m.s.n.m., se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 48).



**Figura 48.** Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

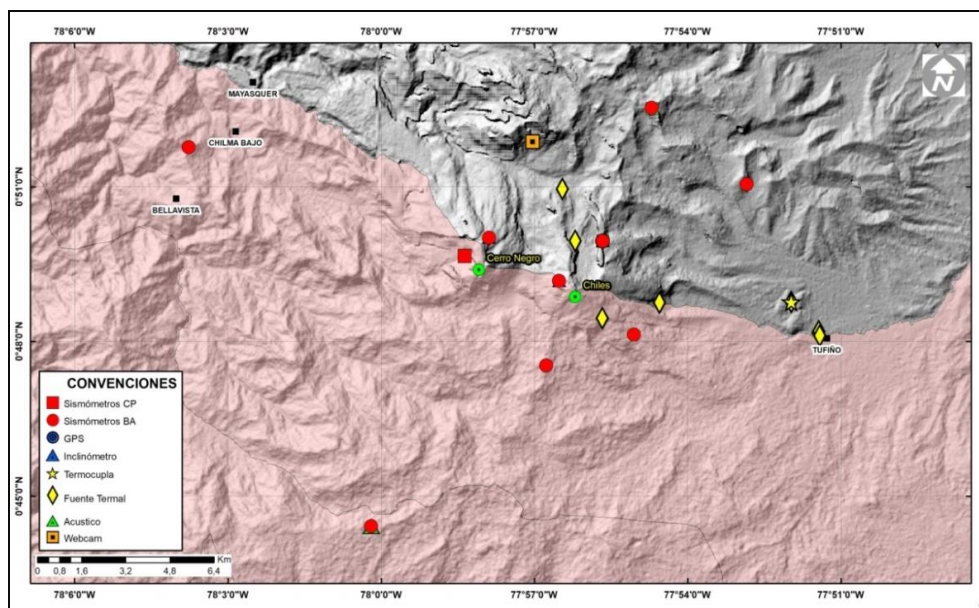
### 3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 49, Tabla 18):

- Siete estaciones sísmicas de Banda ancha.
- Tres inclinómetros electrónicos (Chiles, Morro y Cerro Negro).
- Un sensor de presión acústica (Canguil).
- Una estación para monitoreo y seguimiento de cambios térmicos (En el sector de Baño Grande).
- Una estación cámara web (Canguil).
- Una estación de campo magnético (Morro).
- Una estación GNSS Permanente (Morro).

Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 49, Tabla 19).










**Figura 49.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2022

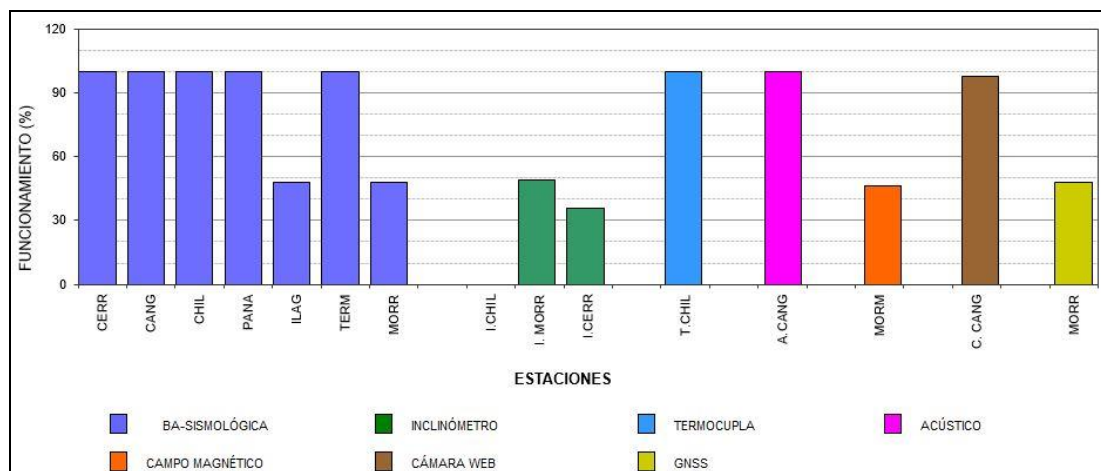
**Tabla 18.** Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro

| Estación    | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor             | Componente     | Distancia Respecto a Chiles (Km) | Dirección respecto al centro del volcán | Altitud (msnm) |
|-------------|----------------------|----------------------------|----------------|----------------------------------|---|----------------|
| Chiles      | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 1                                | WNW                                     | 4478           |
| I. Chiles   | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 1                                | WNW                                     | 4478           |
| C. Negro    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 4                                | WNW                                     | 4216           |
| I. C. Negro | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 4                                | WNW                                     | 4216           |
| Canguil     | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 5,8                              | NNW                                     | 3788           |
| Lagunas     | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 7,1                              | NNE                                     | 4003           |
| Panam       | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 7,4                              | NE                                      | 3750           |
| Termáles    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 9,3                              | E                                       | 3329           |
| El Morro    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 2,3                              | NNE                                     | 4075           |
| El Morro    | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 2,3                              | NNE                                     | 4075           |
| Canguil     | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 5,8                              | NNW                                     | 3788           |
| Baño Grande | Digital              | Termocupla                 | Unidireccional | 7,9                              | NE                                      | 3318           |
| Morro_EM    | Digital              | Magnetómetro               | Biaxial        | 2,3                              | NNE                                     | 4075           |
| El Morro    | Digital              | GNSS                       | Triaxial       | 2,3                              | NNE                                     | 4075           |

**Tabla 19.** Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro

| Fuente Termal          | Imagen  | Latitud Norte (°) | Longitud Oeste (°) | Altura (msnm) |
|------------------------|---|-------------------|--------------------|---------------|
| (A)<br>Baño Grande     |    | 0.81282°          | 77.86624°          | 3318          |
| (B)<br>Aguas Hediondas |    | 0.81256°          | 77.90923°          | 3613          |
| (C)<br>Lagunas Verdes  |   | 0.80758°          | 77.92791           | 3894          |
| (D)<br>Río Blanco      |  | 0.84928°          | 77.94092°          | 3611          |
| (E)<br>El Hondón       |  | 0.832535          | -77.936713         | 3948          |

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 73% (Figura 50).



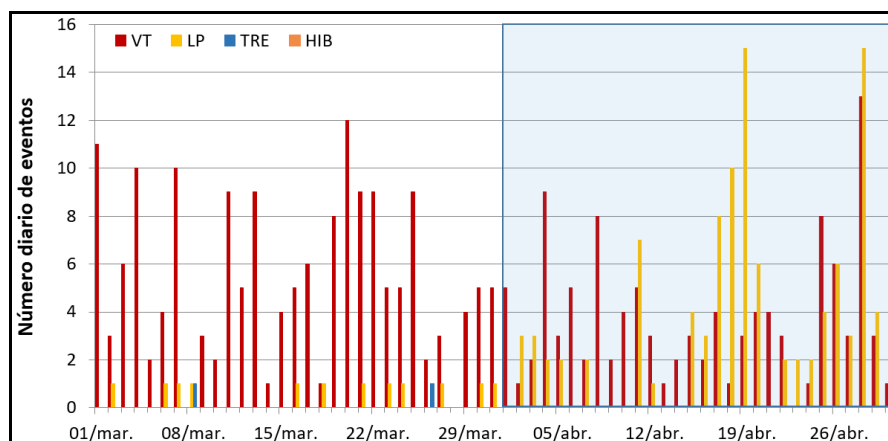
**Figura 50.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en abril de 2022

### 3.3 Sismología

La sismicidad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en abril del 2022 se incrementó un 19%, pasando de 181 a 215 eventos, con respecto al mes anterior. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de material cortical (VT) con 111 eventos, que representan el 52% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP) con 104 eventos, que representan el 48% (Tabla 20, Figura 51). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 28 de abril, con 28 eventos (13 VT y 15 LP).

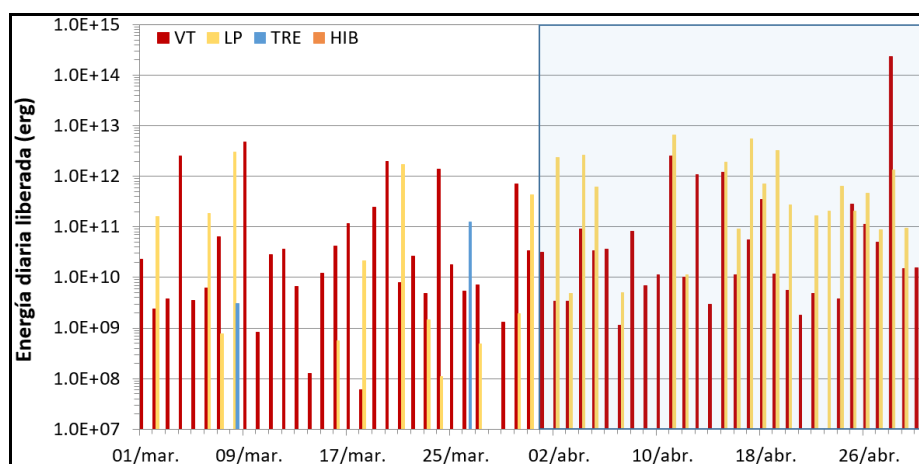
**Tabla 20.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril del 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

| Periodo Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                  | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Marzo 2022       | 167                        | 12  | 2   | 0   | 181   |
| Abril 2022       | 111                        | 104 | 0   | 0   | 215   |



**Figura 51.** Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado

La energía sísmica incrementó 15 veces su valor, al pasar de  $1.78 \times 10^{13}$  ergios a  $2.67 \times 10^{14}$  ergios. El 90% de la energía provino de los eventos VT, con  $2.40 \times 10^{14}$  ergios y el 10% correspondió a la energía de los eventos LP con  $2.72 \times 10^{13}$  erg (Tabla 21, Figura 52). El pico de energía se registró el día 28 de abril con  $2.35 \times 10^{14}$  ergios.



**Figura 52.** Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado

**Tabla 21.** Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, marzo y abril del 2022

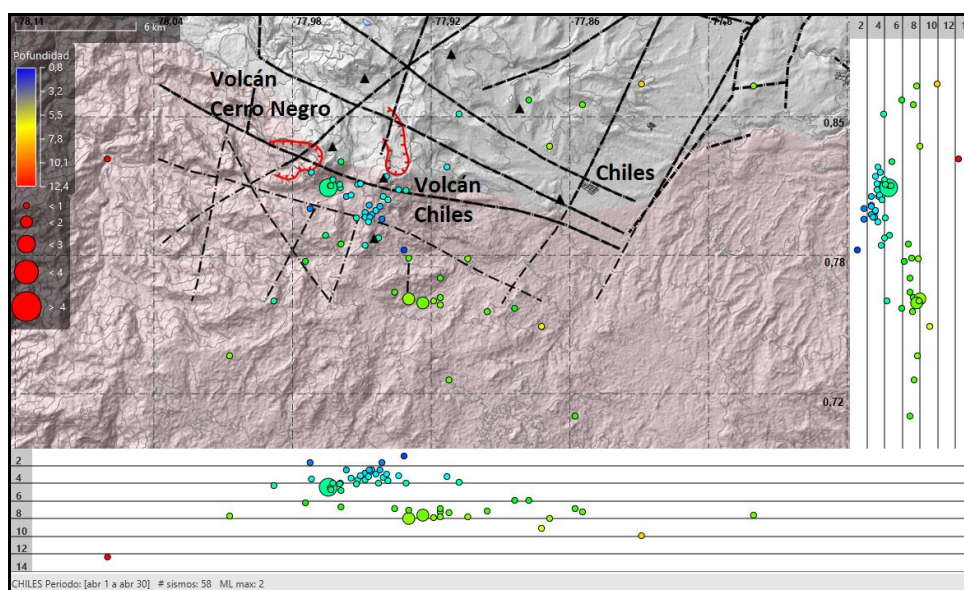
| Periodo Evaluado | Energía de eventos volcánicos por tipo |          |          |          |          |
|------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                  | VT                                     | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Marzo 2022       | 1.22E+13                               | 5.52E+12 | 1.29E+11 | 0.00E+00 | 1.78E+13 |
| Abril 2022       | 2.40E+14                               | 2.72E+13 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.67E+14 |



Se localizaron 58 sismos, la mayoría ubicados en el cuadrante suroccidental del volcán Chiles y suroriental del volcán Cerro Negro, en general en distancias entre 0.5 y 4.5 km, profundidades entre 1.5 y 5 km con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y con ML máxima de 2.0 Richter (Figura 53). El resto de los eventos localizados se ubicaron dispersos en el área de influencia de los dos volcanes, en general en distancias entre 2.5 y 18 km, profundidades entre 1 y 12 km con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y con ML máxima de 1.3 Richter (Figura 53). La mayoría de los eventos son de baja energía, se resalta 3 sismos con ML de 1.2, 1.3 y 2.0 Richter y en la Tabla 22 se consignan sus características de localización.

