



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
FEBRERO 2021***

**San Juan de Pasto, abril de 2021**



**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

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN  | 14 |
| INTRODUCCIÓN   | 16 |
| 1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – FEBRERO DE 2021   | 17 |
| 1.1 Red de Vigilancia  | 17 |
| 1.2 Sismología   | 23 |
| 1.3 Deformación  | 26 |
| 1.3.1 Inclínometría Electrónica  | 26 |
| 1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes  | 30 |
| 1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM   | 33 |
| 1.4 Electromagnetismo  | 34 |
| 1.5 Geoquímica   | 37 |
| 1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico  | 37 |
| 1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo  | 37 |
| 1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales  | 39 |
| 1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales  | 39 |
| 1.6 Actividad Superficial  | 40 |
| 1.7 Conclusiones   | 42 |
| 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – FEBRERO DE 2021  | 43 |
| 2.1 Red de Vigilancia  | 43 |
| 2.2 Sismología   | 46 |
| 2.3 Deformación  | 50 |
| 2.4 Electromagnetismo  | 52 |
| 2.5 Geoquímica   | 52 |
| 2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales  | 52 |
| 2.6 Actividad Superficial  | 52 |
| 2.7 Conclusiones   | 55 |
| 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER -<br>FEBRERO DE 2021            | 55 |
| 3.1 Ubicación Geográfica   | 55 |
| 3.2 Red de Vigilancia  | 56 |
| 3.3 Sismología   | 59 |
| 3.4 Deformación  | 63 |
| 3.4.1 Inclínometría Electrónica  | 63 |
| 3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes  | 64 |
| 3.5 Electromagnetismo  | 66 |
| 3.6 Geoquímica   | 69 |
| 3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro<br>Negro de Mayasquer | 69 |
| 3.6.2 Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de<br>Mayasquer        | 69 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.6.3   | Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles       | 69 |
| 3.7     | Actividad Superficial  | 69 |
| 3.8     | Conclusiones   | 69 |
| 4       | ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – FEBRERO DE 2021 | 71 |
| 4.1     | Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.                           | 72 |
| 4.1.1   | Red de Vigilancia  | 72 |
| 4.1.2   | Sismología   | 73 |
| 4.1.3   | Deformación  | 75 |
| 4.1.3.1 | Inclinometría Electrónica  | 75 |
| 4.1.3.2 | Estaciones GNSS Permanentes  | 78 |
| 4.1.4   | Geoquímica   | 80 |
| 4.1.4.1 | Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana     | 80 |
| 4.1.5   | Actividad Superficial  | 81 |
| 4.1.6   | Conclusiones   | 81 |
| 4.2     | Actividad del Volcán AzufraI   | 81 |
| 4.2.1   | Red de Vigilancia  | 81 |
| 4.2.2   | Sismología   | 84 |
| 4.2.3   | Deformación  | 86 |
| 4.2.3.1 | Inclinometría Electrónica  | 86 |
| 4.2.3.2 | Estaciones GNSS Permanentes  | 86 |
| 4.2.3.3 | Medición Electrónica de Distancias – EDM                                     | 90 |
| 4.2.4   | Electromagnetismo  | 90 |
| 4.2.5   | Geoquímica   | 90 |
| 4.2.5.1 | Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán AzufraI                        | 90 |
| 4.2.5.2 | Muestreo de gases de origen volcánico- volcán AzufraI                        | 90 |
| 4.2.5.3 | Estación térmica Mallama volcán AzufraI                                      | 90 |
| 4.2.5.4 | Estación Climatológica La Roca   | 90 |
| 4.2.6   | Actividad Superficial  | 91 |
| 4.2.7   | Conclusiones   | 94 |
| 5       | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS   | 94 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2021   | 19 |
| <b>Figura 2.</b> Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2021   | 19 |
| <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 febrero de 2021   | 21 |
| <b>Figura 4.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemetrico del volcán Galeras en febrero de 2021   | 22 |
| <b>Figura 5.</b> Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante enero y febrero del 2021; el recuadro indica el periodo evaluado  | 23 |
| <b>Figura 6.</b> Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero 2021  | 24 |
| <b>Figura 7.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante enero y febrero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado  | 25 |
| <b>Figura 8.</b> Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, febrero 2021   | 25 |
| <b>Figura 9.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021 (izquierda) y entre el 1 de octubre de 2020 y el 28 de febrero de 2021 (derecha) | 27 |
| <b>Figura 10.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 29 de febrero de 2021 (izquierda) y entre el 1 de noviembre de 2020 y el 28 de febrero de 2021                   | 27 |
| <b>Figura 11.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 28 de febrero de 2021   | 28 |
| <b>Figura 12.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021  | 28 |
| <b>Figura 13.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021   | 29 |
| <b>Figura 14.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 28 de febrero de 2021   | 29 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 15.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021                                      | 30 |
| <b>Figura 16.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK            | 31 |
| <b>Figura 17.</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                               | 32 |
| <b>Figura 18.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada   | 33 |
| <b>Figura 19.</b> CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde)) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre noviembre de 2020 y febrero de 2021                                 | 35 |
| <b>Figura 20.</b> Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares en la estación FRA entre enero y febrero de 2021  | 36 |
| <b>Figura 21.</b> Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras FRA, para el periodo comprendido entre noviembre de 2020 y febrero de 2021. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm  | 36 |
| <b>Figura 22.</b> Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, entre enero y febrero de 2021   | 37 |
| <b>Figura 23.</b> Concentración de radón difuso en suelo para la estación Lirios - Volcán Galeras, para el periodo noviembre de 2020 y febrero de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)  | 38 |
| <b>Figura 24.</b> Concentración de radón difuso en suelo para la estación Parques - Volcán Galeras, para el periodo noviembre de 2020 y febrero de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas) | 38 |
| <b>Figura 25.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 3 de febrero de 2021 a las 6:15 p.m., (izquierda) y el día 6 de febrero de 2021 a las 8:10 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 el día 7 de febrero de 2021 a las 7:42 a.m., (izquierda) y el día 8 de febrero de 2021 a las 6:06 p.m., (derecha)   | 41 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 27.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 9 de febrero de 2021 a las 6:39 a.m., (izquierda) y el día 11 de febrero de 2021 a las 6:28 p.m., (derecha)   | 41 |
| <b>Figura 28.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 13 de febrero de 2021 a las 8:19 a.m., (izquierda) y el día 15 de febrero de 2021 a las 6:56 a.m., (derecha)  | 41 |
| <b>Figura 29.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 16 de febrero de 2021 a las 4:15 p.m., (izquierda) y el día 17 de febrero de 2021 a las 6:28 a.m., (derecha)  | 42 |
| <b>Figura 30.</b> Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 20 de febrero de 2021 a las 7:55 a.m., (izquierda) y el día 21 de febrero de 2021 a las 9:35 a.m., (derecha)  | 42 |
| <b>Figura 31.</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 febrero de 2021  | 44 |
| <b>Figura 32.</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 febrero de 2021   | 45 |
| <b>Figura 33.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2021  | 45 |
| <b>Figura 34.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante enero y febrero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado   | 46 |
| <b>Figura 35.</b> Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero 2021  | 47 |
| <b>Figura 36.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante enero y febrero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado   | 48 |
| <b>Figura 37.</b> Sismogramas, señal filtrada y espectros en frecuencia de los 2 eventos TOR de febrero 2021 en la componente vertical de la estación Limones del CVC  | 49 |
| <b>Figura 38.</b> Sismos localizados en el CVC, febrero 2021   | 49 |
| <b>Figura 39.</b> 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 2018 y el 28 de febrero de 2021     | 50 |
| <b>Figura 40.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021 | 51 |
| <b>Figura 41.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo   |    |

|   |    |
|---|----|
| volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021   | 51 |
| <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 el día 4 de febrero de 2021 a las 6:55 a.m., (izquierda) y el día 6 de febrero de 2021 a las 9:00 a.m., (derecha)                   | 52 |
| <b>Figura 43.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 7 de febrero de 2021 a las 05: 34 p.m., (izquierda) y el Boliche, el día 8 de febrero de 2021 a las 7:15 a.m., (derecha) | 53 |
| <b>Figura 44.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 9 de febrero de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:11 a.m., (izquierda) y Punta Vieja para el día 10 de febrero de 2021 a las 6:38 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 el día 11 de febrero de 2021 a las 6:33 a.m., (izquierda) y el día 13 de febrero de 2021 a las 7:40 a.m., (derecha)                 | 53 |
| <b>Figura 46.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 15 de febrero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:57 a.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 16 de febrero de 2021 a las 6:25 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 el día 17 de febrero de 2021 a las 9:23 a.m., (izquierda) y el día 19 de febrero de 2021 a las 6:43 p.m., (derecha)                 | 54 |
| <b>Figura 48.</b> Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 20 de febrero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 2:08 p.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 21 de febrero de 2021 a las 7:08 a.m., (derecha)        | 54 |
| <b>Figura 49.</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 el día 22 de febrero de 2021 a la 1:02 a.m., (izquierda) y el día 23 de febrero de 2021 a las 8:05 a.m., (derecha)                  | 55 |
| <b>Figura 50.</b> Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)  | 56 |
| <b>Figura 51.</b> Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2021  | 57 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 52.</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 febrero de 2021   | 59 |
| <b>Figura 53.</b> Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021, el recuadro resalta el periodo evaluado  | 61 |
| <b>Figura 54.</b> Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021, el recuadro indica el periodo evaluado  | 61 |
| <b>Figura 55.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en febrero 2021   | 62 |
| <b>Figura 56.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 28 de febrero de 2021   | 63 |
| <b>Figura 57.</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 enero de 2016 y el 28 de febrero de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación | 64 |
| <b>Figura 58.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 20 de febrero de 2021 (izq) y entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021 (derecha)  | 65 |
| <b>Figura 59.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano - IGEPN  | 66 |
| <b>Figura 60.</b> Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (Violeta). Periodo entre noviembre de 2020 y febrero de 2021. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)        | 68 |
| <b>Figura 61.</b> Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU entre enero y febrero de 2021   | 68 |
| <b>Figura 62.</b> 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  | 71 |
| <b>Figura 63.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de febrero de 2021   | 73 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 64.</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 febrero de 2021  | 73 |
| <b>Figura 65.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante enero y febrero 2021, para los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado  | 74 |
| <b>Figura 66.</b> Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, febrero 2021  | 75 |
| <b>Figura 67.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 28 de febrero de 2021 | 76 |
| <b>Figura 68.</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 del 2019 y el 28 de febrero de 2021                              | 77 |
| <b>Figura 69.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 28 de febrero de 2021                                   | 77 |
| <b>Figura 70.</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 7 de febrero de 2019 y el 28 de febrero de 2021                                  | 78 |
| <b>Figura 71.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021  | 79 |
| <b>Figura 72.</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 73.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada                                    | 80 |
| <b>Figura 74.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de febrero de 2021  | 82 |
| <b>Figura 75.</b> Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de febrero de 2021  | 82 |
| <b>Figura 76.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufraal durante febrero de 2021  | 83 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 77.</b> Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufraal, enero y febrero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado   | 85 |
| <b>Figura 78.</b> Localizaciones de sismos VT en Azufraal, febrero 2021   | 85 |
| <b>Figura 79.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu$ rad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021  | 86 |
| <b>Figura 80.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK                           | 87 |
| <b>Figura 81.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente La Roca instalada en Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK                          | 88 |
| <b>Figura 82.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufraal, 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 83.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada | 89 |
| <b>Figura 84.</b> Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufraal – febrero 2021  | 91 |
| <b>Figura 85.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas el 6 de febrero de 2021 a las 8:33 a.m., (izquierda) y el 7 de febrero de 2021 a las 6:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán              | 92 |
| <b>Figura 86.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas el 9 de febrero de 2021 a las 6:28 a.m., (izquierda) y el 11 de febrero de 2021 a las 7:38 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán             | 92 |
| <b>Figura 87.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas el 11 de febrero de 2021 a las 8:08 a.m., (izquierda) y el 14 de febrero de 2021 a las 7:53 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán            | 93 |
| <b>Figura 88.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas el 15 de febrero de 2021 a las 6:48 a.m., (izquierda) y el 16 de febrero de 2021 a las 6:33 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán             | 93 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 89.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 19 de febrero de 2021 a las 11:28 a.m., (izquierda) y el 20 de febrero de 2021 a las 7:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán | 93 |
| <b>Figura 90.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 22 de febrero de 2021 a las 6:13 a.m., (izquierda) y el 23 de febrero de 2021 a las 7:58 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán  | 94 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2021                                | 18 |
| <b>Tabla 2.</b> Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2021  | 20 |
| <b>Tabla 3.</b> Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2021             | 20 |
| <b>Tabla 4.</b> Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en febrero de 2021                    | 21 |
| <b>Tabla 5.</b> Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras | 22 |
| <b>Tabla 6.</b> Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras  | 22 |
| <b>Tabla 7.</b> Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, enero y febrero 2021  | 23 |
| <b>Tabla 8.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, enero y febrero 2021  | 24 |
| <b>Tabla 9.</b> Sismo con ML igual a 2.0, volcán Galeras, febrero 2021   | 24 |
| <b>Tabla 10.</b> Valores de concentración de radón, Estación Lirios –Volcán Galeras febrero de 2021  | 39 |
| <b>Tabla 11.</b> Valores de concentración de radón, Estación Parques –Volcán Galeras febrero de 2021   | 39 |
| <b>Tabla 12.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2021                   | 44 |
| <b>Tabla 13.</b> Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, enero y febrero 2021  | 46 |
| <b>Tabla 14.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, enero y febrero 2021  | 47 |
| <b>Tabla 15.</b> Sismos con ML de 2.4 y 2.5 en el CVC, febrero 2021  | 50 |
| <b>Tabla 16.</b> Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro                                    | 57 |
| <b>Tabla 17.</b> Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles                                 | 58 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 18.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en enero y febrero 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer | 59 |
| <b>Tabla 19.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021             | 60 |
| <b>Tabla 20.</b> Sismos VT con ML mayor o igual a 2.1, Chiles - Cerro Negro, febrero 2021  | 62 |
| <b>Tabla 21.</b> Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2021                      | 72 |
| <b>Tabla 22.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en enero y febrero 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas         | 74 |
| <b>Tabla 23.</b> Sismos con ML de 1.8 y 1.9, Doña Juana y Las Ánimas, febrero 2021   | 75 |
| <b>Tabla 24.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de febrero de 2021   | 83 |
| <b>Tabla 25.</b> Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, para enero y febrero 2021   | 84 |
| <b>Tabla 26.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, enero y febrero 2021   | 84 |
| <b>Tabla 27.</b> Sismo con ML igual a 2.6, volcán Azufral, febrero 2021  | 86 |
| <b>Tabla 28.</b> Datos parámetros estación climatológica La Roca - febrero 2021  | 91 |

## RESUMEN

En el mes de febrero de 2021 y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó un descenso en la ocurrencia sísmica, pasando de 104 a 70 eventos, todos ellos asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica fue de 5 eventos VT, registrado en los días 2, 6, 8, 14 y 19 de febrero. De igual forma, la energía de los sismos disminuyó en un 97% su valor, pasando de  $3.88 \times 10^{14}$  ergios a  $1.11 \times 10^{13}$  ergios. En general, los sismos se ubicaron hacia el noroccidente del cono activo a distancias entre cero y 17 km, con profundidades entre 0.8 y 14 km con respecto a la cima, en gran parte los eventos registran niveles energéticos bajos, el sismo de mayor magnitud se registró el 17 de febrero a las 9:20 p.m., de magnitud 2.0 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico Cumbal en relación al mes anterior, mostró un incremento del 25%, con un total para febrero de 2021 de 1584 eventos, donde el 71% involucran fractura al interior del volcán, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria con el 22%. El pico de ocurrencia se presentó el día 17 de febrero, con 138 eventos. La mayoría de sismos localizados se ubicaron en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, Plazuelas al noreste y Mundo Nuevo al suroccidente, el evento más energético reporto una magnitud local de 2.5 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero de 2021 disminuyó en ocurrencia un 70% lo reportado en enero, pasando de 4287 a 1295 eventos. Los eventos VT con 1263 sismos representan el 98% del total, también se registraron 31 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos. El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 18 de febrero con 237 eventos VT. Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar varias fuentes sismogénicas bien definidas principalmente hacia el sur y sur-occidente, así como también al sur-oriente del Chiles. La magnitud local máxima fue de 3.0 en la escala de Richter. Algunos de los sensores para el seguimiento de los cambios en superficie, continúan mostrando variaciones importantes, que vienen registrándose desde mayo de 2019.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2021, mostraron incremento en la ocurrencia sísmica del 17% teniendo en cuenta lo reportado en enero, para este periodo evaluado se tiene un total de 28 sismos VT. El pico de ocurrencia se registró el 15 de febrero con 5 sismos VT. En su mayoría localizados hacia el suroccidente de la zona de influencia del volcán Las Ánimas, a una distancia de hasta 4.7 km,

profundidades entre 3 y 6 km. Los sismos localizados son de baja energía, se destaca el registro de 2 VT con ML de 1.8 y 1.9 Richter.