**Tabla 22.** Sismos VT con ML entre 1.2 y 2.0, Chiles - Cerro Negro, abril del 2022

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud  | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|-----------|----------|-----|
| 11/04/2022 | 11:17:42   | 0.76250 | -77.92850 | 8        | 1.3 |
| 15/04/2022 | 23:53:53   | 0.76067 | -77.92200 | 8        | 1.2 |
| 28/04/2022 | 12:51:26   | 0.81267 | -77.96450 | 4        | 2.0 |



**Figura 53.** Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril del 2022

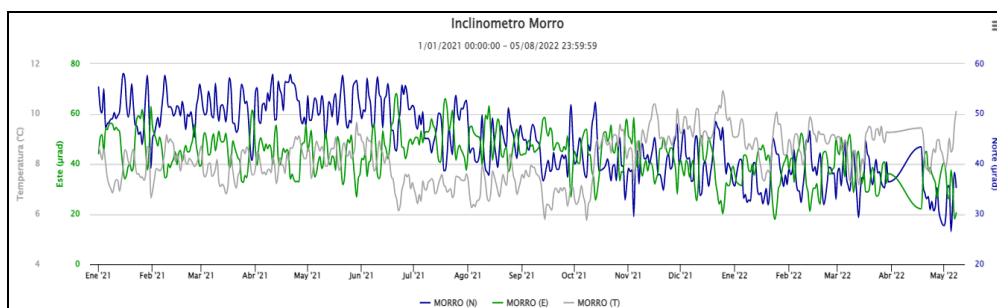
### 3.4 Deformación

#### 3.4.1 Inclínometría Electrónica

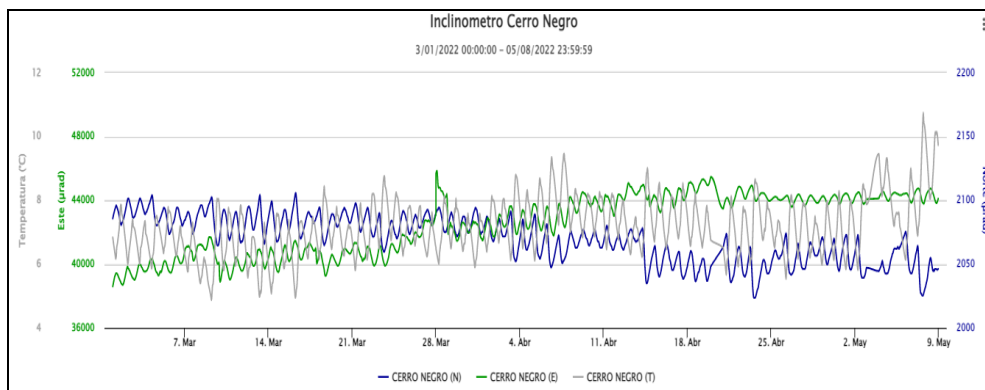
Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, se cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el

volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalada en el volcán Chiles.

En la Figura 54, se muestra el comportamiento del inclinómetro El Morro, el cual presenta estabilidad para los últimos meses. El inclinómetro Chiles entra en funcionamiento desde el 19 de abril de 2022, de igual forma el 20 de abril entra en funcionamiento la estación de inclinometría Cerro Negro, en la Figura 55 se muestra su registro.



**Figura 54.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022



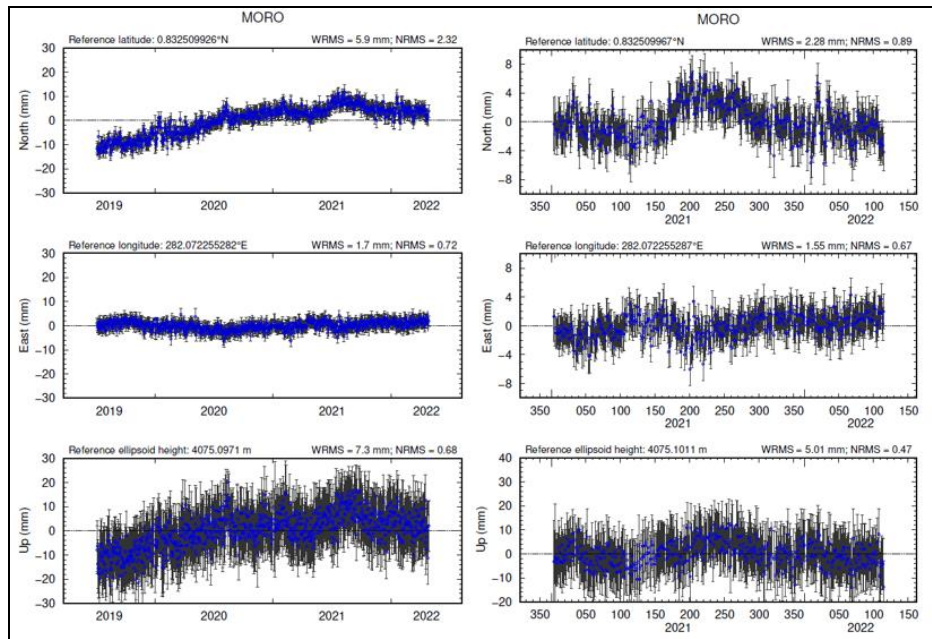
**Figura 55.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo y el 8 de mayo de 2022

### 3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

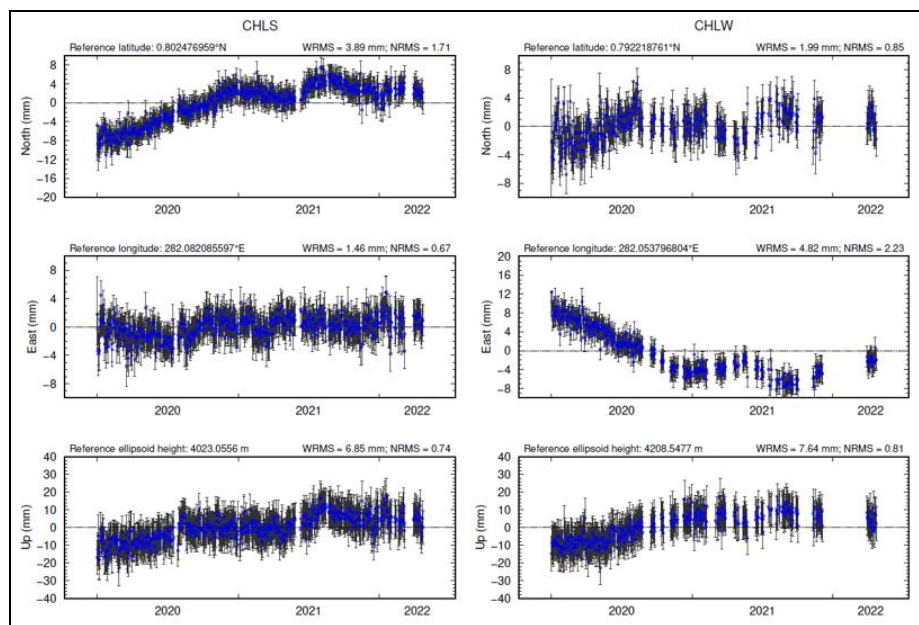
Sobre la superficie del volcán Chiles por parte del SGC – OVS Pasto se tiene instalada una estación GNSS Permanente, ubicada en vecindades de la estación multiparamétrica El Morro, hacia el costado nororiental de Chiles.

Para el análisis se contempló un procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Posterior a los comportamientos ascendente y descendente registrados por la dirección Norte del GNSS El Morro, se observa estabilidad en estos registros (Figura 56), tendencias similares se observan en las direcciones Este y vertical.

Del lado ecuatoriano (IGEPN) para el monitoreo de estos cambios en superficie se tienen las estaciones GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 57, se muestran las series temporales de estas estaciones, evidenciando estabilidad en sus registros para los últimos meses.



**Figura 56.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido 6 de julio de 2019 y 23 de abril de 2022 (izquierda) y 1 de enero de 2021 y 23 de abril de 2022 (derecha)

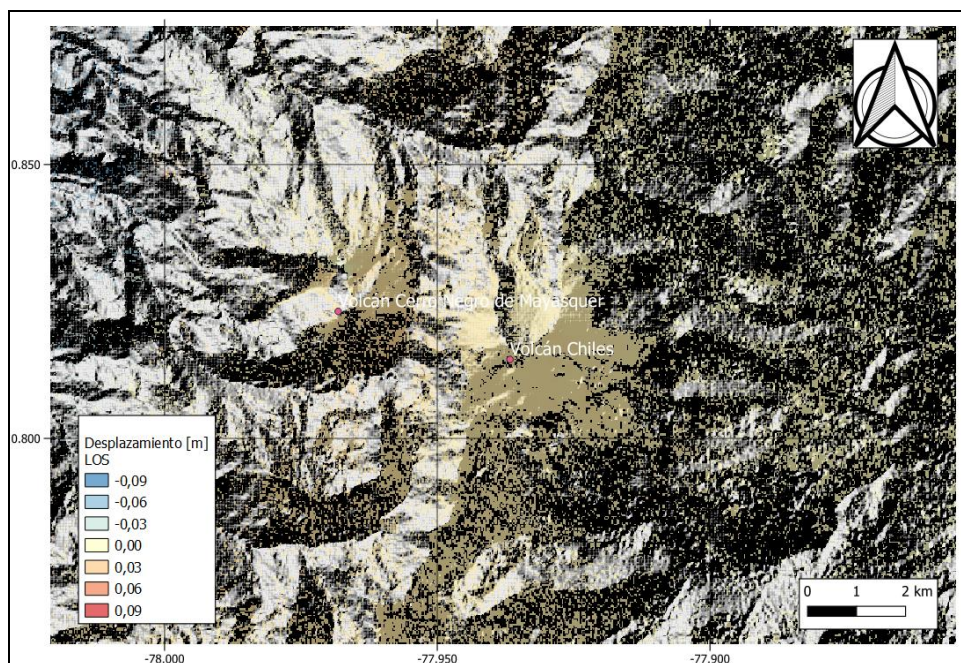


**Figura 57.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas sobre Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 23 de abril de 2022, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatorial – IGEPN

### 3.4.3 D\_InSAR

En la Figura 58, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Chiles y Cerro Negro obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.





**Figura 58.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24 de abril de 2022 y el 6 de mayo de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro

### 3.5 Electromagnetismo

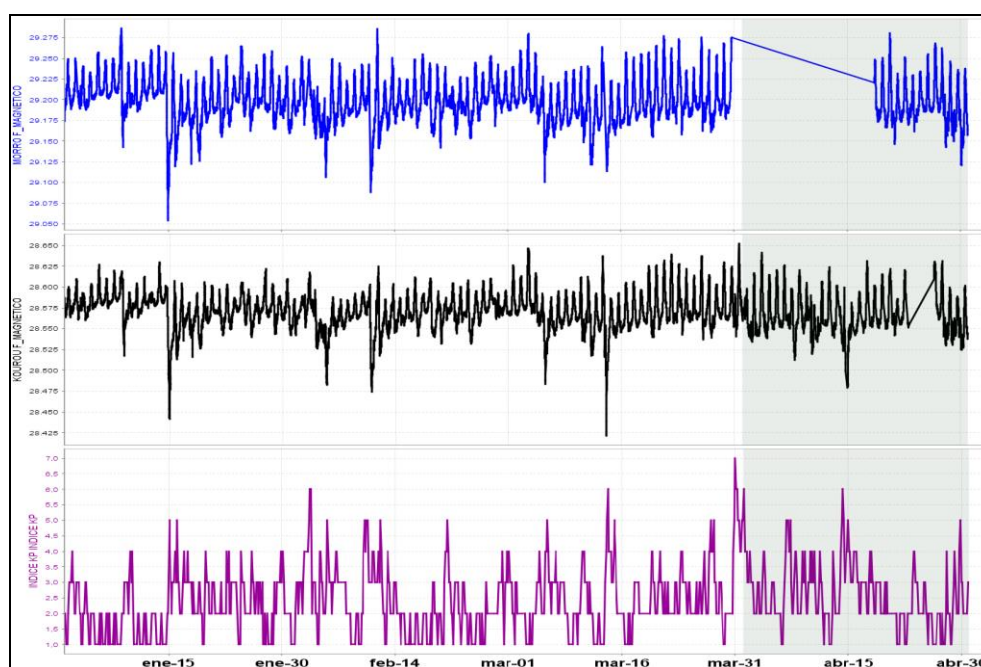
En abril, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro se realizó usando la información de la estación Morro (MOR) que cuenta con un sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Se ha tomado también la información de una estación de referencia llamado Kourou (KOU), ubicada en Guayana Francesa; que se usa de referencia para los datos medidos en la zona volcánica.

En el periodo entre enero y abril de 2022, el comportamiento de las series de tiempo de la estación MOR muestra una tendencia promedio estable; con un valor de campo magnético total (CMT F) de alrededor de 29.180 nT y de alrededor de 28.560 nT en la estación de referencia KOU (Figura 59).

En abril, el magnetómetro MOR entró nuevamente en funcionamiento a partir del día 18 debido a problemas en la transmisión de la señal; una vez recuperada, se observa que el comportamiento de la serie de tiempo de la estación MOR fue afectado por variaciones importantes tanto en amplitud como en frecuencia. Estas variaciones se asociaron con el fenómeno ocurrido en el clima espacial y que se originan por las llamaradas o eyecciones de masa del núcleo del Sol (Coronal Mass Ejection - CME), que

son grandes expulsiones de masa o plasma y campo magnético del núcleo del sol, que se producen en los periodos de mayor actividad del sol, como se explicó en el capítulo del volcán Galeras.

Las tormentas geomagnéticas ocasionaron variaciones tanto en amplitud como en frecuencia, en las fechas cuando las CME llegan a la Tierra. En el sensor magnético de MOR y en los registros de la estación de referencia KOU se evidencian los efectos de estas tormentas, que se pueden verificar con los registros del índice Kp que mide la intensidad de estas tormentas geomagnéticas (Figura 59). Al igual que en las estaciones instaladas en Galeras y la estación Kourou se hace evidente la perturbación que estas tormentas de alto índice Kp ejercen sobre los registros, modificando el nivel base de las series de tiempo, así como también su amplitud y la frecuencia (Figuras 59 y 60).



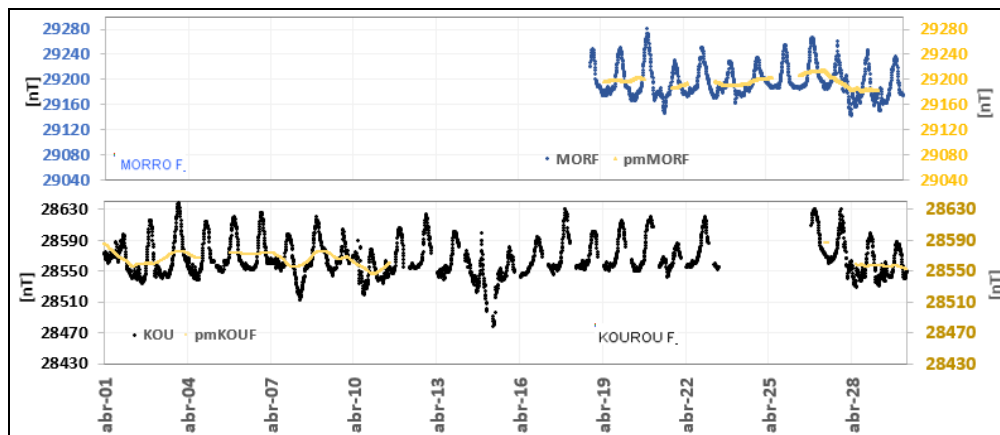
**Figura 59.** CMT-F en la estación de monitoreo magnético de Chiles – Cerro Negro: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para los meses comprendidos entre enero y abril de 2022

Las alertas de tormentas geomagnéticas las recibimos por medio del sistema de alertas del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration). Por otra parte, la estación Kourou (KOU) se ha seleccionado como estación de referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global

del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia y porque KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cercana a la zona de los volcanes de Nariño.

En el mes de abril de 2022, los fenómenos más evidentes en los registros magnéticos fueron las variaciones periódicas con periodos de; un día (variaciones día/noche), 12 y 8 horas y, muy especialmente, los efectos de las perturbaciones por las tormentas geomagnéticas. En general, las variaciones periódicas tuvieron amplitudes máximas de hasta 100 nT en la estación MOR y 125 nT en KOU en las fechas cuando no se presentaron tormentas geomagnéticas (Figura 60).

Tomando el promedio móvil de las series de tiempo, para disminuir los efectos de las variaciones seculares periódicas diarias, se evidencia que, en general, las variaciones máximas fueron de hasta 10 nT para MOR y de hasta 14 nT para KOU, para los días cuando las tormentas geomagnéticas tuvieron índices Kp menores de 4; mientras que, para aquellos días con fuerte actividad solar, la afectación de estos fenómenos sobre las series temporales generaron variaciones de hasta 20 nT para MOR y de 25 nT para KOU, evidenciando que los efectos asociados con la actividad volcánica están por debajo de los 14 nT (Figura 60), lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro.



**Figura 60.** Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de abril de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo



### 3.6 Geoquímica

#### 3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

#### 3.6.2 Muestreo de aguas en fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Las fuentes termales asociadas al volcán Chiles y muestreadas en trabajo de campo en el mes de abril de 2022, fueron: Baño Grande, La Cristalina, El Infiernillo y El Rincón Más Bello (Figura 49 de vigilancia), en la Figura 61 se muestra fotografías digitales de estos manantiales.



**Figura 61.** Imágenes de manantiales termales perteneciente a la zona de influencia del volcán Chiles-Cerro negro en el sector colombiano, A) La Cristalina, B) Baño Grande, C) El Infiernillo y D) El Rincón Más Bello

En el muestreo de abril se midieron los parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica, en las Figuras 62 a 64, se muestra el comportamiento desde

2014. Además, se tomaron muestras que se enviaron a los laboratorios del SGC, para los análisis de cationes y aniones.

En general, en el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica, se evidencia estabilidad en el bajo registro que se tiene. Para el pH y la conductividad en el año 2014 se evidencia una importante variación, posiblemente debido a un enjambre sísmico que se presentó en el periodo.

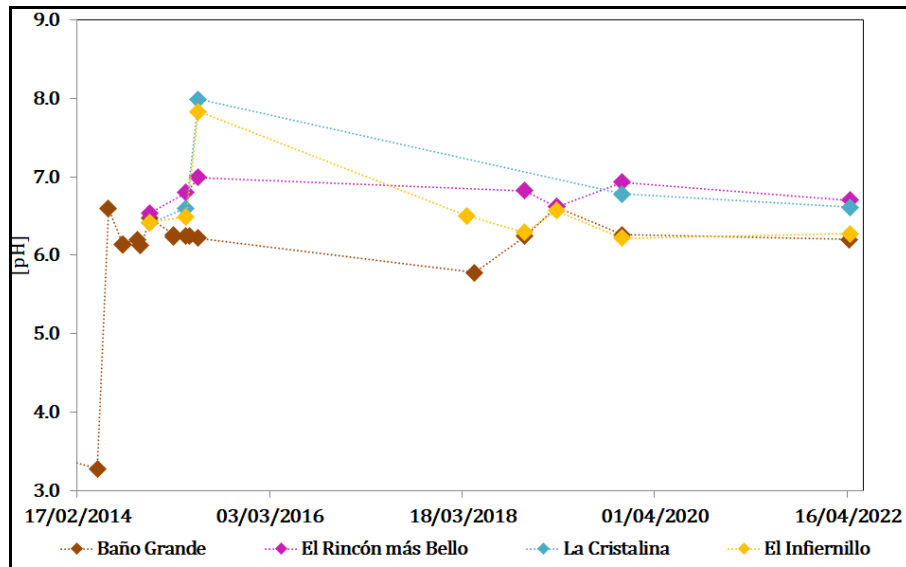


Figura 62. Variación del pH en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022

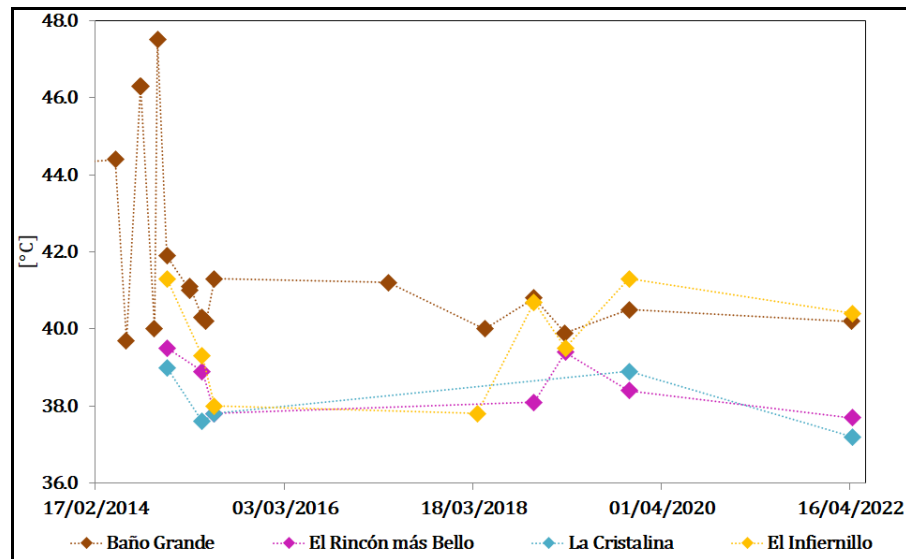


Figura 63. Variación de la temperatura en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022

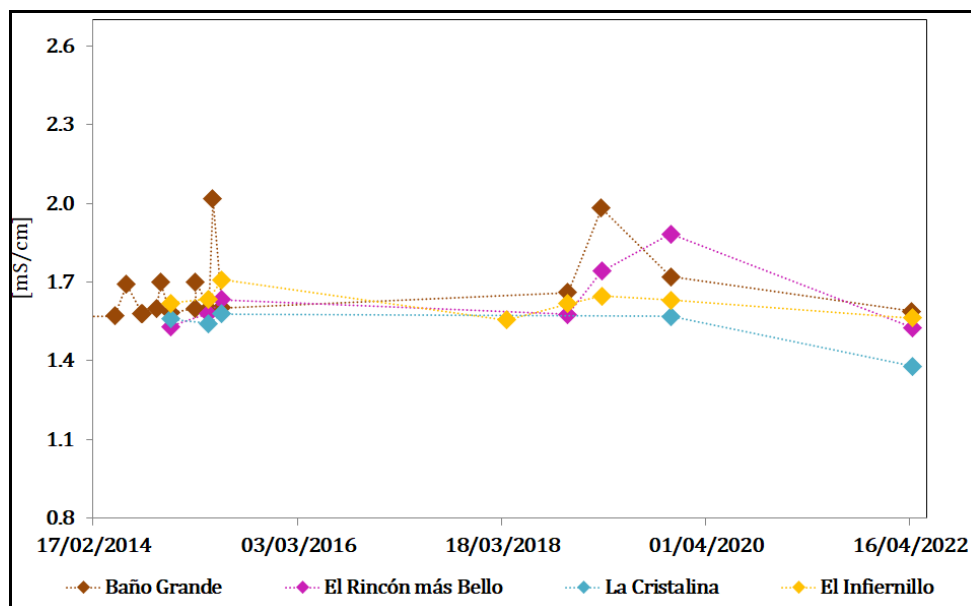


Figura 64. Variación de la conductividad eléctrica en las FT Volcán Chiles enero 2014-abril 2022

### 3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

### 3.7 Actividad Superficial

Durante el mes de abril de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

### 3.8 Conclusiones

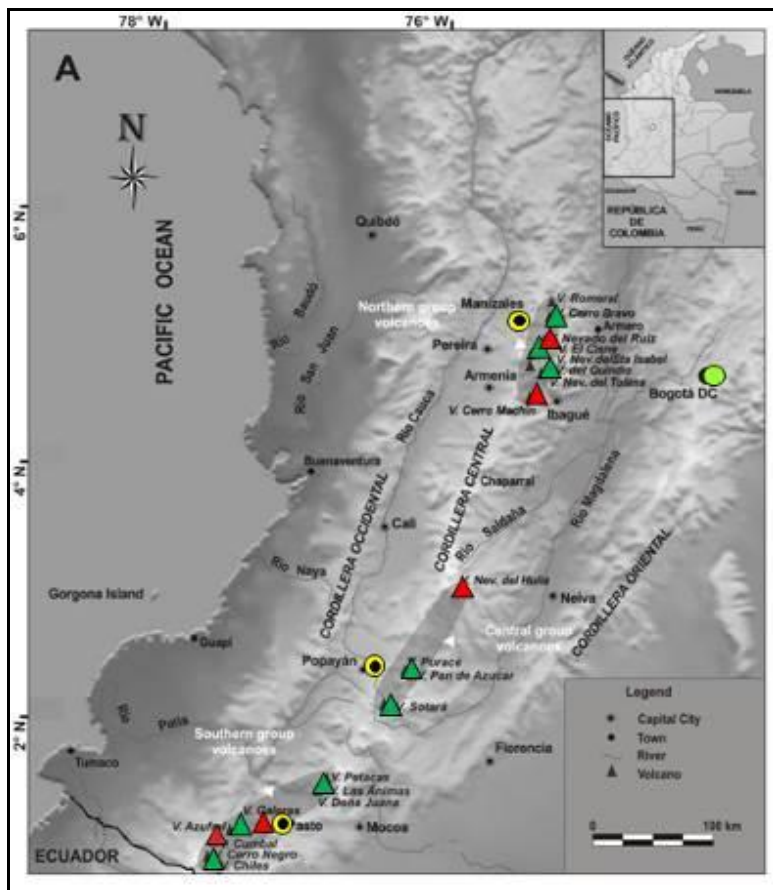
- La sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en abril del 2022 mostró incremento en su ocurrencia y su energía con respecto a lo registrado en marzo. Continúa el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), con magnitud local máxima de 2.0 en la escala de Richter.
- En los parámetros de temperatura, pH y Conductividad eléctrica de los manantiales asociados al volcán Chiles, se registra estabilidad en el registro.

La sismicidad registrada desde finales de 2013 hasta la fecha se asocia con una posible intrusión magmática en profundidad, que hasta el momento no ha mostrado manifestaciones en superficie. A pesar de la estabilidad de los otros parámetros medidos, ocasionalmente se presentan enjambres de sismos VT, con sismos sentidos por los habitantes de la zona, que elevan los niveles de energía y ocurrencia, lo cual indica que los volcanes Chiles y Cerro Negro aún no han retornado a un estado de equilibrio. Por lo anterior, se mantiene la probabilidad de que se registren sismos con magnitudes importantes que podrían ser sentidos por los habitantes de su zona de influencia.

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante abril del 2022 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

#### **4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ABRIL DE 2022**

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 65).



**Figura 65.** Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

La información obtenida por los diferentes métodos geofísicos y geoquímicos de vigilancia se viene analizando de manera periódica con el propósito de obtener un conocimiento básico del fenómeno volcánico e identificar de manera oportuna un posible cambio en la actividad y realizar el diagnóstico del nivel de actividad.

#### **4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas**

##### **4.1.1 Red de Vigilancia**

La red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas está distribuida de la siguiente manera: sobre la superficie del volcán Las Ánimas, tres estaciones sísmicas, en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos localizados en Altamira y Troje y un GNSS Permanente. En el volcán Doña Juana se tiene instalado tres estaciones

sísmicas telemétricas triaxiales, tres inclinómetros electrónicos, dos localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparamétrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 23, Figura 66). Adicionalmente, se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 66).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instaladas para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 98% (Figura 67).