Dentro de niveles bajos, en febrero 2021 la sismicidad del volcán Azufral, mantuvo un número similar al de enero, pasando de 30 a 29 eventos, 26 de ellos asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica fue de 5 eventos VT, el cual se registró el 20 de febrero de 2021. Los sismos localizados se ubicaron de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, destacándose un evento con magnitud local de 2.6 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido, el cual se registró el 25 de febrero a las 7:52 a.m.

## 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 – FEBRERO DE 2021**

### **1.1 Red de Vigilancia**

Para el mes de febrero de 2021 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).
- Cuatro 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, otra al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Doce 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).
- 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 volcán (Figura 3, Tabla 6).

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 80 % (Figura 4).

**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2021

| 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           |

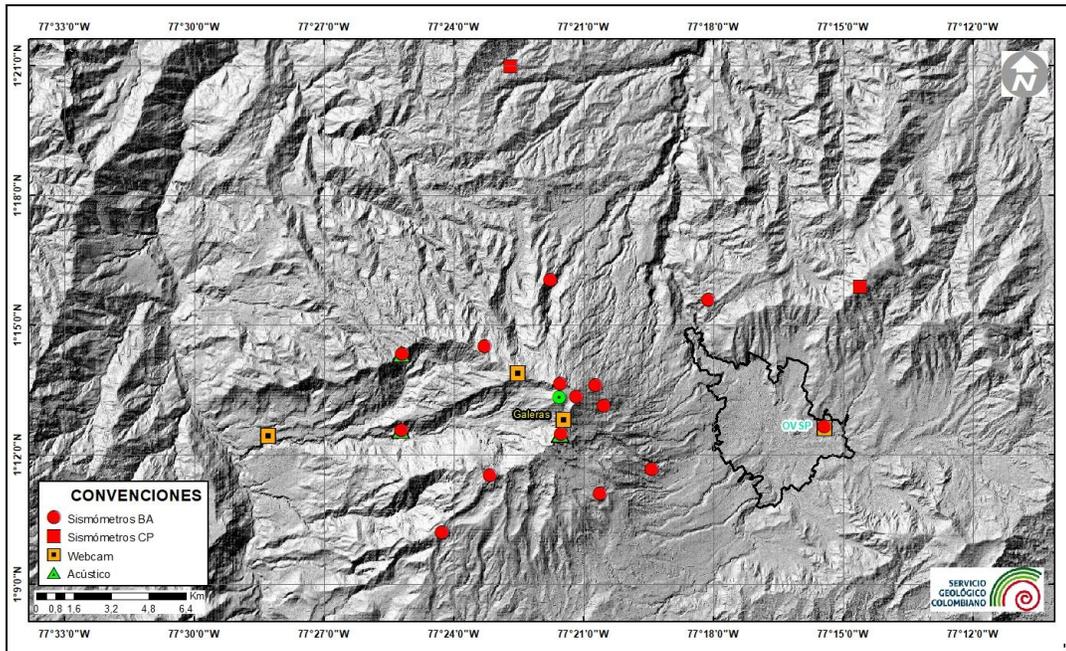


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2021

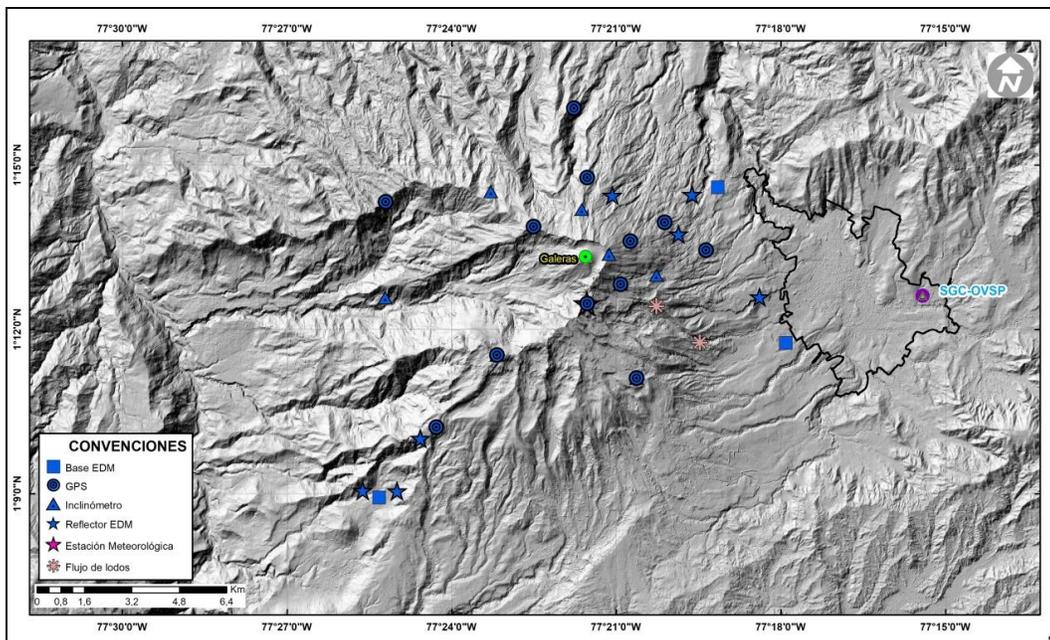


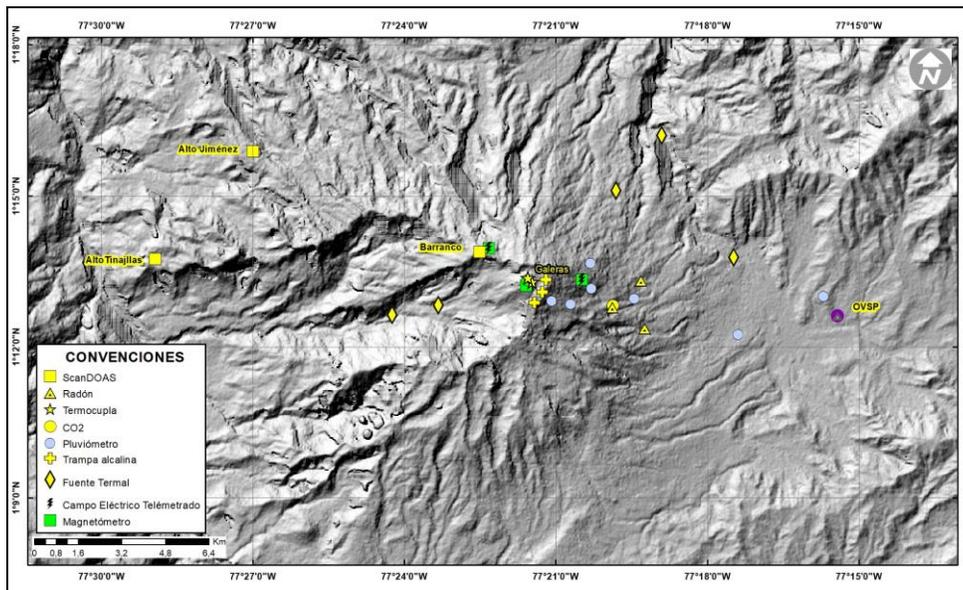
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2021

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2021

| Inclínómetros Electrónicos | Distancia al Cráter (Km) | Ubicación Respecto al Cráter Principal | Altitud (msnm) |
|----------------------------|--------------------------|--|----------------|
| 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 febrero de 2021

| Estaciones GNSS Permanentes | Distancia al Cráter (Km) | Ubicación Respecto al Cráter Principal | Altitud (msnm) |
|-----------------------------|--------------------------|--|----------------|
| 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 febrero de 2021

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en febrero de 2021

| 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           |

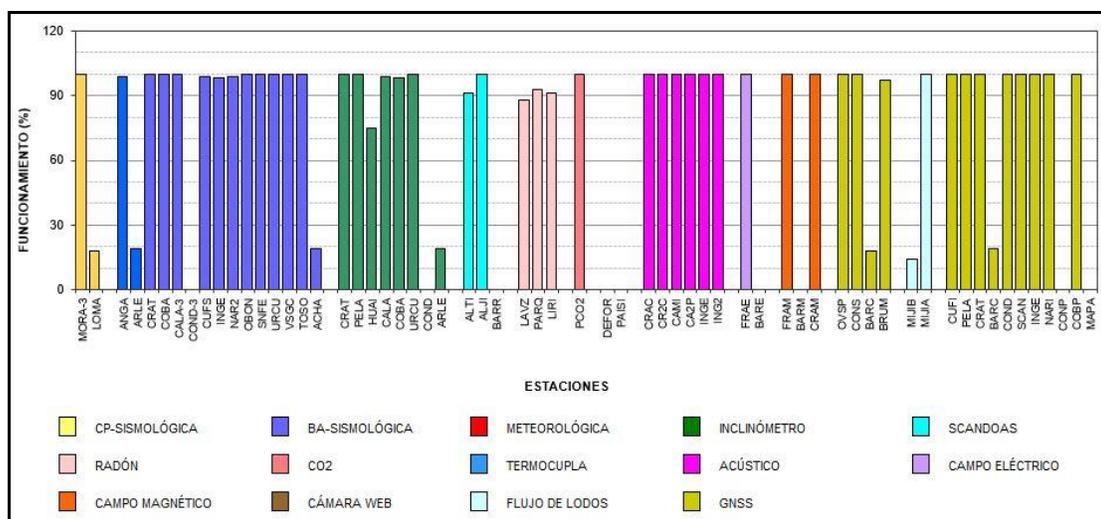
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm)

**Tabla 5.** Estaciones que monitorean las variaciones del campo de 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           |



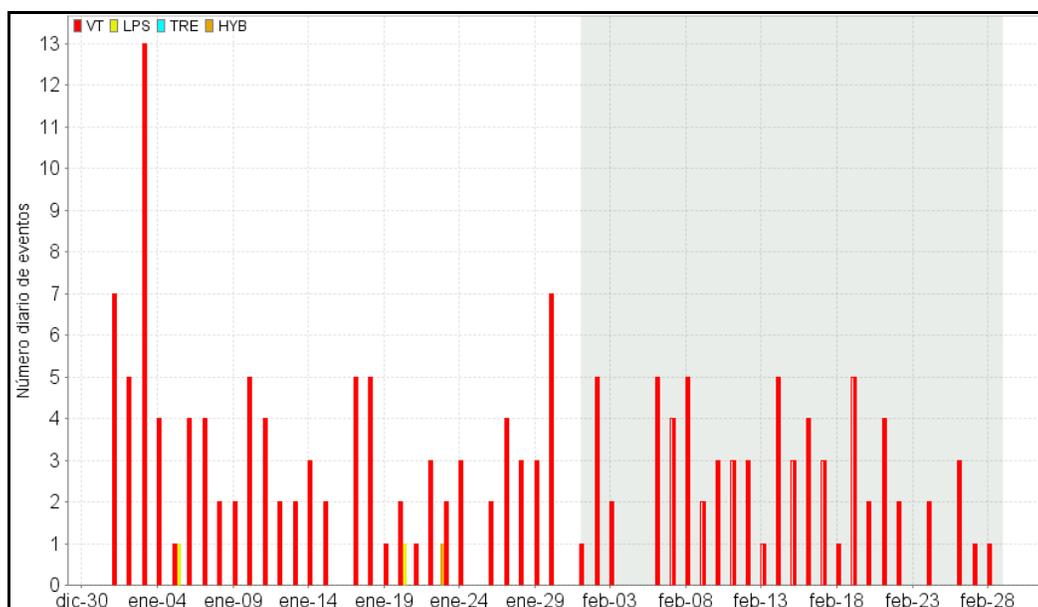
**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemetrico del volcán Galeras en febrero de 2021

## 1.2 Sismología

En febrero del 2021, la ocurrencia sísmica disminuyó un 33%, pasando de 104 a 70 eventos, con relación a enero, todos ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT). Los sismos de tipo VT disminuyeron 31% su número, pasando de 101 a 70 eventos. El pico de ocurrencia sísmica fue de 5 eventos VT, registrado en los días 2, 6, 8, 14 y 19 de febrero (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

**Tabla 7.** Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Enero 2021          | 101                        | 2   | 0   | 1   | 104   |
| Febrero 2021        | 70                         | 0   | 0   | 0   | 70    |



**Figura 5.** Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante enero y febrero del 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

La energía liberada por la sismicidad disminuyó 97%, pasando de  $3.88 \times 10^{14}$  ergios a  $1.11 \times 10^{13}$  ergios, completamente debida a los eventos VT. El pico energético se registró el 17 de febrero con  $8.86 \times 10^{12}$  ergios, debida a 3 eventos VT, uno de ellos con ML de 2.0 Richter (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

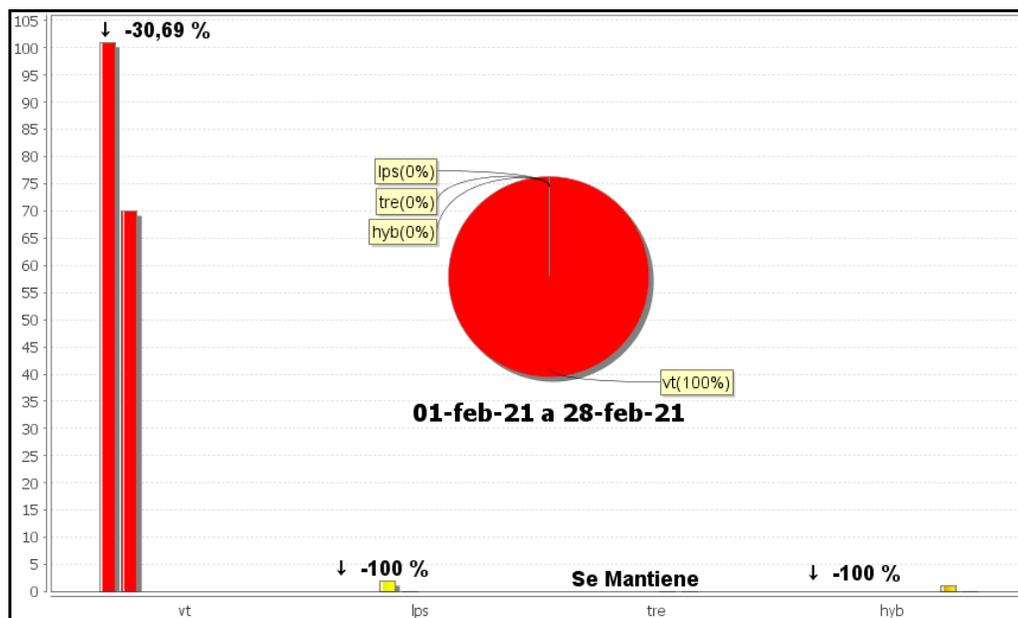


Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero 2021

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Energía de eventos por tipo |          |          |          |
|---------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|
|                     | VT                          | LPS      | HIB      | TOTAL    |
| Enero 2021          | 3.88E+14                    | 6.91E+09 | 2.48E+10 | 3.88E+14 |
| Febrero 2021        | 1.11E+13                    | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.11E+13 |

Se localizaron 41 sismos VT, la mayoría ubicados hacia el noroccidente de Galeras y otros pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en general a distancias entre cero y 17 km, con profundidades entre 0.8 y 14 km con respecto a su cima (4200 msnm) y con magnitud local máxima de 2.0 en la escala de Richter (Figura 8). El sismo más energético del mes se registró el 17 de febrero, a las 09:20 p.m., a 4.8 km al sur de Galeras, con profundidad de 4.0 km y ML de 2.0 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido.

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, solamente se destaca el evento de ML 2.0 y en la Tabla 9 se consignan sus características.

Tabla 9. Sismo con ML igual a 2.0, volcán Galeras, febrero 2021

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud | Prof. km | ML  |
|------------|------------|---------|----------|----------|-----|
| 17/02/2021 | 21:20      | 1-10.93 | 77-20.98 | 4.0      | 2.0 |

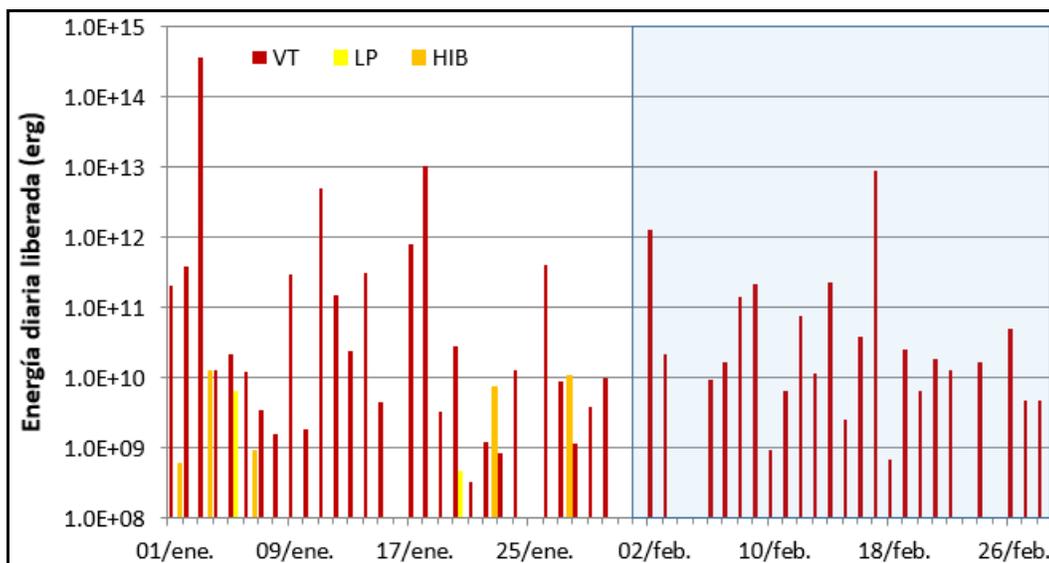


Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante enero y febrero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

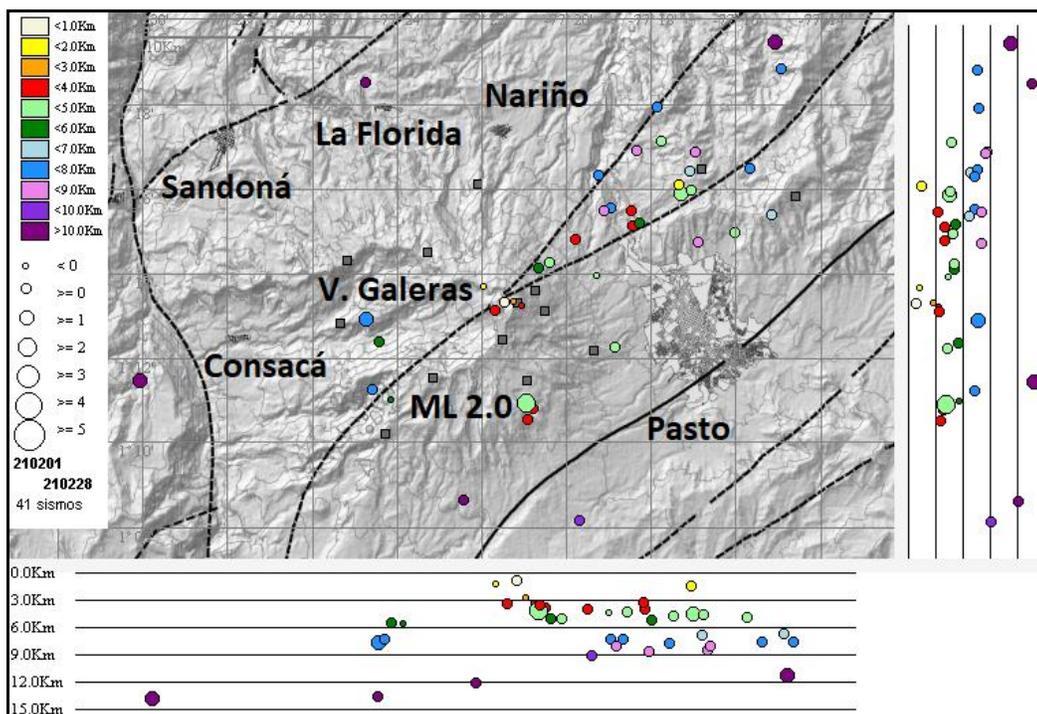


Figura 8. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, febrero 2021

## **Deformación**

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas; el inclinómetro y el GNSS Cóndor - Pasto están por fuera desde el 4 de agosto de 2020 y el GNSS Mapachico desde el 30 de agosto de 2020.

### **1.3.1 Inclinometría Electrónica**

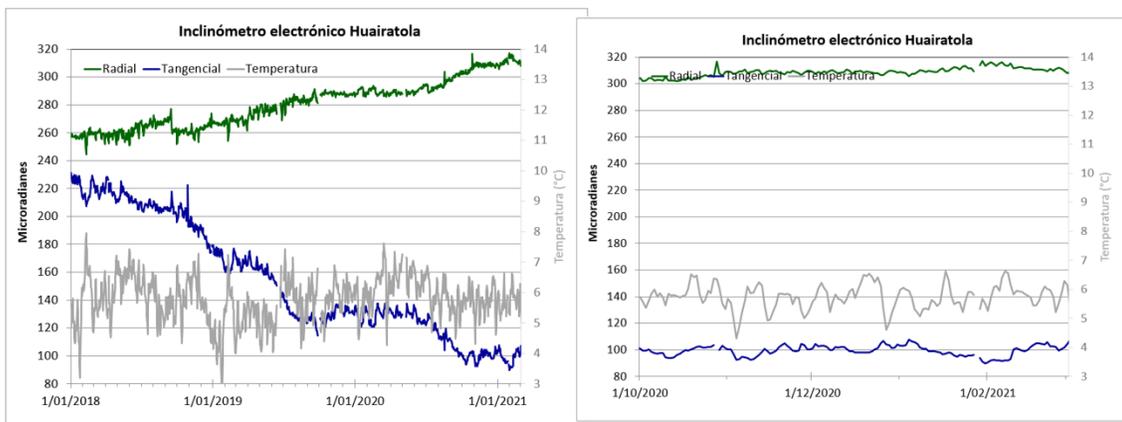
Para los últimos meses, se mantiene el comportamiento estable en las componentes de inclinación de las estaciones Huairatola y Urcunina, con variaciones que pueden estar asociadas con los cambios de temperatura ambiente (Figuras 9 y 10).

Persiste esa leve tendencia ascendente en las componentes de inclinación de Peladitos, comportamiento más pronunciado en la Radial (Figura 11), con un registro de 22  $\mu\text{rad}$  desde enero de 2015, y para la Tangencial se tiene cerca de 12  $\mu\text{rad}$  para el mismo periodo. Así mismo, continua el comportamiento levemente ascendente en la componente Este del inclinómetro Cobanegra (Figura 12), alcanzando 80  $\mu\text{rad}$  desde agosto de 2018, en contraste se tiene descenso en la Norte que desde diciembre de 2019 son 280  $\mu\text{rad}$  de variación.

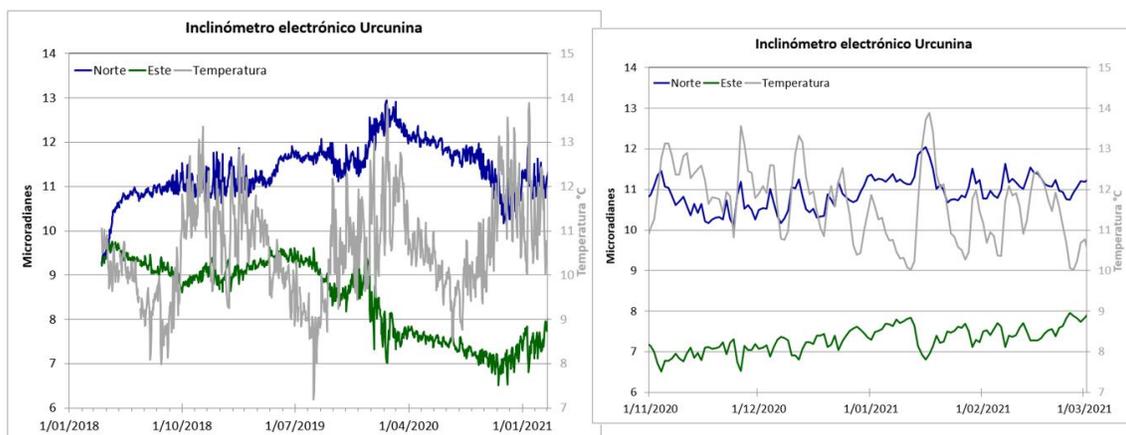
Con respecto al inclinómetro Cráter, luego de ese fuerte cambio ascendente en la componente Radial con fecha de inicio el 21 de septiembre de 2020, se observa descenso en sus dos componentes, registrando 25  $\mu\text{rad}$  para la Radial desde el 25 de diciembre de 2020 y 35  $\mu\text{rad}$  para la Tangencial para febrero de 2021 (Figura 13).

Para el inclinómetro Calabozo, continua la tendencia descendente en la componente Norte, alcanzando cerca de 310  $\mu\text{rad}$  desde septiembre de 2015 (Figura 14), por su parte la Este presenta estabilidad desde junio de 2020.

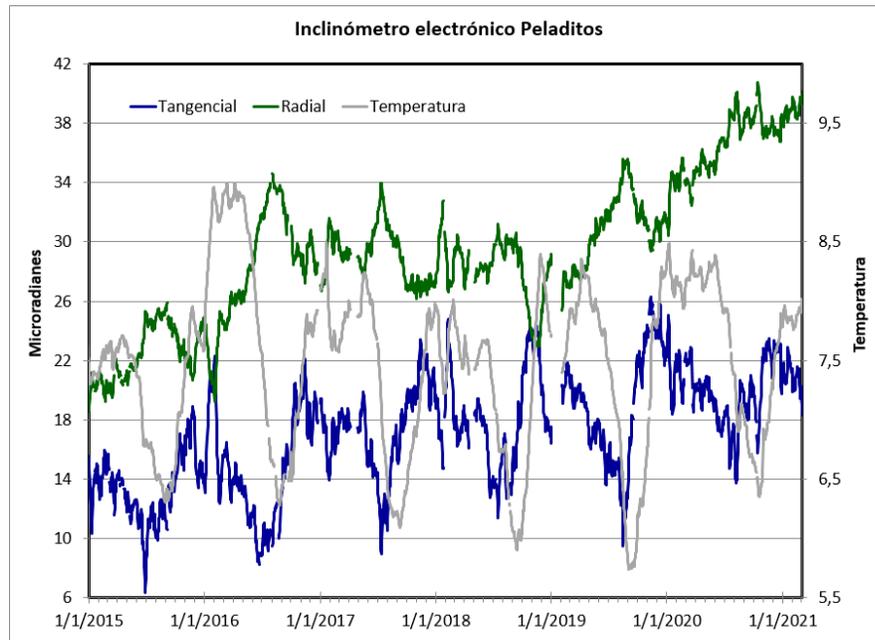
En la Figura 15 se muestra el comportamiento de las componentes del inclinómetro Arlés, señal que fue restablecida hacia finales del mes de febrero de 2021.



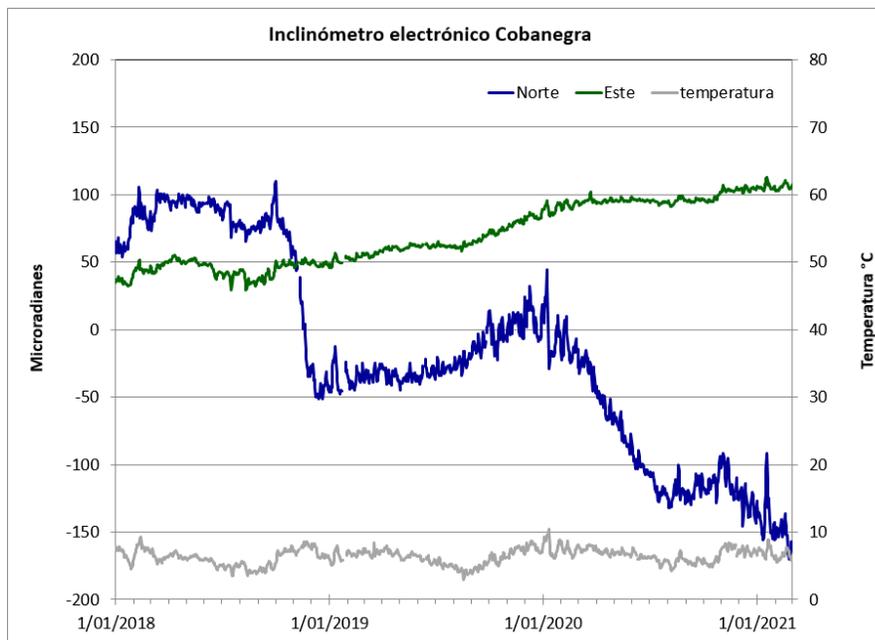
**Figura 9.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021 (izquierda) y entre el 1 de octubre de 2020 y el 28 de febrero de 2021 (derecha)