**Tabla 23.** Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en abril de 2022

| Estación      | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor           | Componente | Dist. a Doña Juana (Km) | Dir. respecto a Doña Juana | Dist. a Las Ánimas (Km) | Dir. respecto a Las Ánimas | Altitud (msnm) |
|---------------|----------------------|--------------------------|------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| Páramo        | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 2.1                     | SSE                        | 12.3                    | SW                         | 3533           |
| I. Páramo     | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 2.1                     | SSE                        | 12.3                    | SW                         | 3533           |
| Lavas         | Digital              | Sismómetro Corto Periodo | Triaxial   | 4.1                     | SW                         | 15.5                    | SW                         | 3145           |
| I. Lavas      | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 4.1                     | SSW                        | 15.5                    | SW                         | 3145           |
| Lavas         | Digital              | GNSS                     | Triaxial   | 4.1                     | SSW                        | 15.5                    | SW                         | 3145           |
| La Palma      | Digital              | GNSS                     | Triaxial   | 2.7                     | NNE                        | 9                       | SW                         | 3477           |
| Altamira      | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 4.1                     | NNE                        | 7,9                     | SW                         | 3137           |
| I. Altamira   | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 4.1                     | NNE                        | 7,9                     | SW                         | 3137           |
| Petroglifo    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 8.9                     | NNE                        | 4,6                     | W                          | 2899           |
| I. Petroglifo | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 8.9                     | NNE                        | 4,6                     | W                          | 2899           |
| Petroglifo    | Digital              | GNSS                     | Triaxial   | 8.9                     | NNE                        | 4,6                     | W                          | 2899           |
| Troje         | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 9.6                     | NE                         | 6,2                     | NW                         | 2726           |

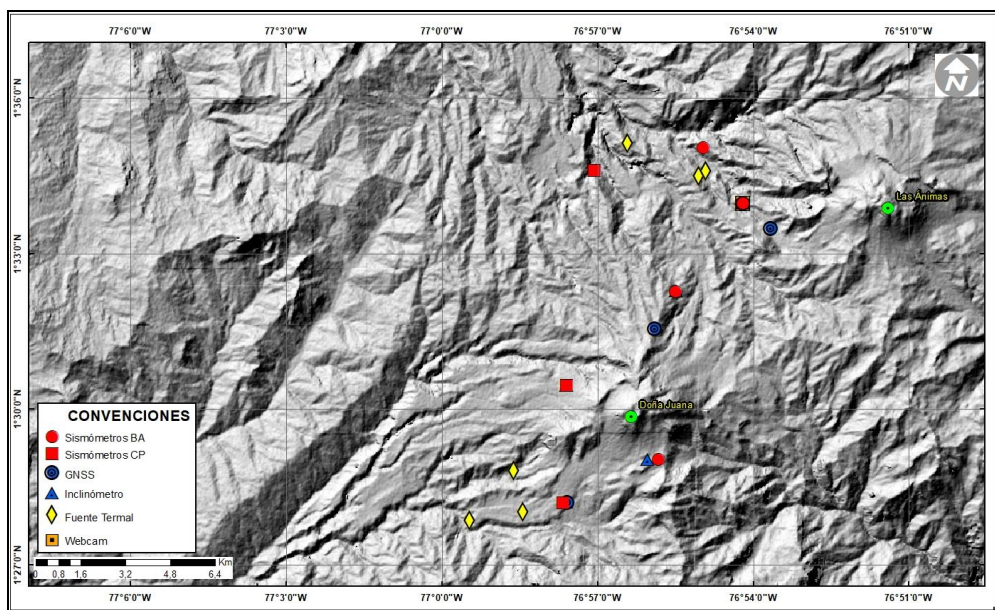


Figura 66. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de abril de 2022

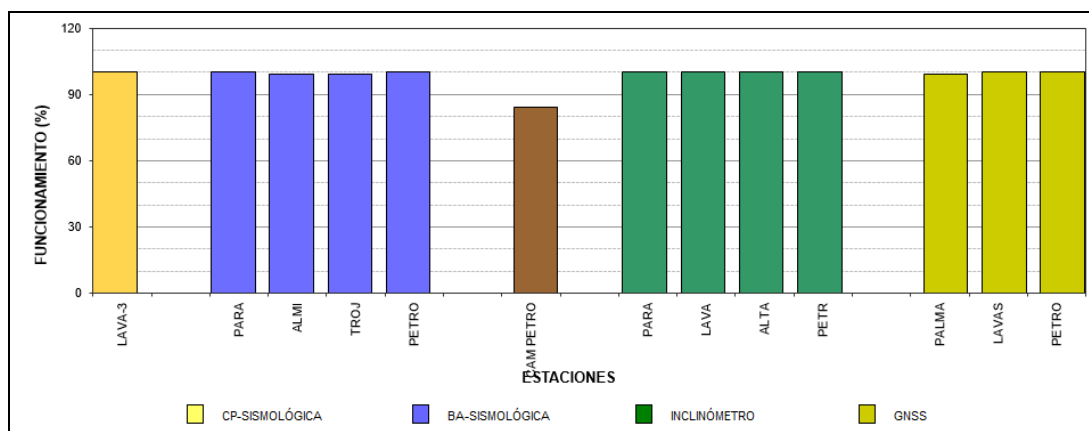


Figura 67. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en abril de 2022

#### 4.1.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en abril del 2022, la ocurrencia sísmica disminuyó un 69% en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, con el registro de 5 eventos asociados con fractura de roca VT (Tabla 24, Figura 68). La energía de los eventos VT disminuyó 269 veces su valor con relación a marzo 2022, pasando de  $1.06 \times 10^{15}$  ergios a  $3.95 \times 10^{12}$  ergios (Tabla 25, Figura 69).



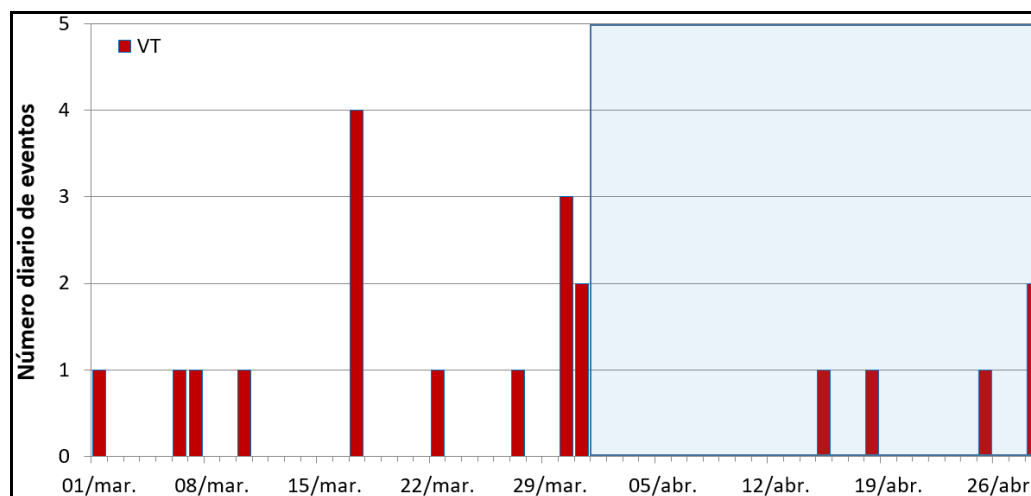


Figura 68. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante marzo y abril del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado

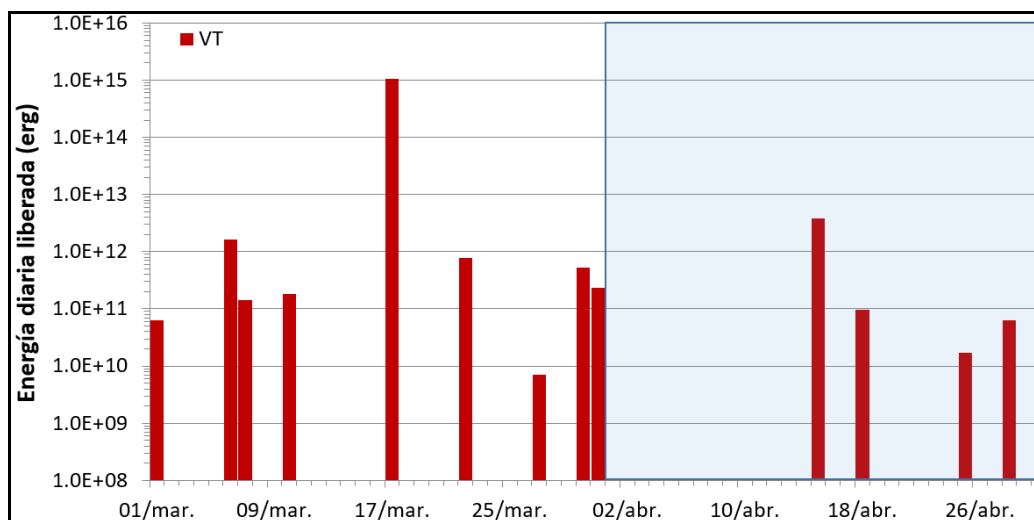


Figura 69. Energía diaria liberada de eventos VT, registrados durante marzo y abril del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado

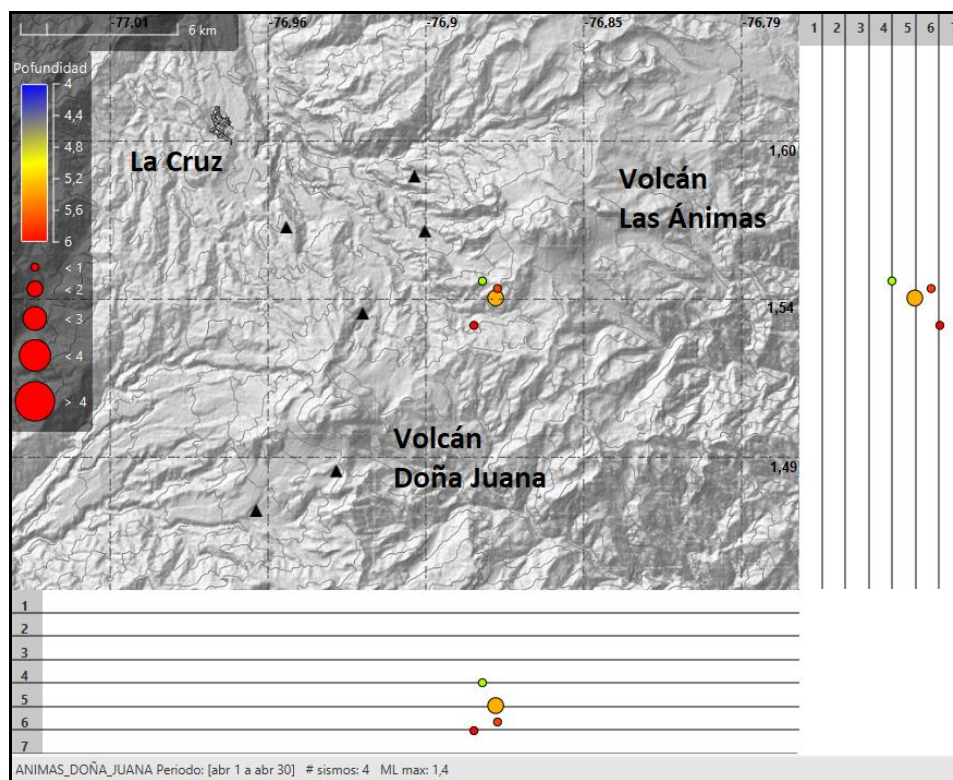
Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Marzo 2022          | 15                         | 1   | 0   | 0   | 16    |
| Abril 2022          | 5                          | 0   | 0   | 0   | 5     |

**Tabla 25.** Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en marzo y abril del 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

| Periodo Evaluado | Número de eventos por tipo |          |     |     |          |
|------------------|----------------------------|----------|-----|-----|----------|
|                  | VT                         | LPS      | TRE | HIB | TOTAL    |
| Marzo 2022       | 1.06E+15                   | 2.23E+10 | 0   | 0   | 1.06E+15 |
| Abril 2022       | 3.95E+12                   | 0.00E+00 | 0   | 0   | 3.95E+12 |

Se localizaron 4 sismos VT de baja energía, todos ubicados en el sector suroccidental del volcán Las Ánimas, en distancias entre 3 y 5 km, con profundidades entre 4 y 6 km con respecto a su cima (4300 msnm) y con ML máxima de 1.4 Richter (Figura 70).



**Figura 70.** Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, abril del 2022

La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, solamente se destaca el sismo con ML de 1.4 Richter y en la Tabla 26 se consignan sus características de localización.