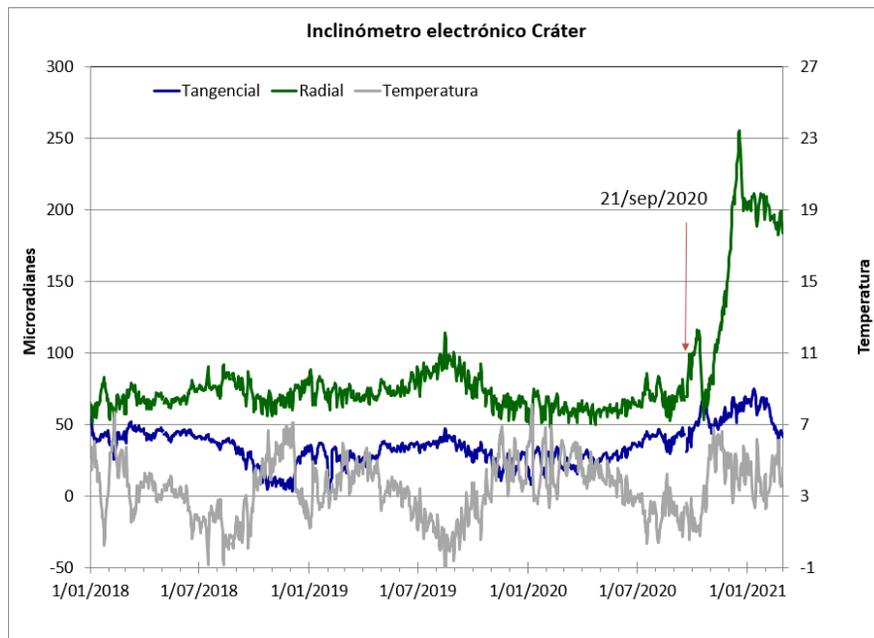
**Figura 10.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 29 de febrero de 2021 (izquierda) y entre el 1 de noviembre de 2020 y el 28 de febrero de 2021



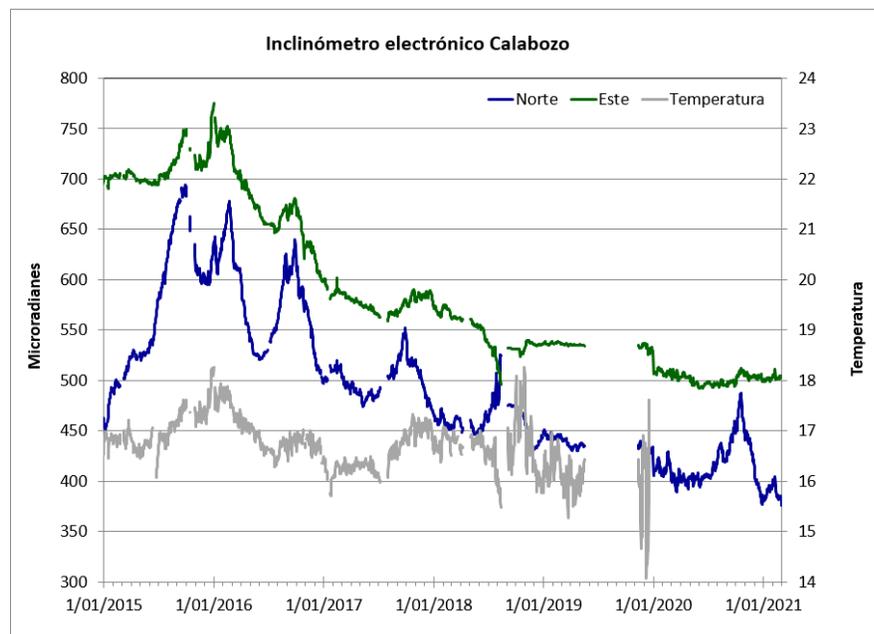
**Figura 11.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 28 de febrero de 2021



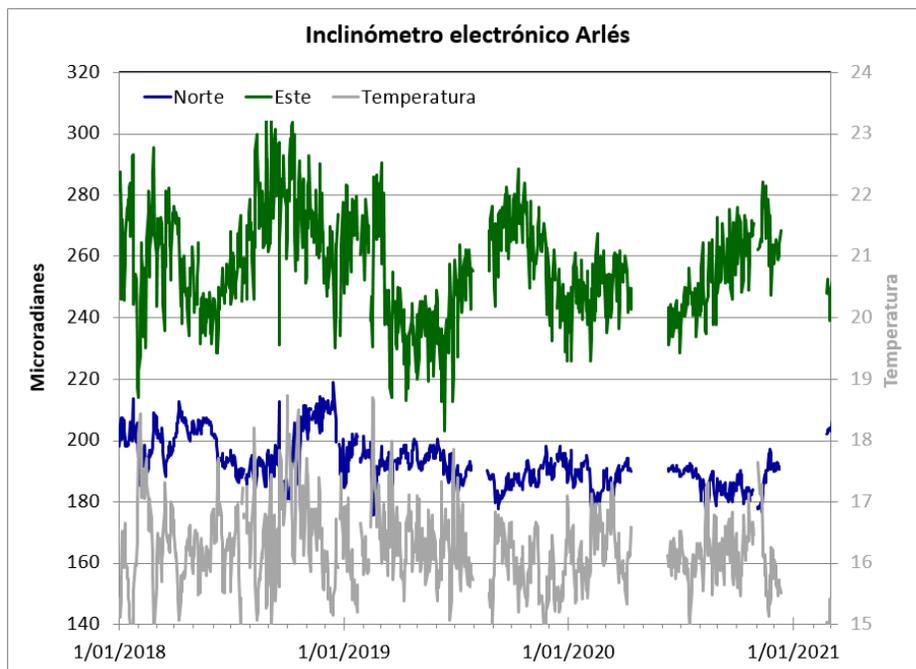
**Figura 12.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 13.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 14.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 28 de febrero de 2021



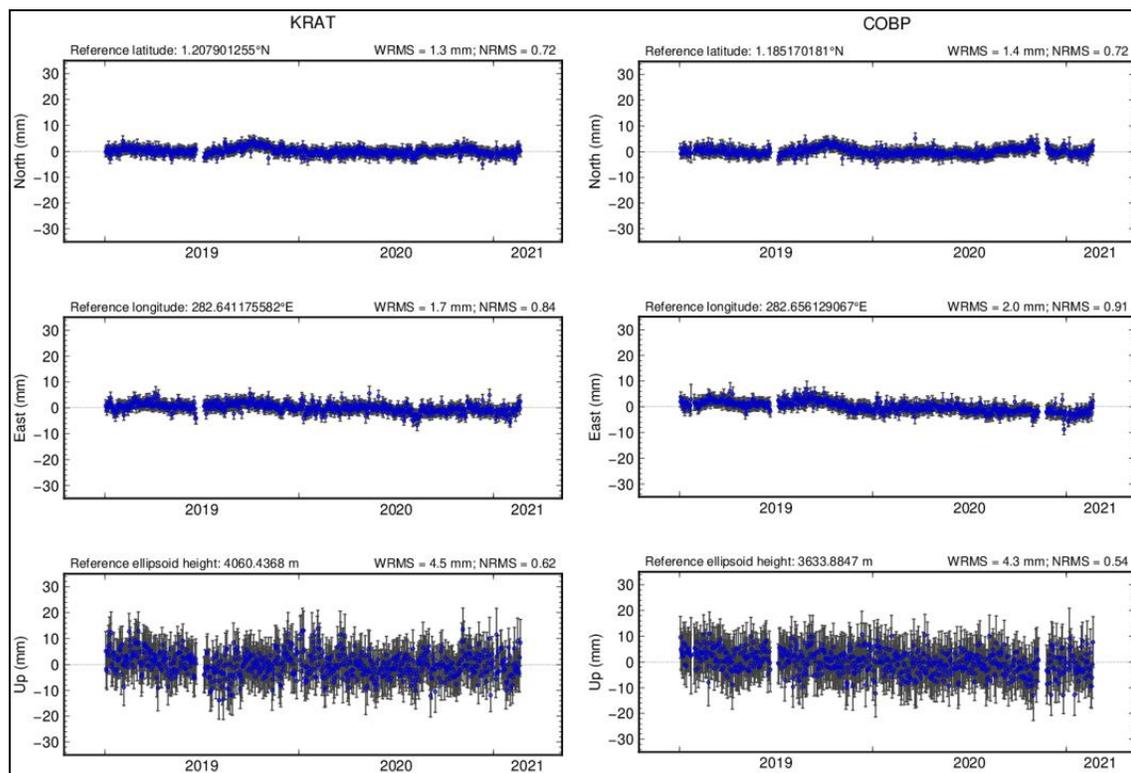
**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021

### 1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 11 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, Córdor 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, al norte del volcán.

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.

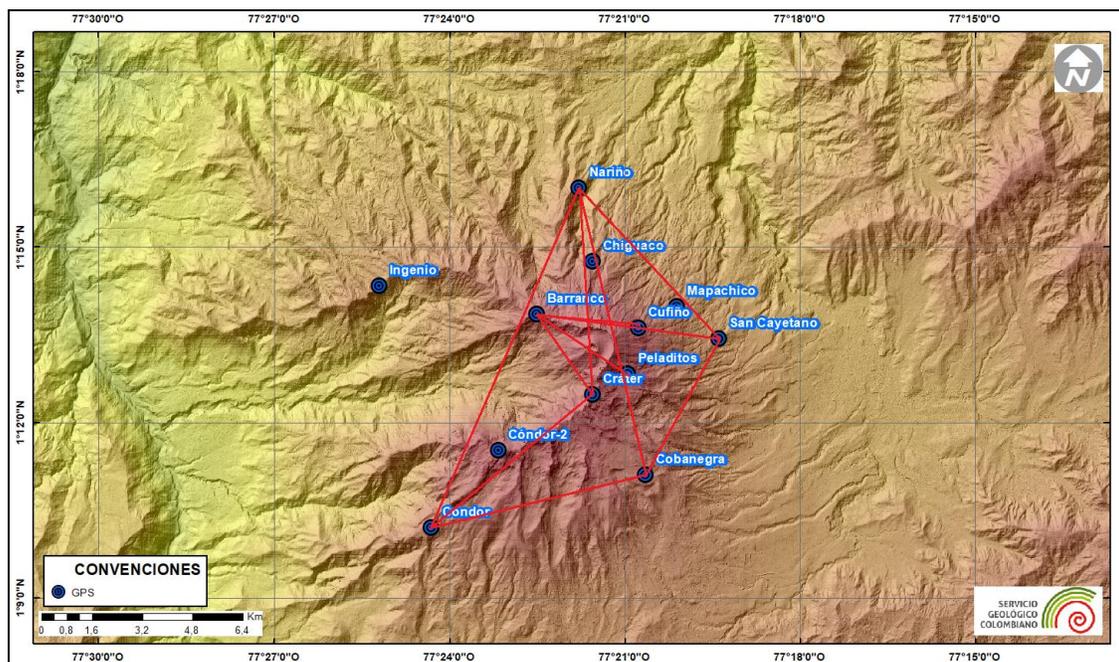
En general, en la red de GNSS de Galeras, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 16, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra.



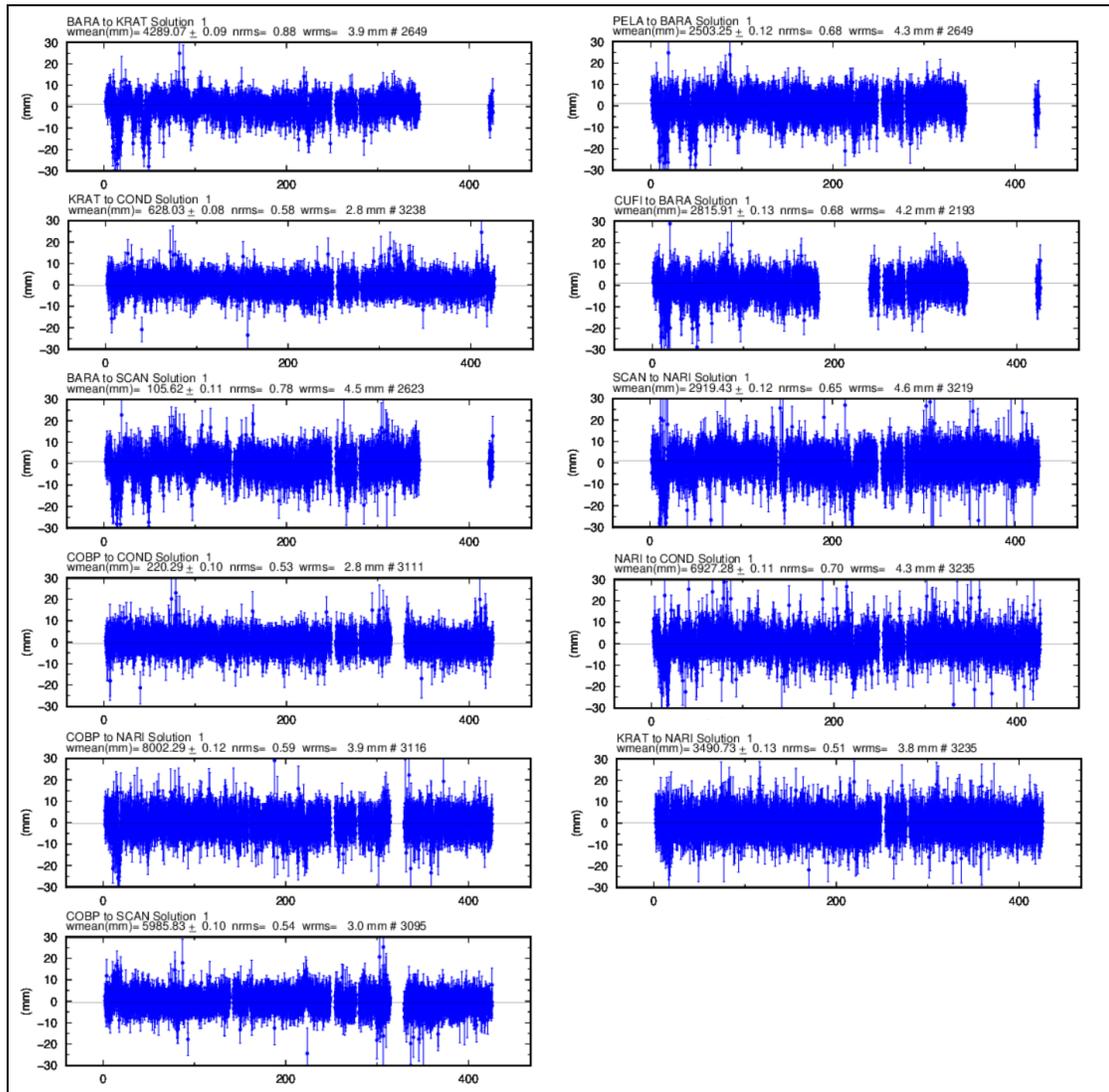
**Figura 16.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

## 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 17, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 18, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 17.** 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 18.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