**Tabla 26.** Sismo con ML de 1.4 en Doña Juana y Las Ánimas, abril del 2022

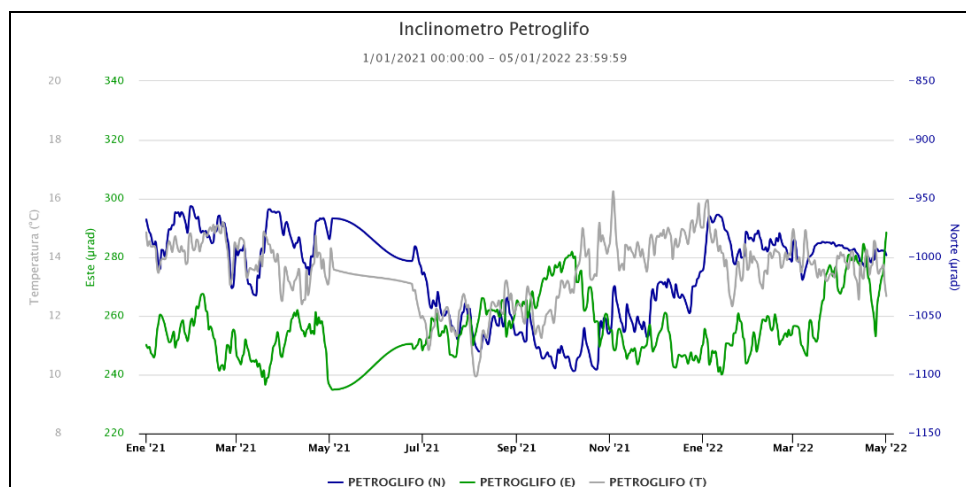
| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud  | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|-----------|----------|-----|
| 15/04/2022 | 20:45:19   | 1.54100 | -76.87650 | 5        | 1.4 |

### 4.1.3 Deformación

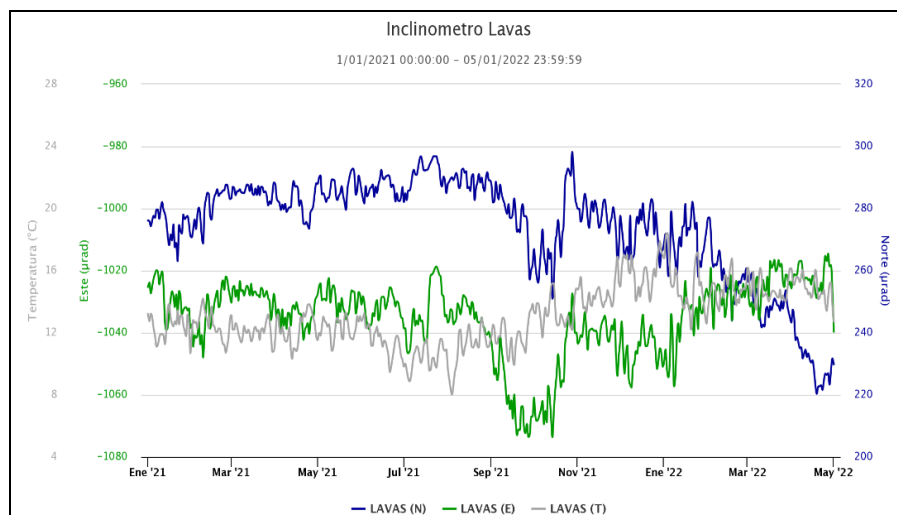
#### 4.1.3.1 Inclinometría Electrónica

En la Figura 71, se muestra la serie temporal de la estación de inclinometría Petroglifo, en la componente Norte, aunque se registran cambios muy fuertes se alcanza a observar para los últimos meses una tendencia estable. La componente Este también tiene una tendencia estable con menores variaciones.

En cuanto al volcán Doña Juana las componentes de inclinación de los sensores instalados en Páramo y Lavas, para los últimos meses muestran estabilidad, a manera de ejemplo se indica en la Figura 72, el comportamiento del inclinómetro Lavas.



**Figura 71.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022

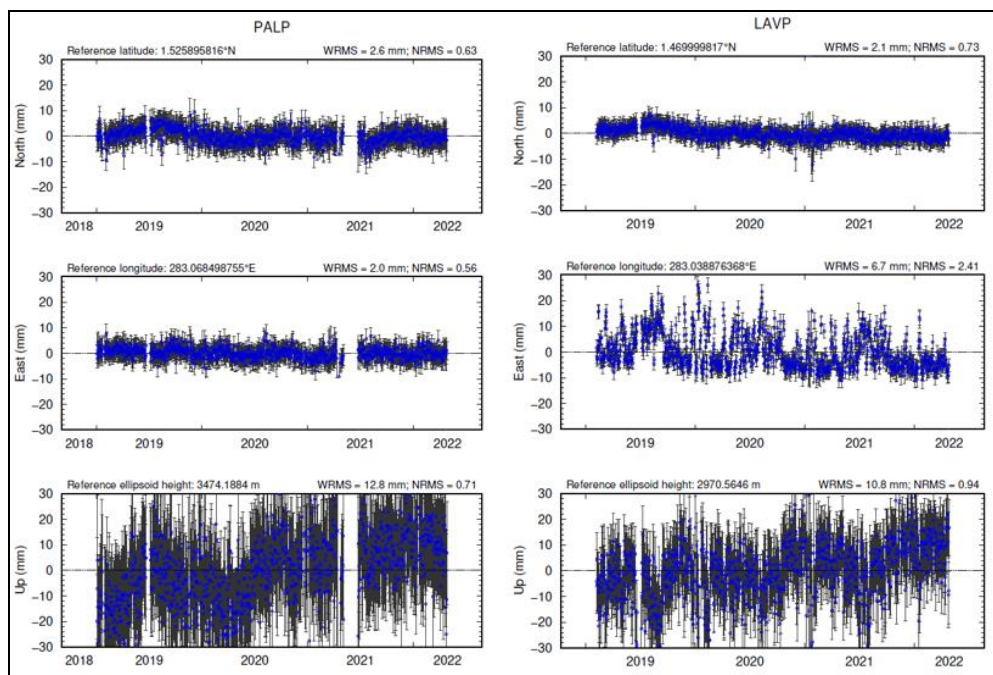


**Figura 72.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022

#### 4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Doña Juana, dos estaciones GNSS Permanentes, La Palma y Lavas, y en el volcán Las Ánimas desde inicios del mes de marzo de 2022 se tiene un GNSS emplazado en el sitio de la estación multiparamétrica Petroglifo.

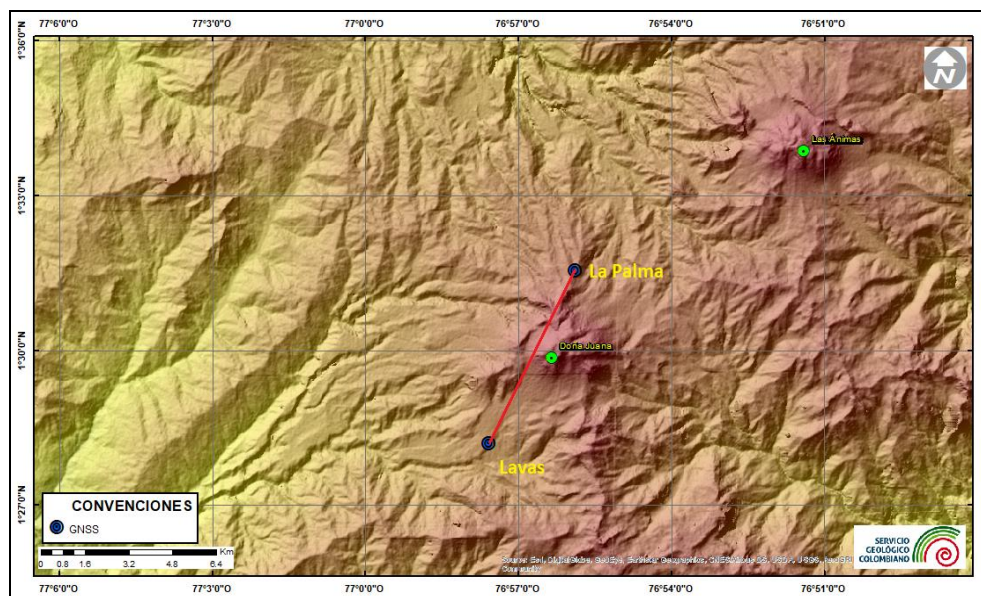
Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 73 se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, observando estabilidad en los registros.



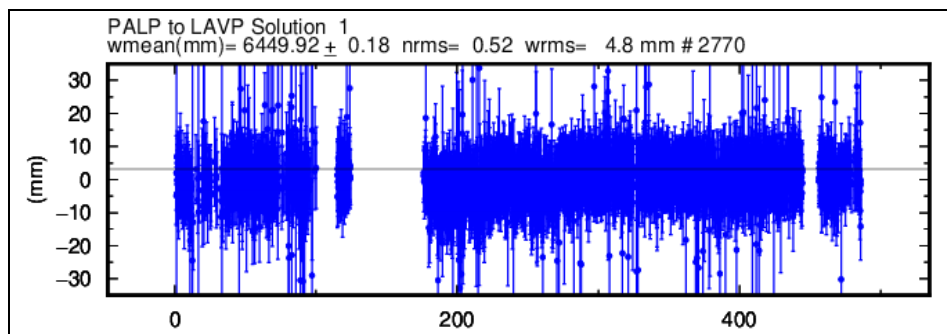
**Figura 73.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS La Palma y Lavas, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022

### Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir, un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes, en la Figura 74, se muestra su ubicación y en la Figura 75, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 74.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

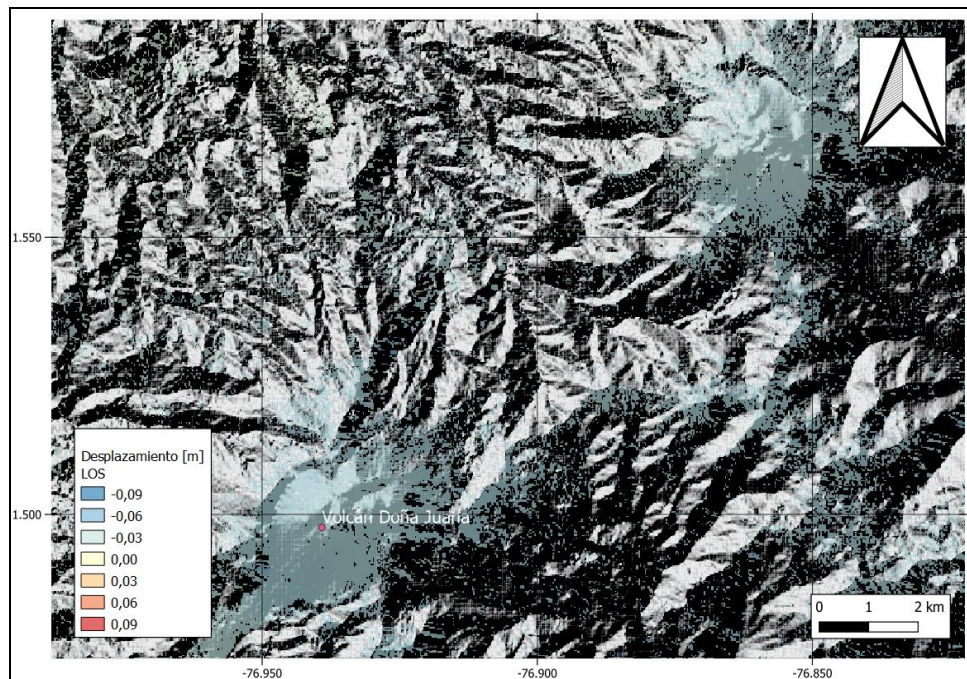


**Figura 75.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

#### 4.2.2.3. D-InSAR

En la Figura 76, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Doña Juana y Las Ánimas obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.





**Figura 76.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas

#### 4.1.4 Geoquímica

##### 4.1.4.1 Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

#### 4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de abril de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Doña Juana – Las Ánimas.

#### 4.1.6 Conclusiones

- Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en abril del 2022 se registró disminución en el número y la energía de los sismos, todos ellos asociados con fractura de roca y con magnitud local máxima de 1.4 en la escala de Richter.



La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante abril del 2022 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## **4.2 Actividad del Volcán Azufral**

### **4.2.1 Red de Vigilancia**

En la Figura 77 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana, Lobo y Mallama, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico; adicionalmente se tienen dos cámaras web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 27 se consignan algunas de sus características.

De igual forma, se cuenta con una estación meteorológica La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medida de radiación solar. Como complemento a la red de vigilancia se instaló un sensor de temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

También se tienen sensores para medición de campo magnético y eléctrico, ubicados hacia el sector de la estación multiparamétrica Lobo.

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Para el periodo evaluado se cuentan con cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Lobo, Laguna y Ventana (Figura 78)

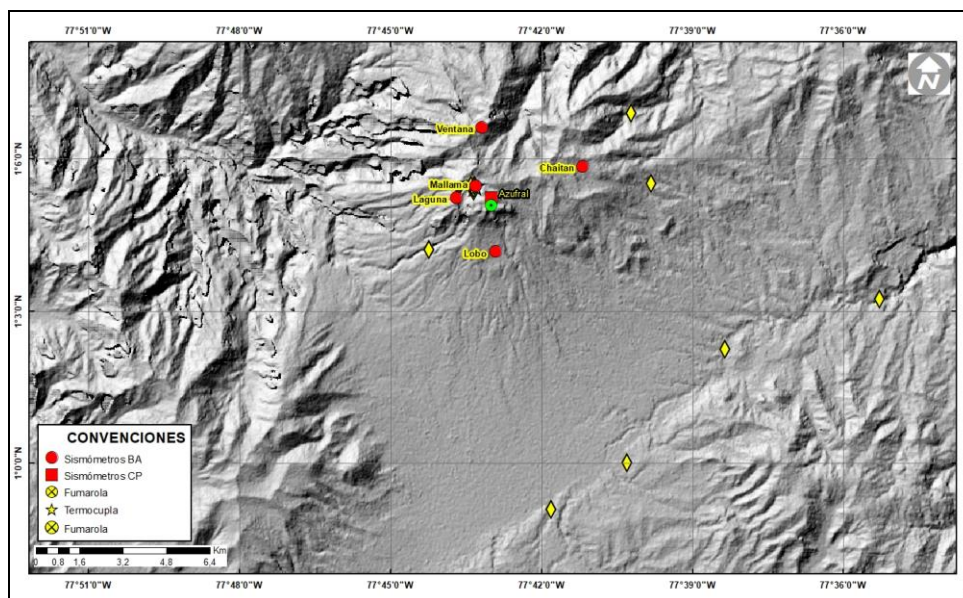


Figura 77. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de abril de 2022

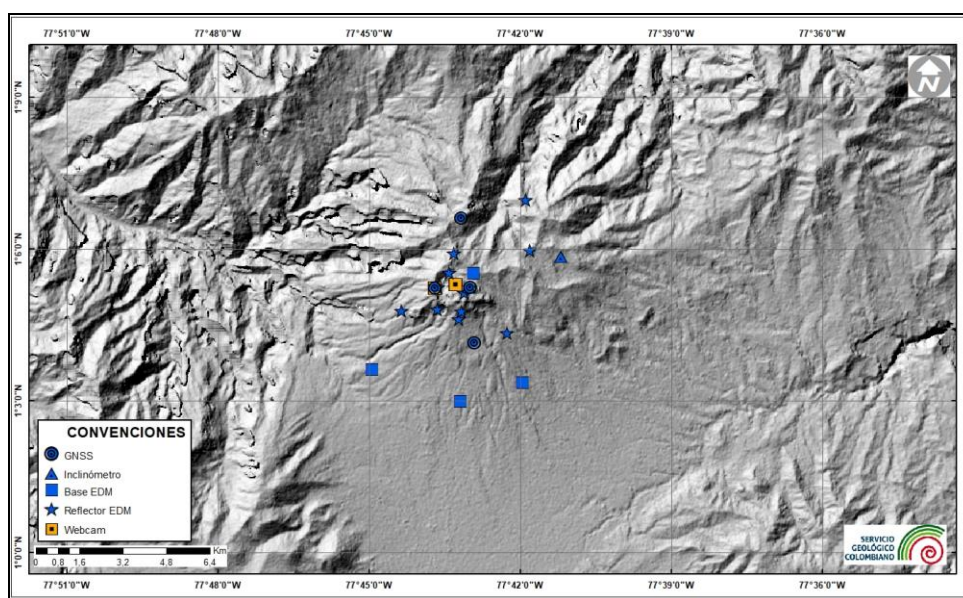
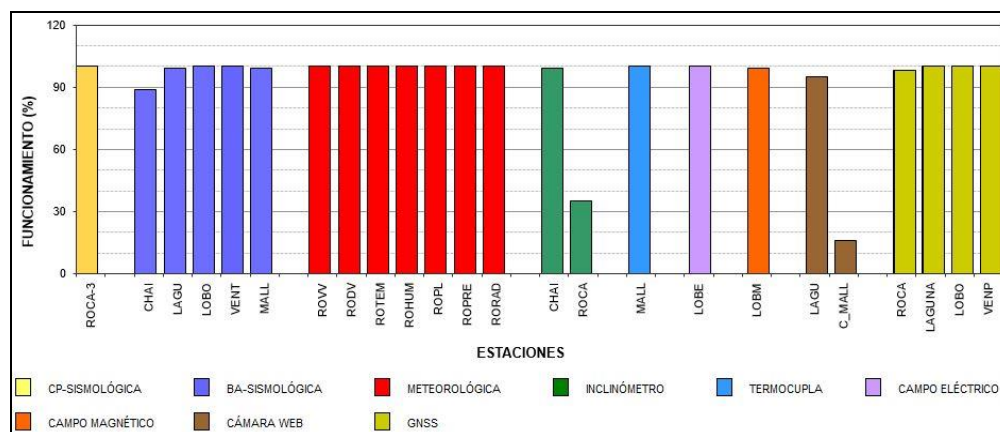


Figura 78. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de abril de 2022

**Tabla 27.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de abril de 2022

| Estación | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor            | Componente | Dist. a la Laguna Verde (Km) | Ubicación respecto a la Laguna Verde | Altitud (msnm) |
|----------|----------------------|---------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| La Roca  | Digital              | Sismómetro Corto periodo  | Triaxial   | 1.2                          | E                                    | 4025           |
| Chaitán  | Digital              | Sismómetro de Banda Ancha | Triaxial   | 4.3                          | ENE                                  | 3730           |
| Laguna   | Digital              | Sismómetro de Banda Ancha | Triaxial   | 0.5                          | SW                                   | 3921           |
| Lobo     | Digital              | Sismómetro de Banda Ancha | Triaxial   | 2.4                          | SE                                   | 3569           |
| Mallama  | Digital              | Sismómetro de Banda Ancha | Triaxial   | 0.5                          | NW                                   | 3802           |
| Ventana  | Digital              | Sismómetro de Banda Ancha | Triaxial   | 2.5                          | NE                                   | 3981           |
| La Roca  | Digital              | Inclinómetro electrónico  | Biaxial    | 1.2                          | E                                    | 4025           |
| Chaitán  | Digital              | Inclinómetro electrónico  | Biaxial    | 4.3                          | ENE                                  | 3730           |
| Mallama  | Digital              | Termocupla                | Uniaxial   | 0.5                          | NW                                   | 3802           |
| Lobo     | Digital              | Autopotencial             | Biaxial    | 0,4                          | SE                                   | 3569           |
| Lobo_EM  | Digital              | Magnetómetro              | Biaxial    | 0,5                          | SE                                   | 3569           |
| La Roca  | Digital              | GNSS                      | Triaxial   | 1.2                          | E                                    | 4025           |
| Laguna   | Digital              | GNSS                      | Triaxial   | 0.5                          | SW                                   | 3921           |
| Lobo     | Digital              | GNSS                      | Triaxial   | 2.4                          | SE                                   | 3569           |
| Ventana  | Digital              | GNSS                      | Triaxial   | 2.5                          | NE                                   | 3981           |

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 93% para este mes (Figura 73).



**Figura 79.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante abril de 2022

#### 4.2.2 Sismología

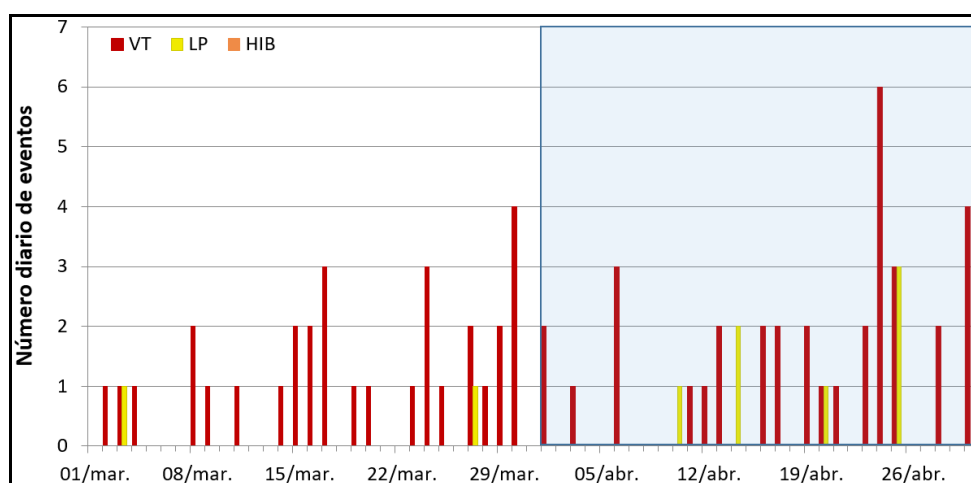
Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en abril del 2022 la sismicidad en el volcán Azufral se incrementó un 27%, pasando de 33 a 42 eventos, la mayoría asociados con fractura de roca VT (Figura 80, Tabla 28). El pico de ocurrencia sísmica se registró en los días 24 y 25 de abril con 6 eventos VT (Figura 80). La energía sísmica liberada incrementó 59 veces su valor, pasando de  $1.52 \times 10^{11}$  ergios a  $8.99 \times 10^{12}$  ergios, correspondiendo en su totalidad a los eventos VT (Tabla 29, Figura 81)). El pico energético se registró el 16 de abril con  $8.90 \times 10^{12}$  ergios.

**Tabla 28.** Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022

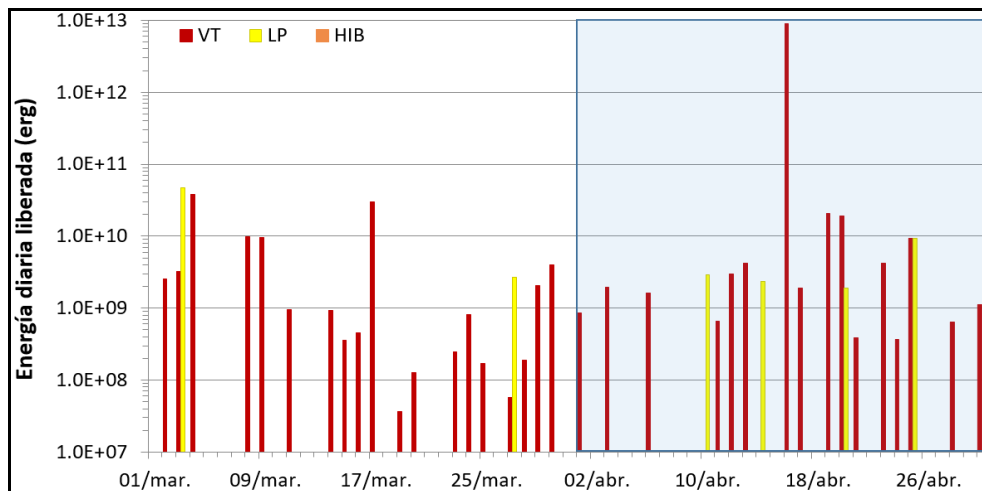
| Periodo Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                  | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Marzo 2022       | 31                         | 2   | 0   | 0   | 33    |
| Abril 2022       | 35                         | 7   | 0   | 0   | 42    |

**Tabla 29.** Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022

| Periodo Evaluado | Energía de eventos volcánicos por tipo |          |          |          |          |
|------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                  | VT                                     | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Marzo 2022       | 1.03E+11                               | 4.95E+10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.52E+11 |
| Abril 2022       | 8.97E+12                               | 1.64E+10 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.99E+12 |

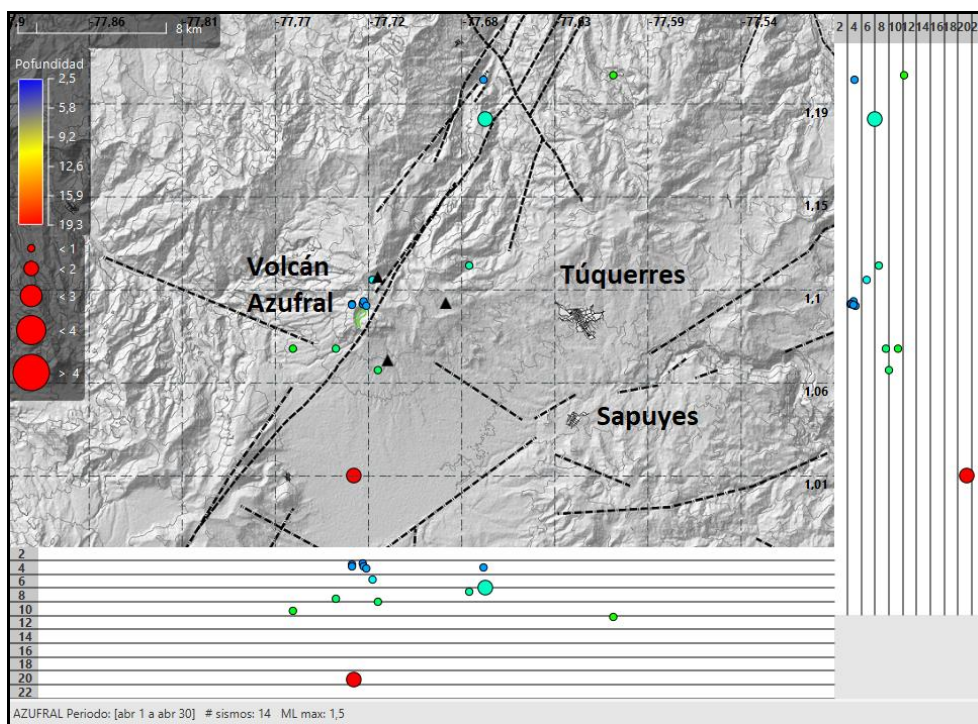


**Figura 80.** Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado



**Figura 81.** Energía diaria de sismos por tipo en Azufral, marzo y abril del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado

Se localizaron 14 sismos, que se ubicaron dispersos en la zona de influencia del volcán Azufral, en distancias entre 0.4 y 19 km, con profundidades entre 2.5 y 19 km, con respecto a la cima (4200 msnm) y ML máxima de 1.5 Richter (Figura 82).



**Figura 82.** Localizaciones de sismos VT en Azufral, abril del 2022



Los sismos localizados son de baja energía, se destacan 2 eventos VT con ML de 1.3 y 1.5 Richter y en la Tabla 30 se muestran sus características de localización.

**Tabla 30.** Sismos con ML de 1.3 y 1.5, volcán Azufraal, abril 2022

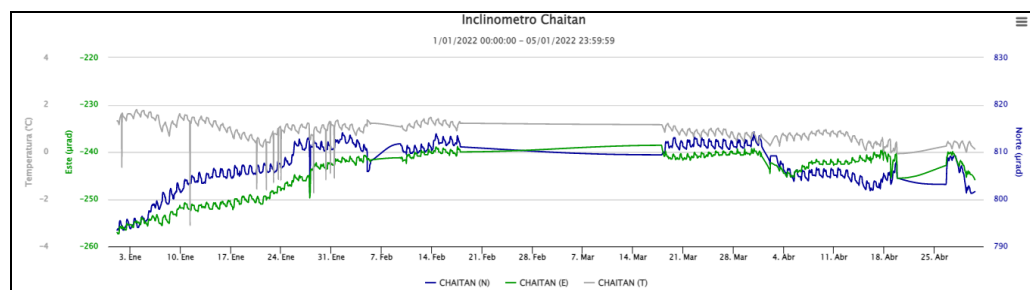
| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud  | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|-----------|----------|-----|
| 16/04/2022 | 03:17:32   | 1.18450 | -77.66450 | 6        | 1.3 |
| 19/04/2022 | 21:02:23   | 1.01017 | -77.72833 | 19       | 1.5 |

### 4.2.3 Deformación

#### 4.2.3.1 Inclinometría Electrónica

La red de deformación del volcán Azufraal cuenta con dos inclinómetros (uno de ellos está fuera de funcionamiento) y cuatro estaciones GNSS permanentes.