### 1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

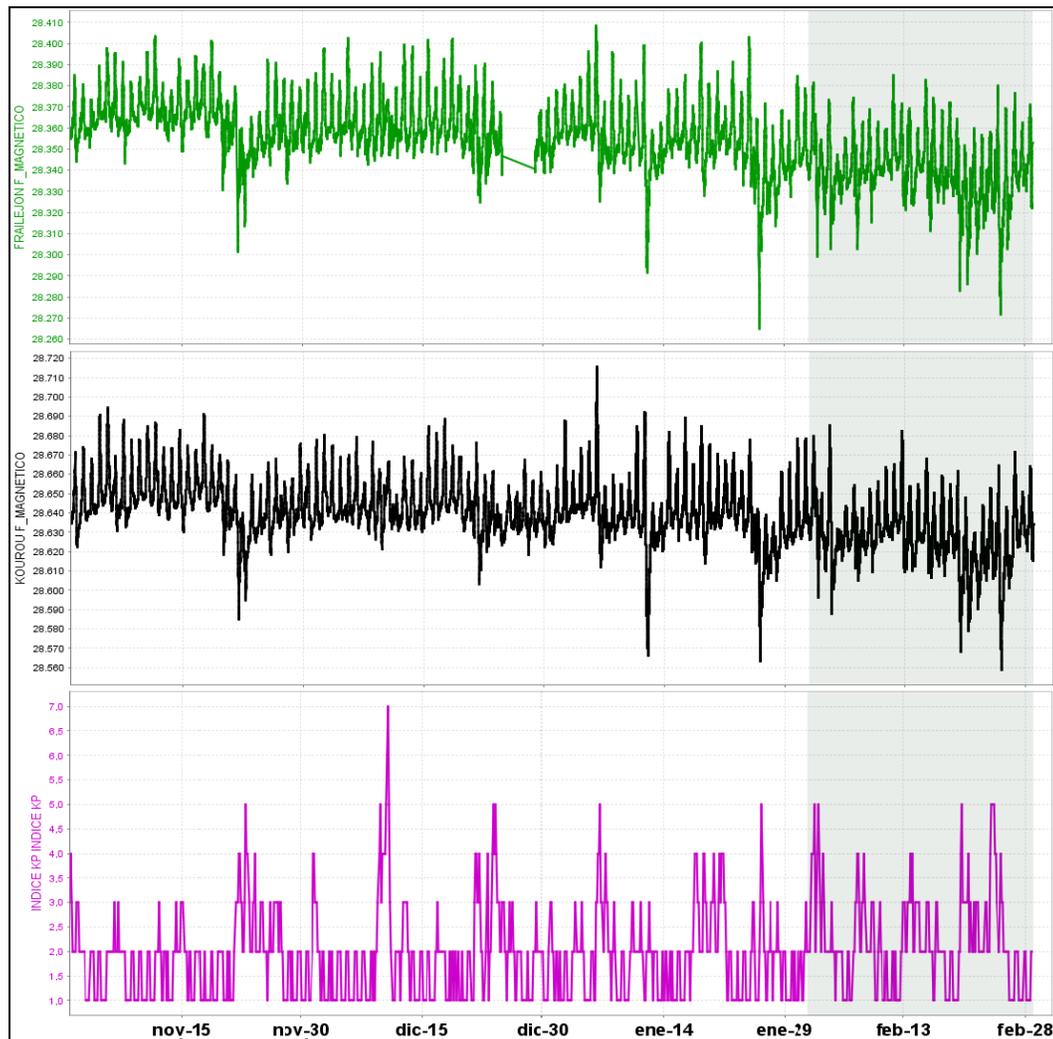
En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

## Electromagnetismo

Para el mes de febrero de 2021, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con los registros de la estación Frailejón (FRA), que cuenta con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Adicionalmente, en la estación FRA se instalaron dipolos eléctricos horizontales, para monitorear las variaciones del Campo Eléctrico en sus componentes NS y EW. Para éste periodo no se tuvo en cuenta el análisis de la estación Deformes (DEF) debido a que la estación presenta inconsistencia en el envío de información desde el pasado 18 de noviembre de 2020.

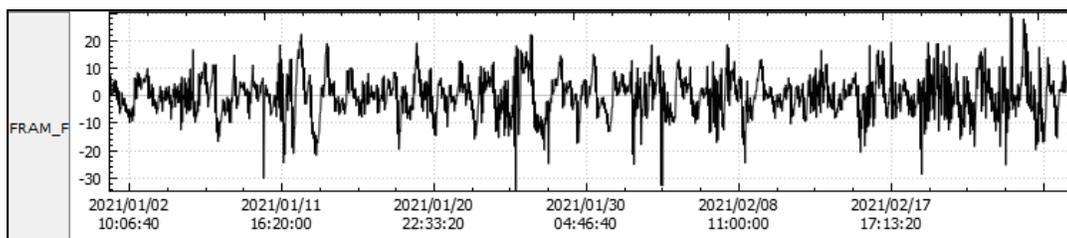
En el periodo comprendido entre noviembre de 2020 y febrero de 2021 (Figura 19), el comportamiento de la estación FRA de monitoreo magnético, ubicada en la zona de influencia del volcán Galeras, mostró un comportamiento relativamente estable, resaltando principalmente las variaciones seculares día-noche y variaciones más pronunciadas, relacionadas con la ocurrencia de tormentas magnéticas externas, principalmente aquellas con índice Kp entre 4 y 5 registradas en el mes evaluado. El comportamiento del campo magnético total (CMT) en la estación FRA, muestran variaciones seculares diarias (variaciones día-noche) un rango de alrededor de 70 nT, y de igual manera el mismo valor para la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. Esta estación se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por ser la más cercana a la zona de estudio, y que se encuentra en una latitud muy próxima a la de las estaciones de Galeras. Al comparar los registros en las estaciones del OVS-Pasto y Kourou, se resaltan las variaciones simultaneas en los registros de FRA y KOU cuando se registran tormentas geomagnéticas con índices físicos de intensidad Kp=5, los días 1, 2, 20, 23 y 24 de febrero que generó variaciones con forma de onda y amplitudes muy similares en las dos estaciones (Figura 19) y que corresponde a la variación más significativa del CMT. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares se toman 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) (Figura 19).

En febrero de 2021, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en las estaciones fue de 28.340 nT en FRA y de 28.630 nT para KOU (Figura 19); mostrando en general, un comportamiento descendente respecto a los meses anteriores.



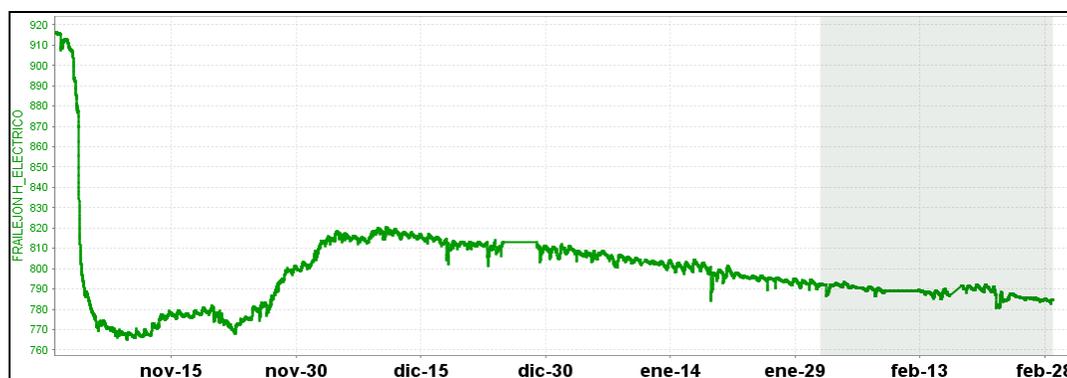
**Figura 19.** CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre noviembre de 2020 y febrero de 2021

El análisis espectral de los registros magnéticos resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto, estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que están entre  $\pm 20$  nT para la estación FRA (Figura 20), que en general, corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con la actividad volcánica. Las mayores variaciones corresponden a días en los que se tuvo registro de tormentas externas, en donde las variaciones del campo magnético estuvieron entre  $\pm 28$  nT (Figura 20).



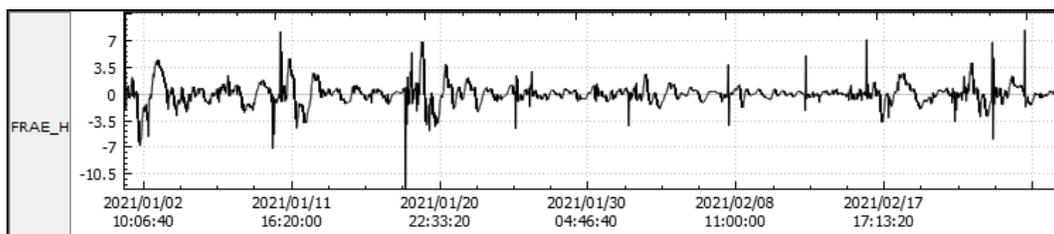
**Figura 20.** Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares en la estación FRA entre enero y febrero de 2021

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de monitoreo eléctrico en Galeras FRA para el periodo entre noviembre de 2020 y febrero de 2021 (Figura 21), muestra un comportamiento levemente descendente, con un valor de campo eléctrico alrededor de los 790 mV y que para el mes de febrero tiende a estabilizarse, registrando una variación menor a los 20 mV.



**Figura 21.** Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras FRA, para el periodo comprendido entre noviembre de 2020 y febrero de 2021. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm

El análisis espectral del registro eléctrico muestra frecuencias dominantes asociadas con las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 2 días, así como también, frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, una vez eliminadas las frecuencias asociadas con las variaciones seculares, que no se asocian con la actividad volcánica, se obtuvieron los registros de la actividad propia de la zona, encontrando variaciones de alrededor de  $\pm 7$  mV, cuyos incrementos pueden estar asociados con el incremento de las lluvias en la zona, incrementando el potencial eléctrico que se puede generar en el terreno (Figura 22).



**Figura 22.** Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, entre enero y febrero de 2021

## 1.5 Geoquímica

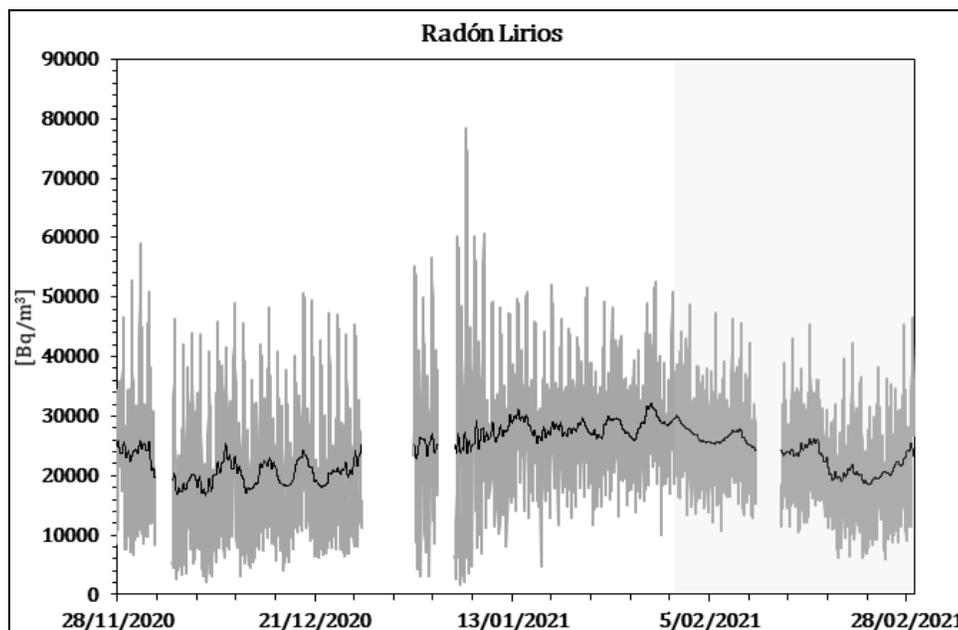
### 1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

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

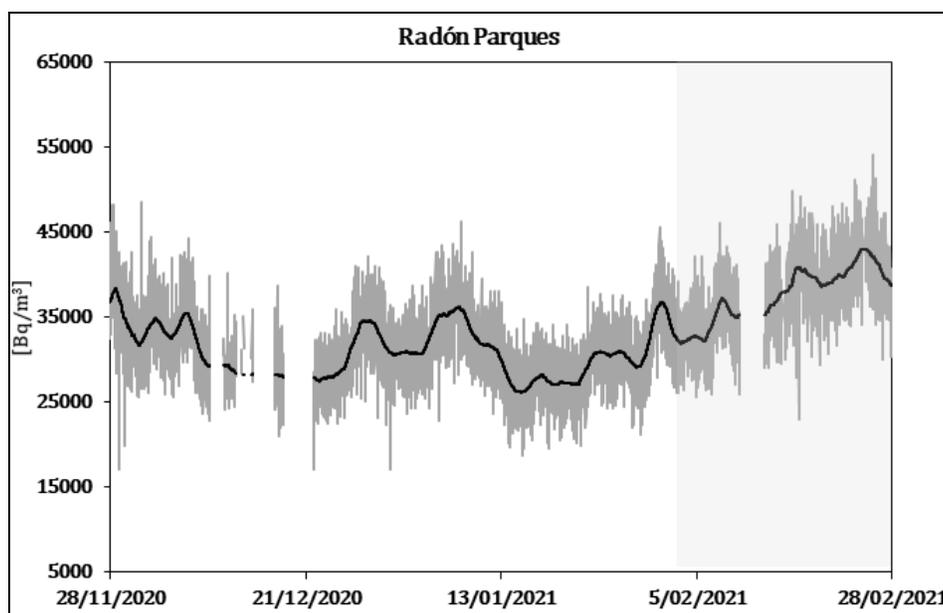
El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. En zonas de actividad sísmica y volcánica; específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan mediciones de gas Rn 222, por ser considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

En la Figura 3 (Red de vigilancia) se presenta el mapa de las estaciones para medición de concentración de gas Radón que hacen parte de la red de vigilancia del volcán Galeras.

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Lirios en la Figura 23 y en la Figura 24 para la estación de Parques, los valores de promedio, máximo y mínimo de la concentración se muestran en la Tabla 10 para Lirios y Tabla 11 para Parques.



**Figura 23.** Concentración de radón difuso en suelo para la estación Lirios - Volcán Galeras, para el periodo noviembre de 2020 y febrero de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)



**Figura 24.** Concentración de radón difuso en suelo para la estación Parques - Volcán Galeras, para el periodo noviembre de 2020 y febrero de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

El comportamiento de radón emitido desde las estaciones Lirios y Parques, presentan oscilaciones diferentes entre sí, las cuales probablemente se encuentren influenciadas por factores externos, tales como la temperatura, las lluvias, la porosidad del suelo, entre otras.

De acuerdo a la línea base que se tiene construida, se puede evidenciar que se presentan oscilaciones características, sin estar relacionadas con cambios en la actividad volcánica.