En el mes de marzo se realizó mantenimiento a los dos inclinómetros: Roca y Chaitán. En la Figura 83 se muestra el comportamiento de la estación Chaitán.



**Figura 83.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2022

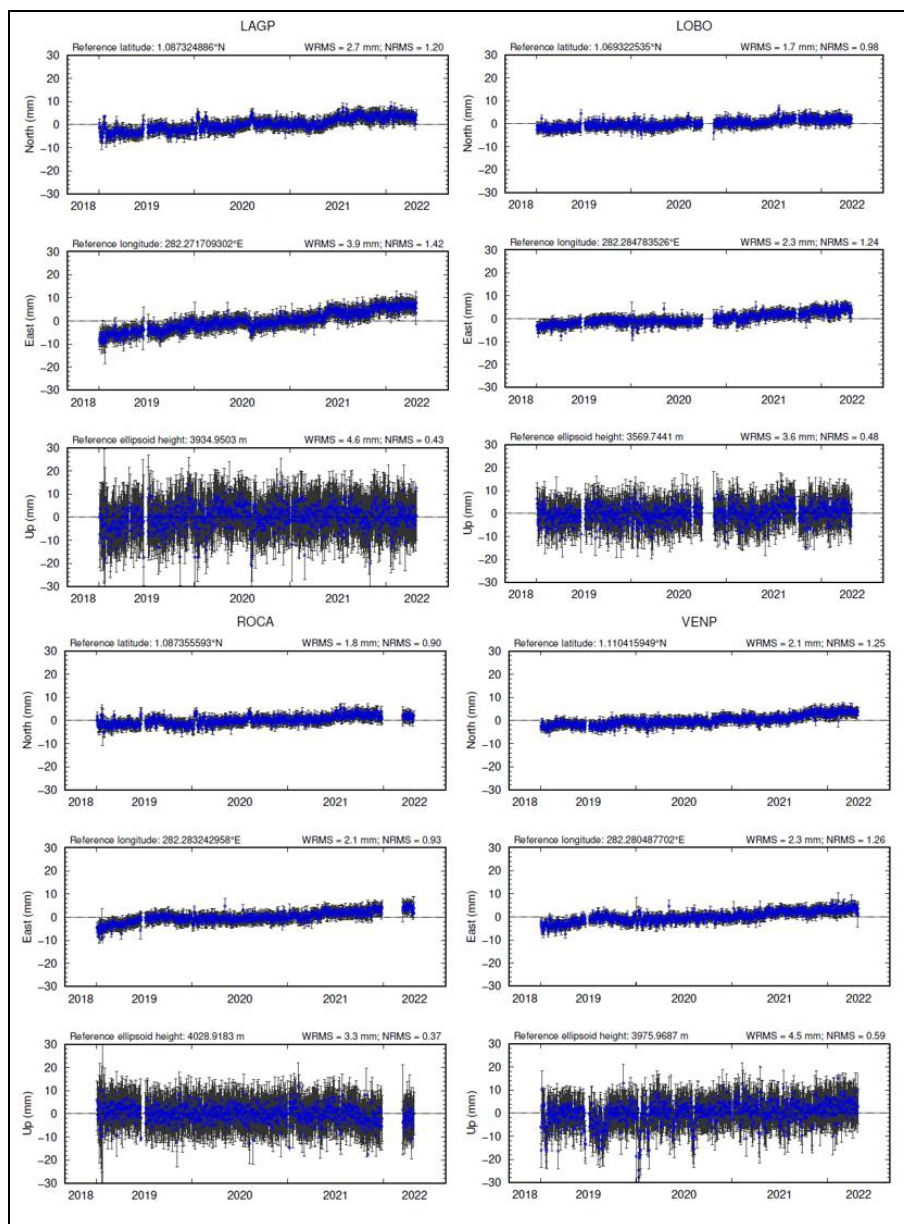
#### 4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azufraal, cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Laguna, Lobo y Ventana.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 84, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS



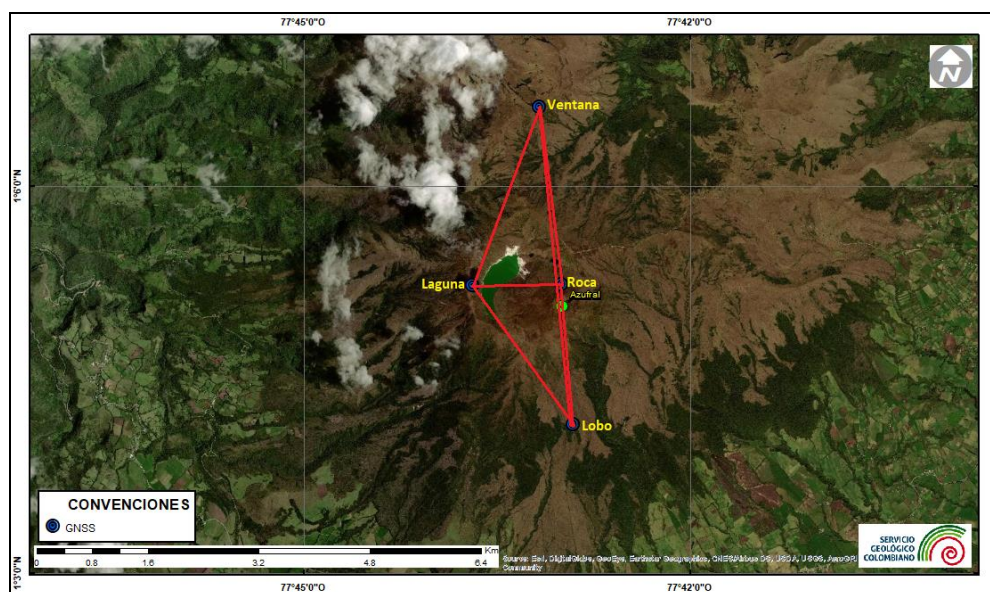
instalados en Azufraal. Se resalta la ligera tendencia ascendente en la dirección Este de estos sensores.



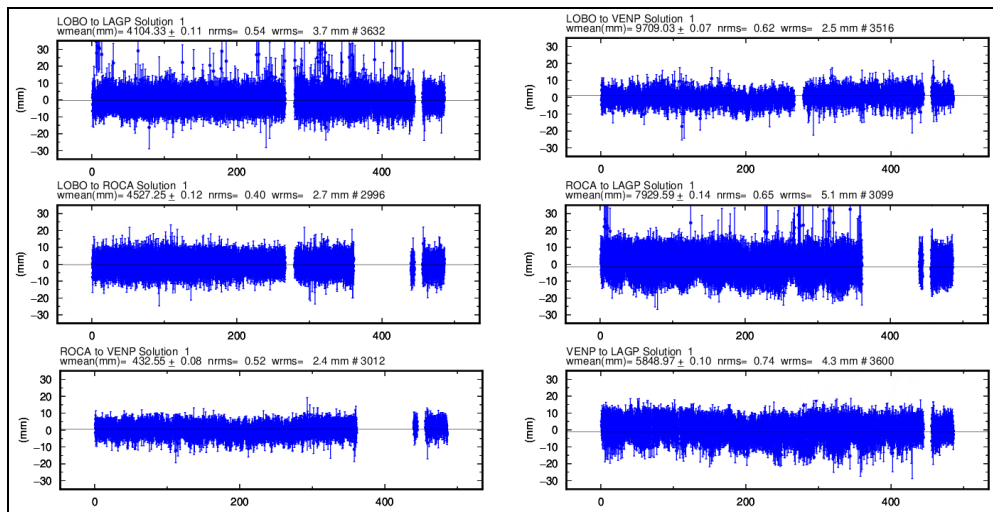
**Figura 84.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna, Lobo, Roca y Ventana instaladas en Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 23 de abril de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

## Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 85, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 86, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas líneas.



**Figura 85.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de AzufraI, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base



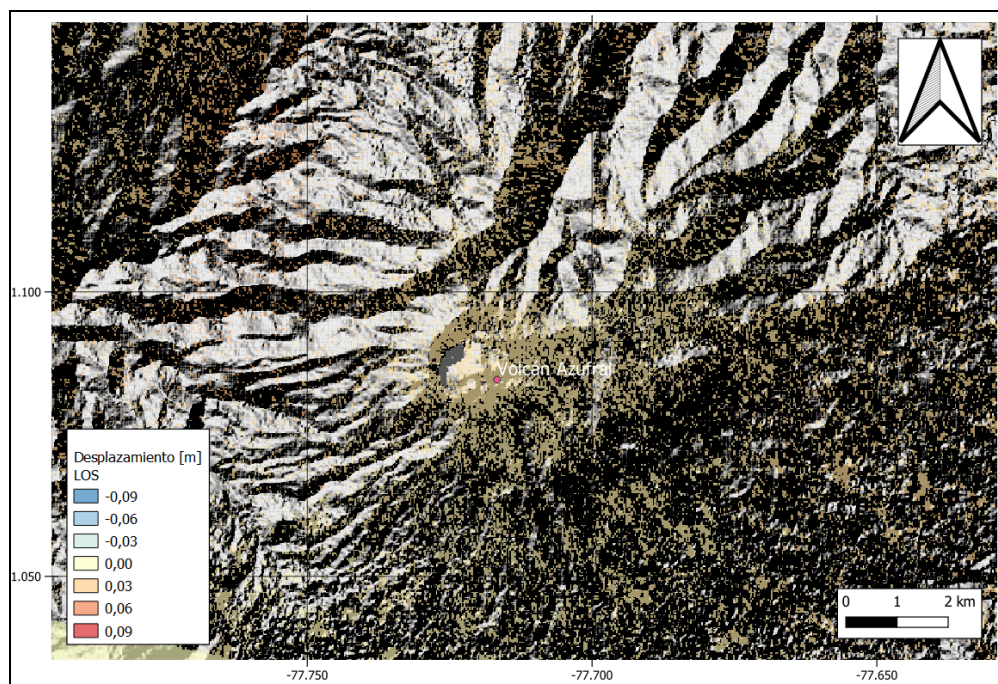
**Figura 86.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 30 de abril de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

#### 4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

#### 4.2.3.4 D\_InSAR

En la Figura 87, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Azufraal obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.



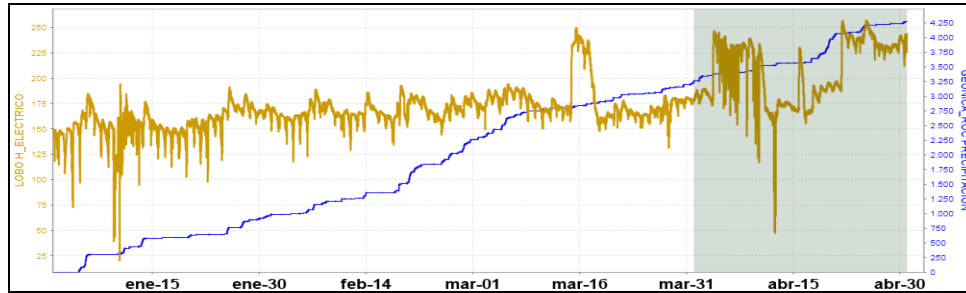
**Figura 87.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 31 de marzo de 2022 y el 12 de abril de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Azufraal

#### 4.2.4 Electromagnetismo

Para el mes de abril de 2022, el monitoreo eléctrico, en la zona de influencia del volcán Azufraal, se realizó usando la información de la estación Lobo (LOB) que cuenta dos dipolos eléctricos para medir el campo horizontal del campo eléctrico en la zona.

En el periodo entre enero y abril de 2022, el comportamiento de las series de tiempo de la estación eléctrica de LOB muestra una tendencia que ha estado influenciada por la ocurrencia de lluvias en esta zona del volcán, con un valor promedio del campo eléctrico (CE) fue de alrededor de 200 mV (Figura 88).

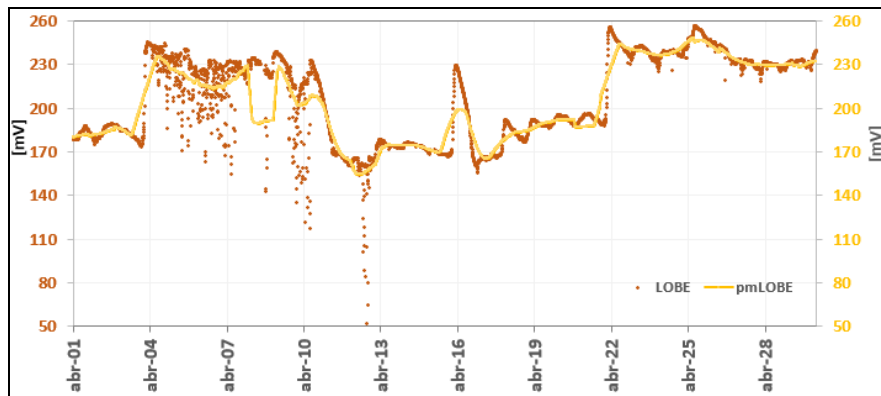




**Figura 88.** Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), juntamente con el registro de lluvia, instalado en la parte alta del volcán Azufraal

El registro de la variación del campo eléctrico horizontal (CEH) de la estación LOB para el periodo entre enero y abril de 2022 muestra una tendencia levemente ascendente con una variación cercana a los 125mV. Comparando el registro eléctrico de LOB con el fenómeno de la lluvia en la zona, se observa que en la medida que las lluvias incrementan los registros generan respuesta al aumento de fluido y transporte de iones libres en el subsuelo, mostrando pulsos como el que se observa para el día 18 de abril de 2022, asociados con el incremento de las lluvias en la zona donde se encuentra instalada la estación de LOB eléctrica (Figura 88).