**Tabla 10.** Valores de concentración de radón, Estación Lirios –Volcán Galeras febrero de 2021

| Valor    | Radón Lirios [Bq/m <sup>3</sup> ] |
|----------|-----------------------------------|
| Promedio | 20434                             |
| Máximo   | 51291                             |
| Mínimo   | 2139                              |

**Tabla 11.** Valores de concentración de radón, Estación Parques –Volcán Galeras febrero de 2021

| Valor    | Parques [Bq/m <sup>3</sup> ] |
|----------|------------------------------|
| Mínimo   | 6077                         |
| Promedio | 40955                        |
| Máximo   | 53338                        |

#### 1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

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

#### 1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

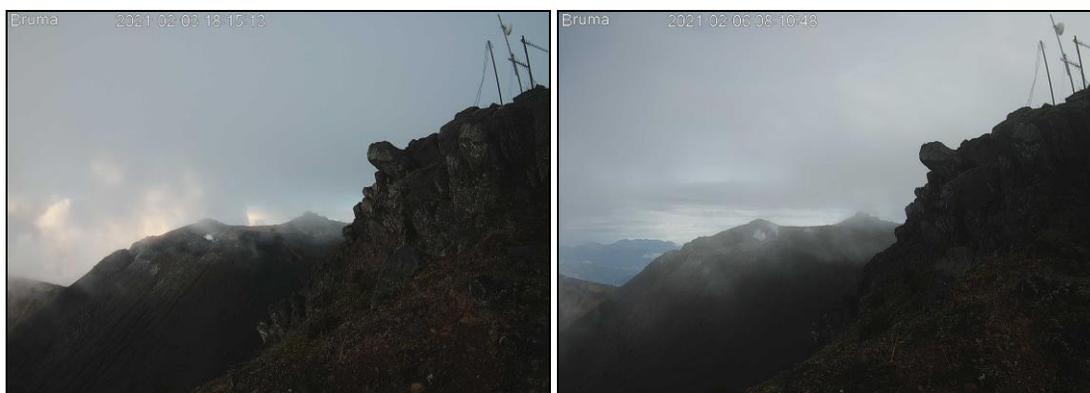
Para el mes de febrero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

## 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, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, 20 y 21 de febrero de 2021, 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, son columnas de color blanco, poca altura y dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 25 a 30, se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



**Figura 25.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 3 de febrero de 2021 a las 6:15 p.m., (izquierda) y el día 6 de febrero de 2021 a las 8:10 a.m., (derecha)



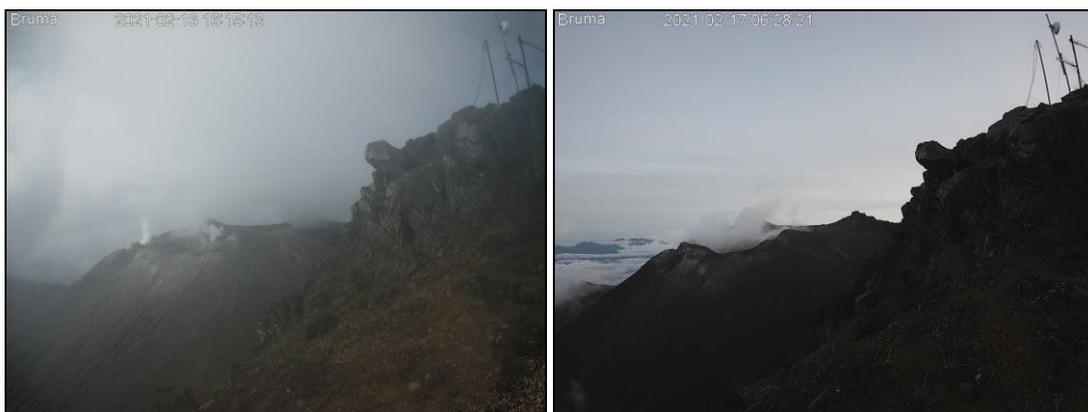
**Figura 26.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 7 de febrero de 2021 a las 7:42 a.m., (izquierda) y el día 8 de febrero de 2021 a las 6:06 p.m., (derecha)



**Figura 27.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 9 de febrero de 2021 a las 6:39 a.m., (izquierda) y el día 11 de febrero de 2021 a las 6:28 p.m., (derecha)



**Figura 28.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 13 de febrero de 2021 a las 8:19 a.m., (izquierda) y el día 15 de febrero de 2021 a las 6:56 a.m., (derecha)



**Figura 29.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 16 de febrero de 2021 a las 4:15 p.m., (izquierda) y el día 17 de febrero de 2021 a las 6:28 a.m., (derecha)



**Figura 30.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 20 de febrero de 2021 a las 7:55 a.m., (izquierda) y el día 21 de febrero de 2021 a las 9:35 a.m., (derecha)

## 1.7 Conclusiones

- En febrero 2021, en el volcán Galeras se registró disminución tanto en la ocurrencia como en la energía de los sismos. Todos los eventos se asociaron con fractura de material cortical, destacándose un sismo con ML de 2.0 Richter, el cual no se reportó como sentido.
- El radón emitido y registrado en febrero de 2021 se encuentra dentro de la línea base registrada.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en febrero 2021 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

## 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – FEBRERO DE 2021

### 2.1 Red de Vigilancia

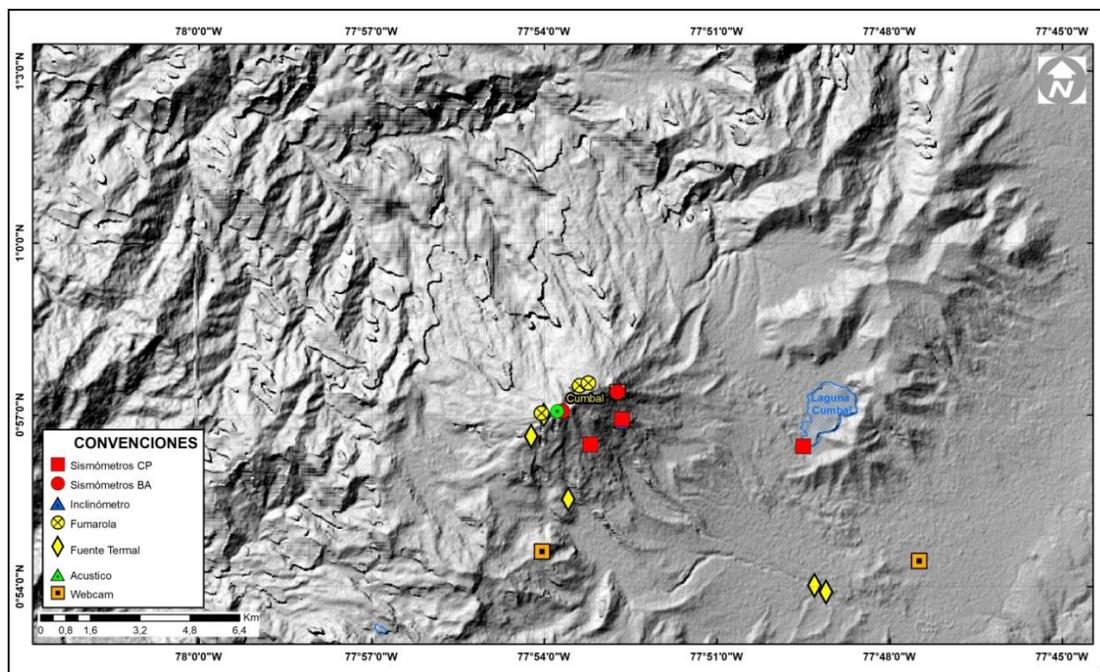
En febrero de 2021 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 31, Tabla 12).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 31).
- 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 en el sector del Boliche (Figura 31).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 32, Tabla 12).

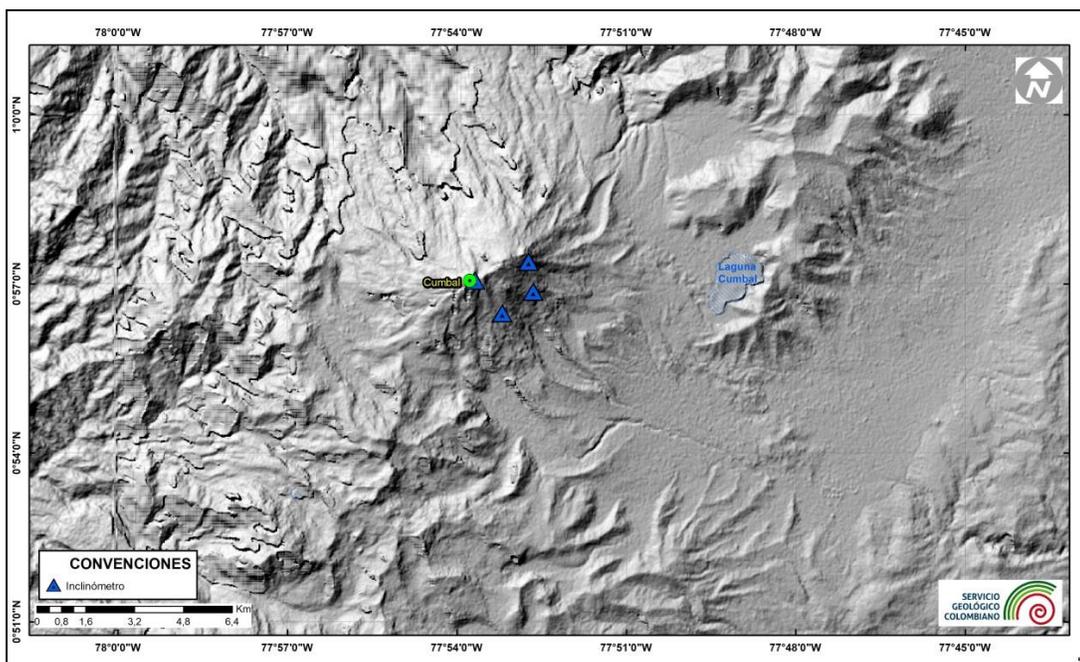
Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 83 % (Figura 33).

**Tabla 12.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2021

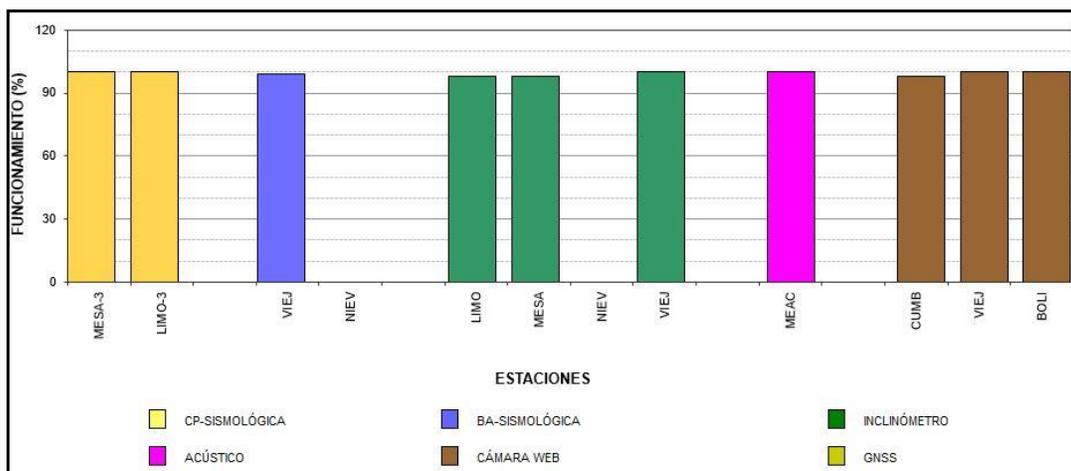
| Estación         | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor             | Componente     | Distancia al Cráter Mundo Nuevo (Km) | Ubicación Respecto al Cráter Mundo Nuevo | Altitud (msnm) |
|------------------|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------------------------|--|----------------|
| 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           |
| 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 31.** 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 febrero de 2021



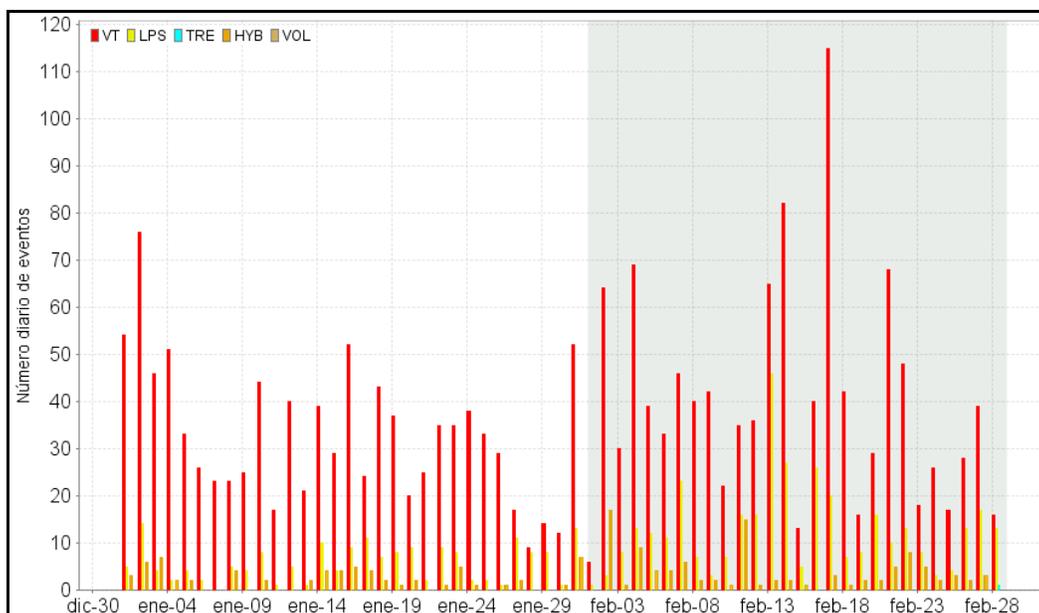
**Figura 32.** Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de febrero de 2021



**Figura 33.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2021

## 2.2 Sismología

En febrero 2021, la ocurrencia sísmica en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), se incrementó un 25%, pasando de 1268 a 1584 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical (VT) con 1124 eventos, que equivalen al 71% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán (LP) con 356 eventos, que representan el 22%, seguida de 103 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 7%, también se registró un solo episodio de temblor (TRE) (Tabla 13, Figuras 34 y 35). El pico de ocurrencia se presentó el día 17 de febrero, con 138 eventos (115 VT, 20 LP y 3 HIB) (Figura 34).

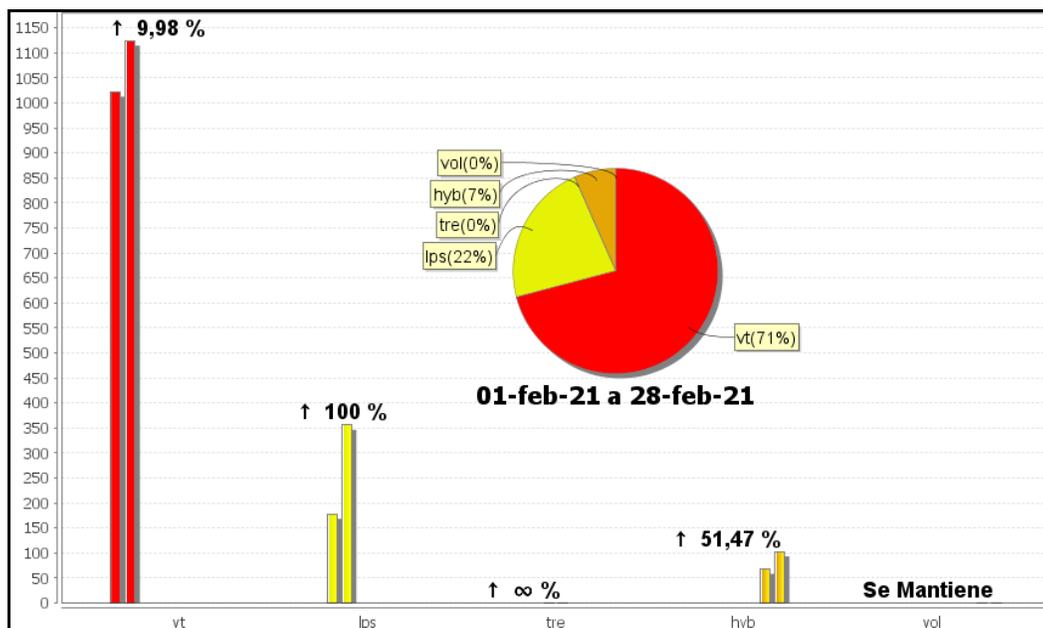


**Figura 34.** Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante enero y febrero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado

Los sismos de tipo VT incrementaron su ocurrencia 10% pasando de 1022 a 1124 eventos, los LP incrementaron 2 veces su número, pasando de 178 a 356 eventos, los HIB incrementaron 51%, pasando de 68 a 103 eventos (Tabla 13, Figuras 34 y Figura 35).

**Tabla 13.** Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Enero 2021          | 1022                       | 178 | 0   | 68  | 1268  |
| Febrero 2021        | 1124                       | 356 | 1   | 103 | 1584  |



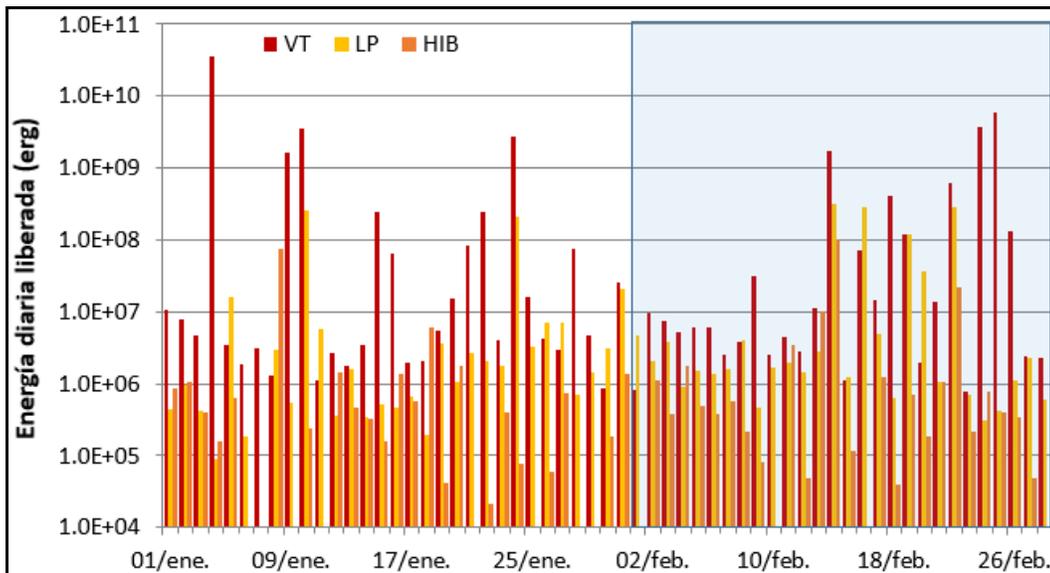
**Figura 35.** Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero 2021

La energía sísmica liberada disminuyó 69%, pasando de  $4.57 \times 10^{10}$  ergios a  $1.40 \times 10^{10}$  ergios, correspondiendo un 91% a los eventos de tipo VT con  $1.28 \times 10^{10}$  ergios, un 8% a los eventos tipo LP con  $1.09 \times 10^9$  ergios y un 1% a los eventos de tipo HIB con  $1.46 \times 10^8$  ergios, la energía del Tremor queda inmersa en la energía de VT (Tabla 14).

**Tabla 14.** Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, enero y febrero 2021

| Periodo Evaluado | Energía de eventos volcánicos por tipo |          |          |          |          |
|------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                  | VT                                     | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Enero 2021       | 4.50E+10                               | 5.61E+08 | 0.00E+00 | 9.19E+07 | 4.57E+10 |
| Febrero 2021     | 1.28E+10                               | 1.09E+09 | 3.28E+05 | 1.46E+08 | 1.40E+10 |

La energía de VT disminuyó 72%, pasando de  $4.50 \times 10^{10}$  ergios a  $1.28 \times 10^{10}$  ergios, la energía de LP incrementó 95%, pasando de  $5.61 \times 10^8$  ergios a  $1.09 \times 10^9$  ergios y la energía de los HIB incrementó 58%, pasando de  $9.19 \times 10^7$  ergios a  $1.46 \times 10^8$  ergios. El pico energético se presentó el 25 de febrero, con  $5.85 \times 10^9$  ergios (Tabla 14, Figura 36).



**Figura 36.** Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante enero y febrero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

En febrero 2021 se registraron 2 eventos de tipo Tornillo (TOR), de pequeña amplitud, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes, los eventos TOR de febrero se muestran en la Figura 37, en la componente vertical de la estación Limones del CVC. Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de febrero 2021, presentaron un pico dominante en 1.67 Hz y 1.74 Hz, respectivamente. 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.

Se localizaron 155 sismos de baja energía, los cuales fueron ubicados en su gran mayoría en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, Plazuelas al noreste y Mundo Nuevo al suroccidente, siguiendo un alineamiento SE a NW paralelo a un trazo de falla identificado en la región, en distancias entre cero y 3.5 km y con profundidades menores de 3.0 km, con respecto a la altura de Plazuelas (4700 m); otros pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia del complejo volcánico, en general en distancias entre 0.6 y 14 km, con profundidades entre 0.5 y 10 km con respecto a la altura de Plazuelas (4700 m), destacándose dos eventos con magnitud local de 2.4 y 2.5 en la escala de Richter, los cuales respectivamente se registraron el 24 y 25 de febrero, a las 3:56 p.m., y 6:25 a.m., ubicados a 14 y 13 km al sureste de

Plazuelas, con profundidad de 2.0 y 1.3 km. No se tuvo reportes de sismo sentido. (Tabla 15, Figura 38).

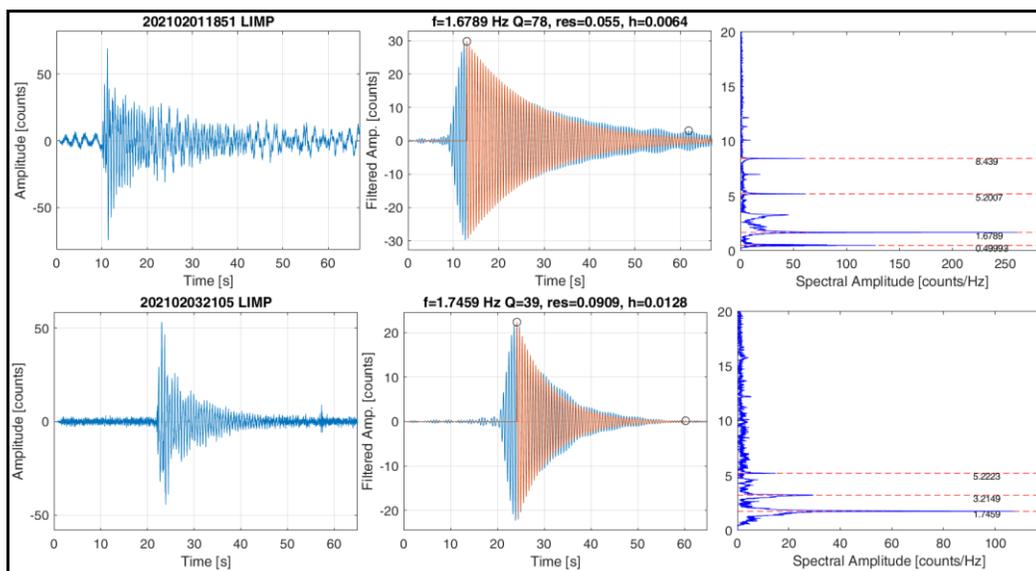


Figura 37. Sismogramas, señal filtrada y espectros en frecuencia de los 2 eventos TOR de febrero 2021 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

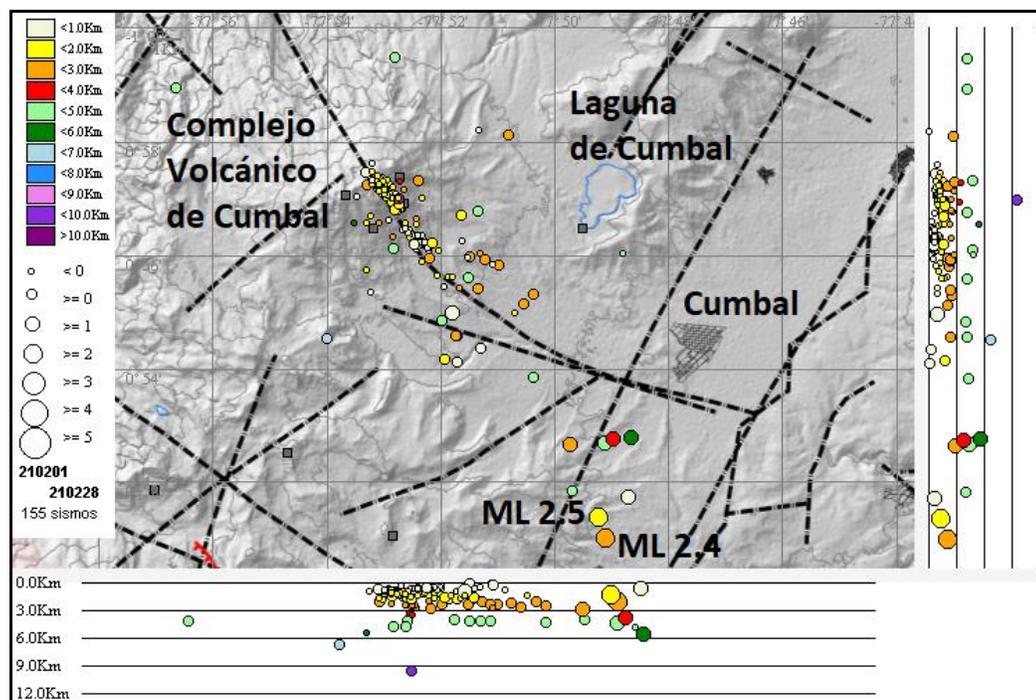


Figura 38. Sismos localizados en el CVC, febrero 2021

La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan los dos sismos VT, con ML de 2.4 y 2.5 en la escala de Richter y en la Tabla 15 se consignan sus características de localización.

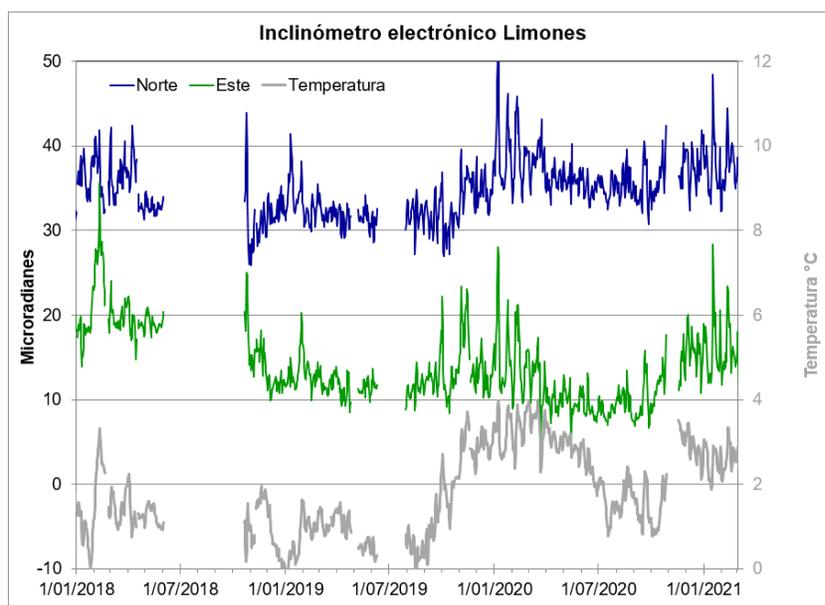
**Tabla 15.** Sismos con ML de 2.4 y 2.5 en el CVC, febrero 2021

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|----------|----------|-----|
| 24/02/2021 | 15:56      | 0-51.04 | 77-49.12 | 2.0      | 2.4 |
| 25/02/2021 | 06:25      | 0-51.39 | 77-49.23 | 1.3      | 2.5 |

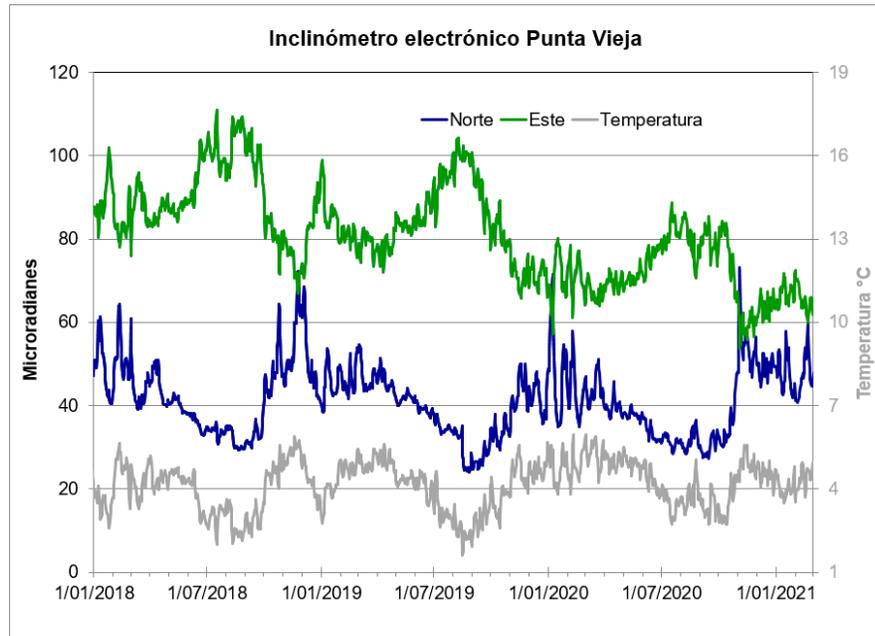
### 2.3 Deformación

Las componentes de inclinación de la estación de Limones muestran tendencias estables (Figura 39). En el inclinómetro Punta Vieja, pese a las fluctuaciones en sus registros, es posible evidenciar una leve tendencia descendente en la componente Este, acumulando cerca de 35  $\mu\text{rad}$  desde marzo de 2018 (Figura 40), mientras que su componente Norte es estable. Para el inclinómetro La Mesa, la componente Este es estable y se presentan fluctuaciones en la Norte, similares a lo registrado por el sensor de temperatura (Figura 41).

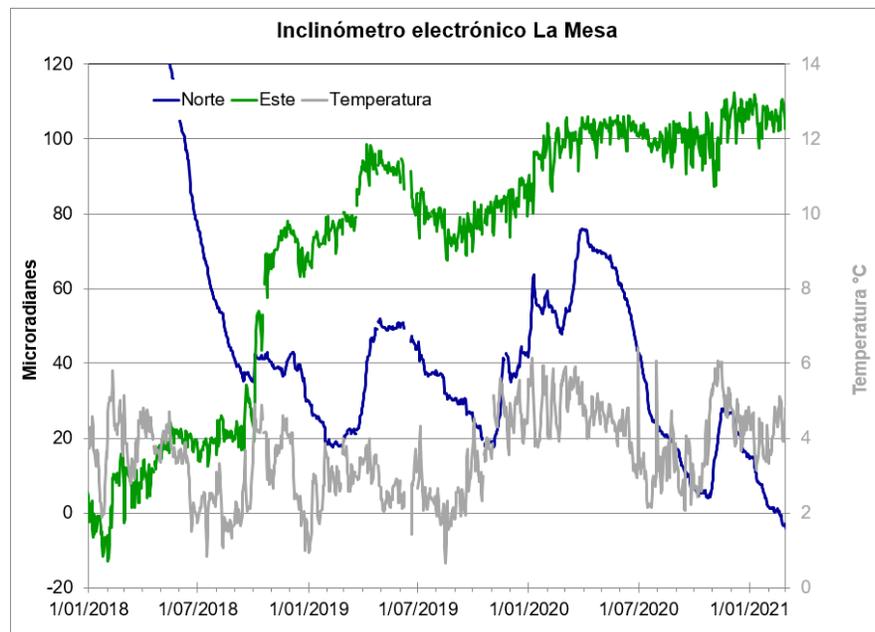
La estación de inclinometría La Nieve está por fuera desde el 24 de octubre de 2020.