Considerando el promedio móvil de los datos registrados en el mes de abril, para la estación LOB de CE, vemos que las variaciones máximas muestran valores de hasta 40 mV, aun cuando en épocas de lluvias bajas o moderadas, se obtuvieron valores diarios de variación de alrededor de 20 mV (Figura 89). Esto nos permitiría concluir que, a partir del área de Campo Eléctrico, se muestra estabilidad en los registros de actividad del volcán.



**Figura 89.** Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), para el mes de abril de 2022, con el promedio móvil, graficada en la serie amarilla superpuesta, juntamente con el sensor de lluvia (azul) ubicado en la zona de influencia del volcán Azufraal

#### 4.2.5 Geoquímica

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

##### 4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufraal

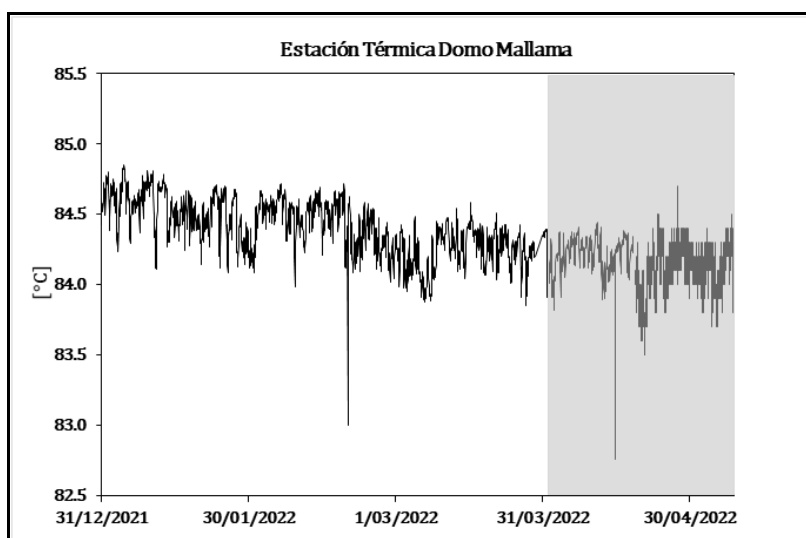
Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

##### 4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufraal

Para el mes de abril no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

##### 4.2.5.3 Estación térmica domo Mallama

El 25 de agosto del año 2021, el grupo de electrónica realizó mantenimiento correctivo a la estación térmica Domo Mallama, la encontraron destruida debido a la corrosión y acidez que se presenta en el domo, debido al daño en esta termocupla, esta se reemplazó por un cable compensado cortocircuitar más o menos a unos 20 cm de donde está el gabinete, la temperatura que se ha registrado presenta valores entre 82.8 °C y 84.8 °C (Figura 90, Tabla 31), a manera general se evidencia un leve descenso, probablemente influenciado por el periodo de lluvia que se registra en el periodo evaluado, no obstante, los valores se encuentran dentro de la línea base de comportamiento.



**Figura 90.** Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)



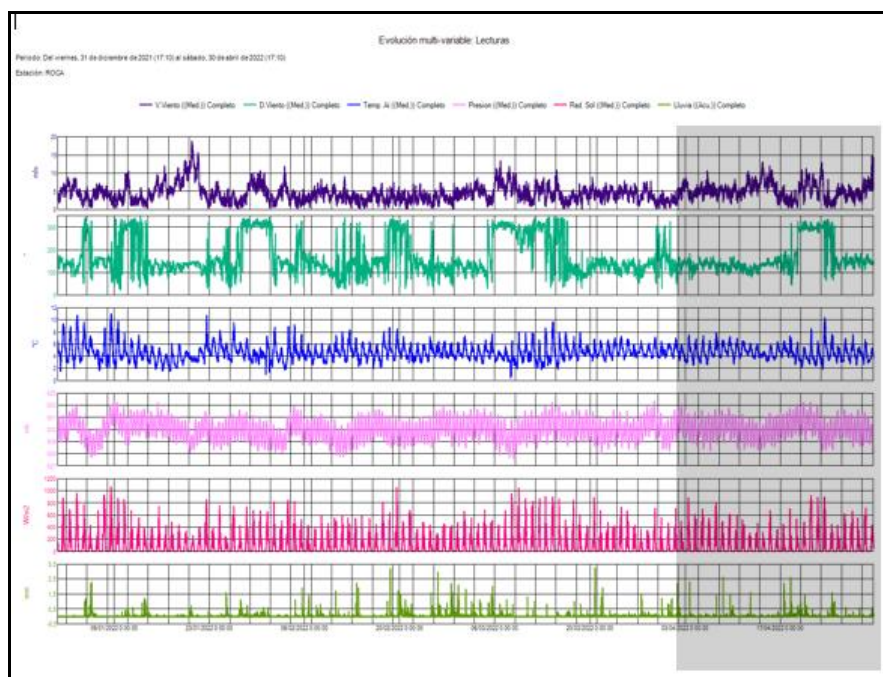
**Tabla 31.** Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral marzo - abril de 2022

| Valor    | Marzo | Abril |
|----------|-------|-------|
| Mínimo   | 83.9  | 82.8  |
| Promedio | 84.2  | 84.1  |
| Máximo   | 84.6  | 84.7  |

#### 4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el volcán Azufral se obtienen datos de las variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica, radiación solar y lluvia acumulada, parámetros que pueden influenciar y por ende correlacionar con las variables estudiadas en cada una de las áreas de vigilancia volcánica.

En la Figura 91, se muestra la gráfica temporal de los datos registrados en la estación climatológica, con una tasa de muestreo de 10 min y en la Tabla 32, algunos valores de estadística básica para el mes evaluado. De manera general, las variables se encuentran dentro de la línea base del comportamiento.



**Figura 91.** Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral. Diciembre de 2021 – abril de 2022 (región sombreada: abril)

**Tabla 32.** Datos parámetros estación climatológica La Roca – abril de 2022

|             | <b>V. Viento<br/>(Med.)<br/>(m/s)</b> | <b>D. Viento<br/>(Med.)<br/>(°)</b> | <b>Temp. Ai<br/>(Med.)<br/>(°C)</b> | <b>Presión<br/>(Med.)<br/>(mb)</b> | <b>Rad. Sol<br/>(Med.)<br/>(W/m2)</b> | <b>Lluvia<br/>(mm)</b> |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <b>Med.</b> | 5.2                                   | 162.7                               | 4.6                                 | 630.1                              | 97.5                                  | 0.0                    |
| <b>Máx.</b> | 14.7                                  | 335.4                               | 10.4                                | 632.2                              | 921.1                                 | 2.6                    |
| <b>Mín.</b> | 0.4                                   | 46.4                                | 1.8                                 | 628.0                              | 0.0                                   | 0.0                    |
| <b>Acu.</b> | --                                    | --                                  | --                                  | --                                 | --                                    | 730.1                  |

#### 4.2.6 Actividad Superficial

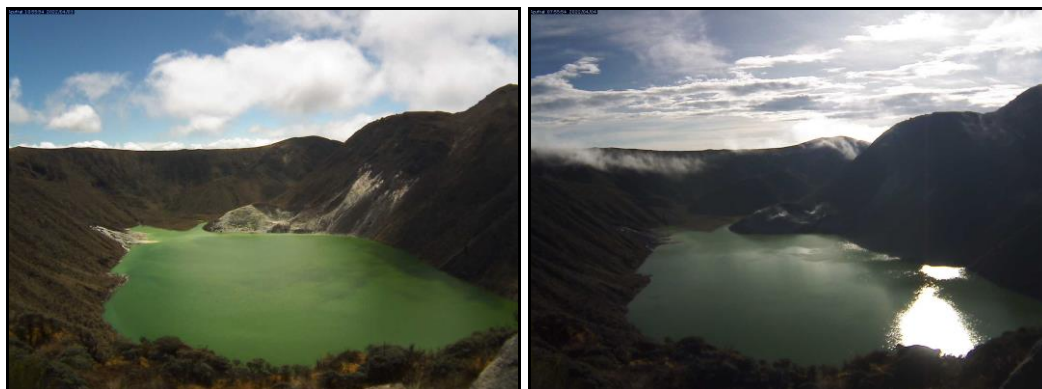
Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco, de baja altura provenientes del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 2, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 20 y 23 del mes de abril de 2022.

Se sugiere a CORPONARIÑO quien es la autoridad ambiental tomar las medidas preventivas que se estimen pertinentes, dada la alta afluencia de turistas y visitantes que suele tener el cráter del Volcán Azufraal.

En las Figuras 92 a 100 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufraal.



**Figura 92.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas el 1 de abril de 2022 a las 6:05 a.m., (izquierda) y el 2 de abril de 2022 a las 7:55 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 93.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 3 de abril de 2022 a las 10:55 a.m., (izquierda) y el 4 de abril de 2022 a las 7:55 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



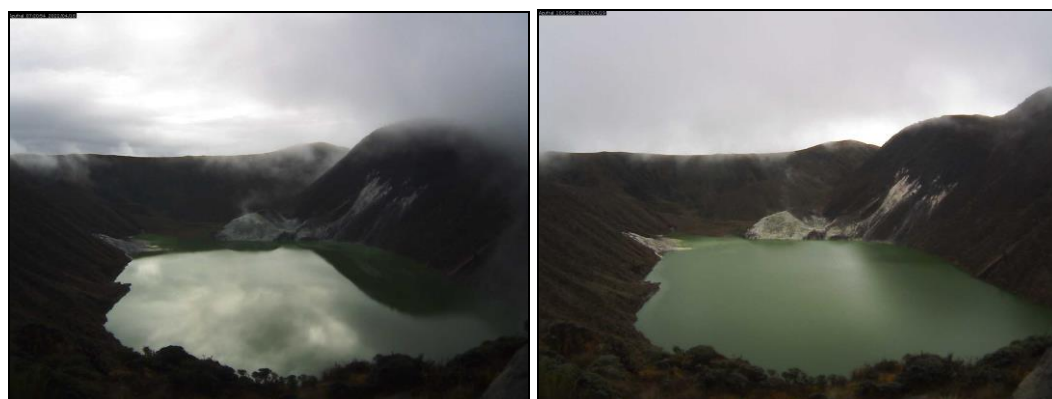
**Figura 94.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 5 de abril de 2022 a las 2:40 p.m., (izquierda) y el 7 de abril de 2022 a las 7:00 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 95.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 8 de abril de 2022 a las 2:15 p.m., (izquierda) y el 9 de abril de 2022 a las 3:35 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 96.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 11 de abril de 2022 a las 8:05 a.m., (izquierda) y el 17 de abril de 2022 a las 4:55 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

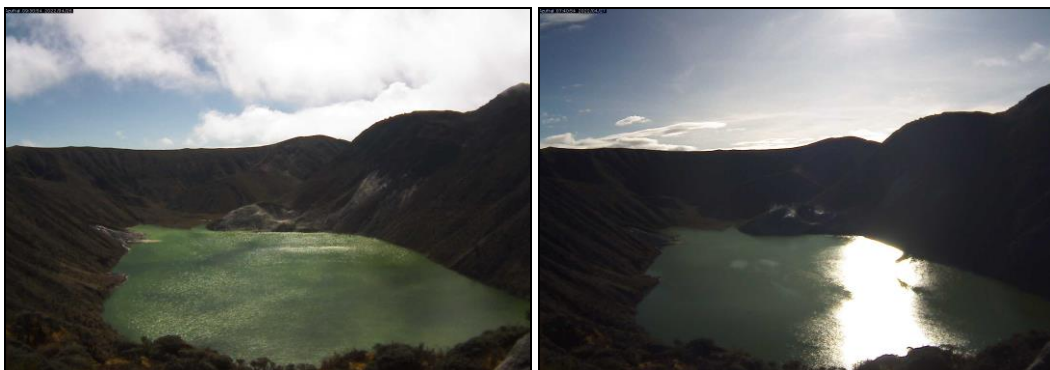


**Figura 97.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 18 de abril de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y el 19 de abril de 2022 a las 10:15 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 98.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 20 de abril de 2022 a las 10:35 a.m., (izquierda) y el 21 de abril de 2022 a las 8:35 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán





**Figura 99.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 26 de abril de 2022 a las 9:30 a.m., (izquierda) y el 27 de abril de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 100.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 28 de abril de 2022 a las 4:15 p.m., (izquierda) y el 29 de abril de 2022 a las 9:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

#### 4.2.7 Conclusiones

- En los parámetros de temperatura del Domo Mallama y las variables meteorológicas, se evidencia estabilidad, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.
- Dentro de niveles bajos, en abril del 2022 la sismicidad en la zona de influencia del volcán AzufraI incrementó su ocurrencia y energía diarias, siendo en su mayoría asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 1.5 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Azuftral en abril del 2022 permitió mantener el **NIVEL VERDE** ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Google Earth Engine. (2018). *Sentinel-5P Datasets in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google Developers*. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>

Laverde, C. (2020). *Explorador TROPOMI Latinoamerica*. <https://claverde.users.earthengine.app/view/explorador-tropomi-latinoamerica#dataset=SO2;datatype=Near-real-time;center=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-77.87274494410033%2C0.9557638397447217%5D%7D;aoi=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-75.3%2C4.9%5D%7D;cloud=100;leftdate=2022-01-08;rightdate=2022-01-24;min=0;max=0.24;swipe=false;chart=cont;zoom=10;>

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2022). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azuftral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de marzo y abril del 2022. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

Información complementaria puede ser consultada en la página web del Servicio Geológico Colombiano en:

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Paginas/informes-tecnicos.aspx>