**Figura 39.** 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 2018 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 40.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 41.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021

## 2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta actividad.

## 2.5 Geoquímica

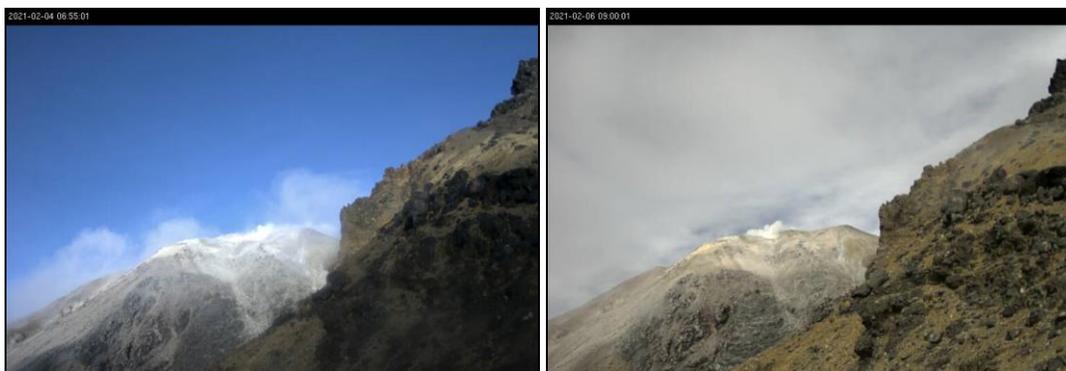
### 2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

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

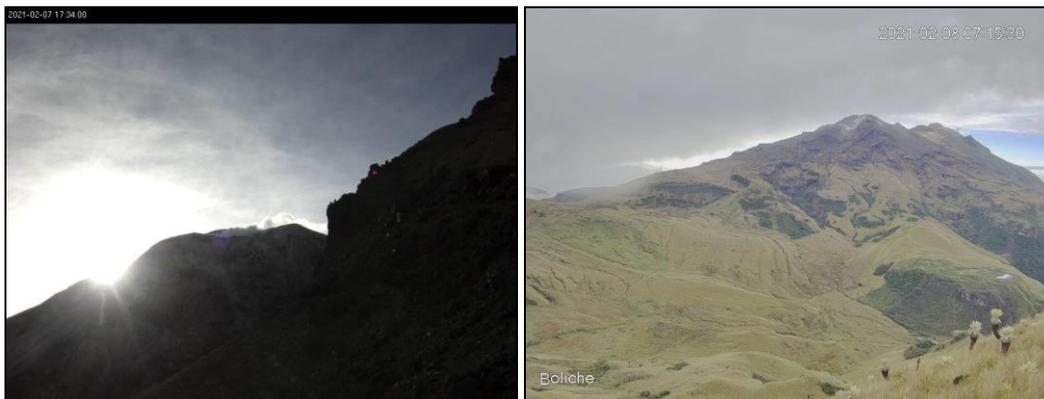
## 2.6 Actividad Superficial

Para los días 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22 y 23 de febrero de 2021 mediante las cámaras web de Cumbal, Punta Vieja y del Boliche se observó emisiones de gases provenientes principalmente desde los campos fumarólicos de los dos conos activos, EL Verde en el cono de La Plazuela, al noreste del complejo y Los Rastrojos, Las Bandas y Boca Vieja, en el cono de Mundo Nuevo al suroccidente del complejo, con columnas de color blanco, altura y dirección variables por acción de los vientos.

En las Figuras 42 a 49 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



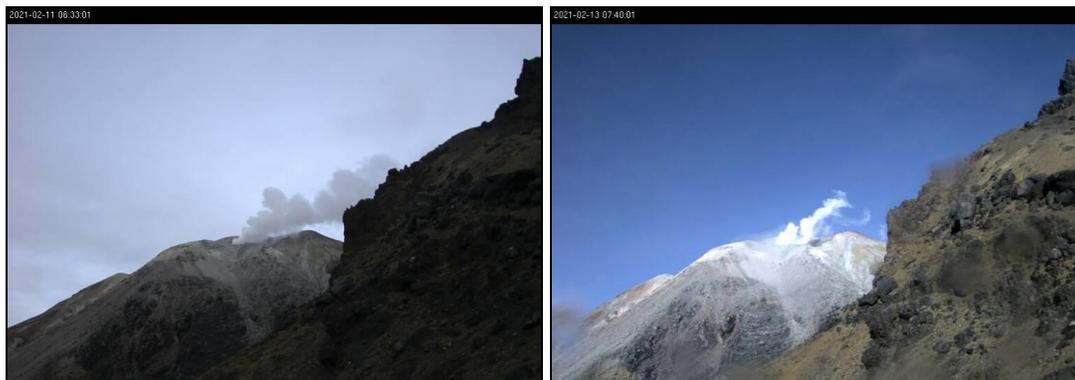
**Figura 42.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 4 de febrero de 2021 a las 6:55 a.m., (izquierda) y el día 6 de febrero de 2021 a las 9:00 a.m., (derecha)



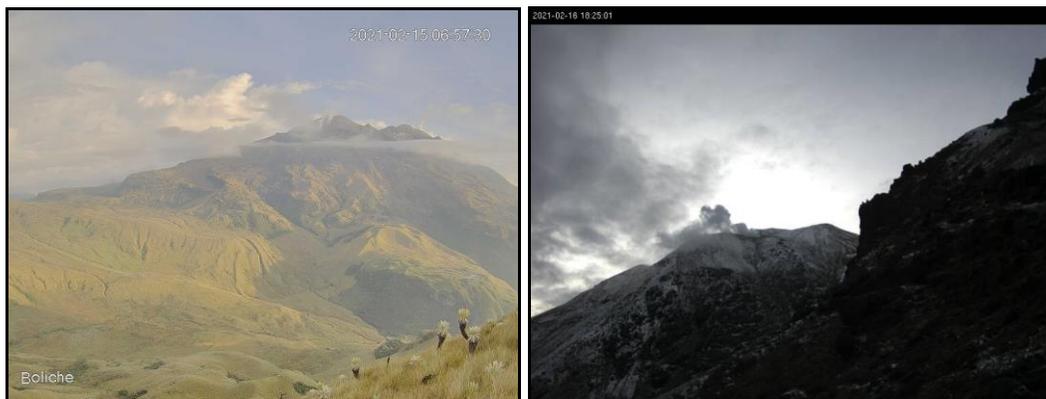
**Figura 43.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 7 de febrero de 2021 a las 05: 34 p.m., (izquierda) y el Boliche, el día 8 de febrero de 2021 a las 7:15 a.m., (derecha)



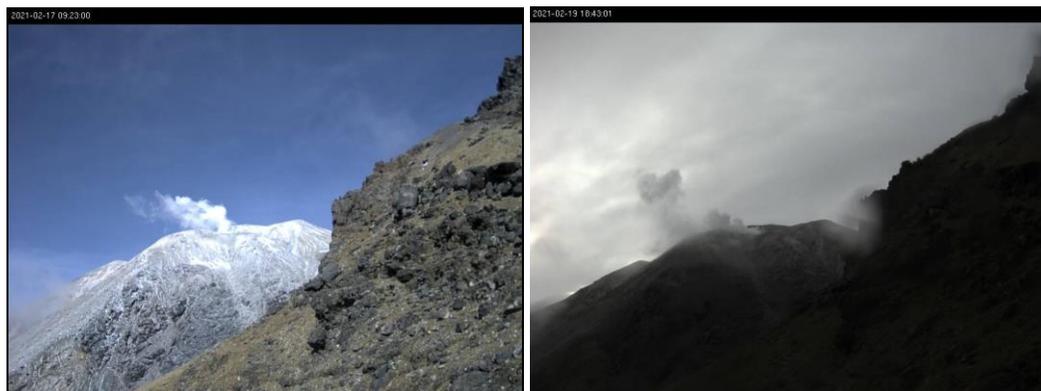
**Figura 44.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 9 de febrero de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:11 a.m., (izquierda) y Punta Vieja para el día 10 de febrero de 2021 a las 6:38 a.m., (derecha)



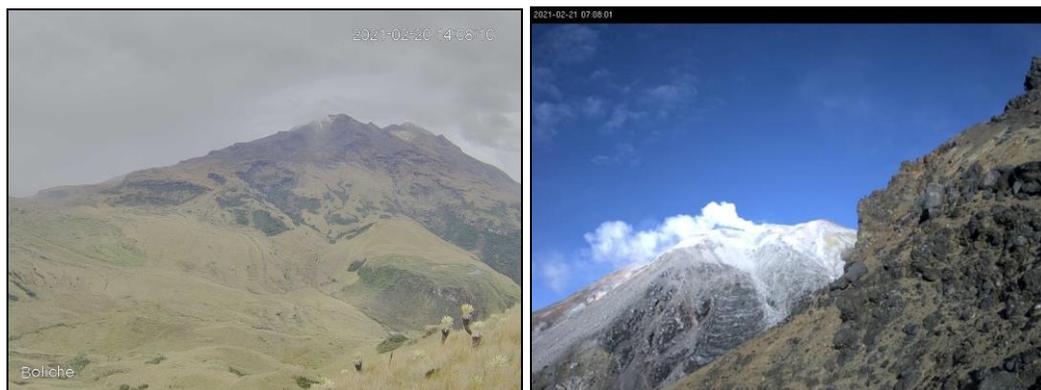
**Figura 45.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 11 de febrero de 2021 a las 6:33 a.m., (izquierda) y el día 13 de febrero de 2021 a las 7:40 a.m., (derecha)



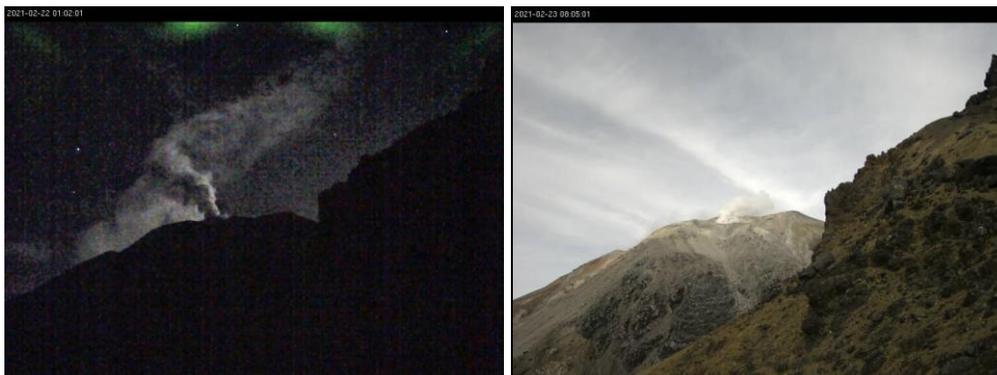
**Figura 46.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 15 de febrero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:57 a.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 16 de febrero de 2021 a las 6:25 p.m., (derecha)



**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 el día 17 de febrero de 2021 a las 9:23 a.m., (izquierda) y el día 19 de febrero de 2021 a las 6:43 p.m., (derecha)



**Figura 48.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 20 de febrero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 2:08 p.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 21 de febrero de 2021 a las 7:08 a.m., (derecha)



**Figura 49.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 22 de febrero de 2021 a la 1:02 a.m., (izquierda) y el día 23 de febrero de 2021 a las 8:05 a.m., (derecha)

## 2.7 Conclusiones

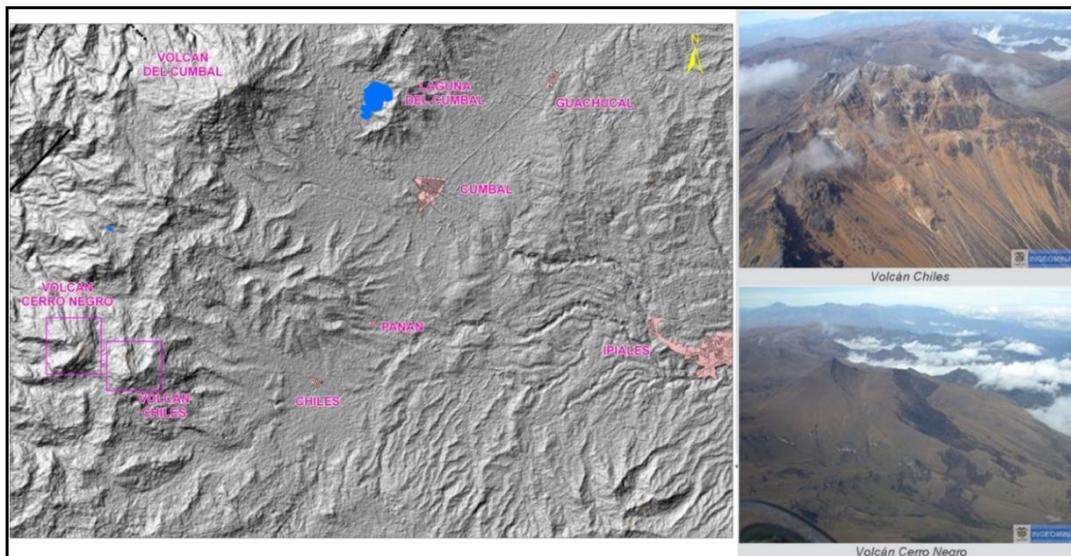
- En febrero 2021, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), la sismicidad incrementó su ocurrencia y disminuyó su energía liberada, con predominio de eventos asociados con fractura de roca al interior del volcán. Los sismos son de baja energía, destacándose dos eventos con ML de 2.4 y 2.5 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en febrero 2021 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 - FEBRERO DE 2021

### 3.1 Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroccidente 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 msnm se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 50).



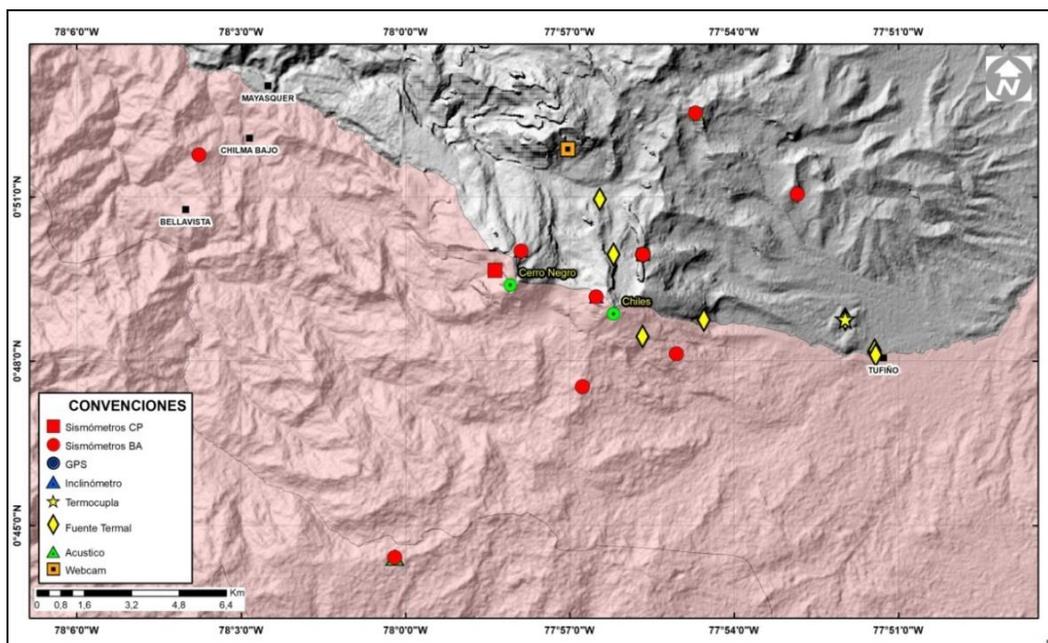
**Figura 50.** Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

### 3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 51, Tabla 16):

- 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 51, Tabla 17).

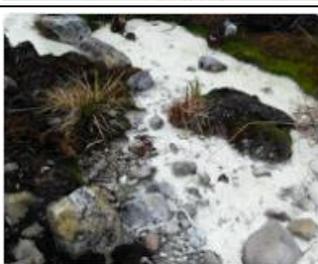


**Figura 51.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2021

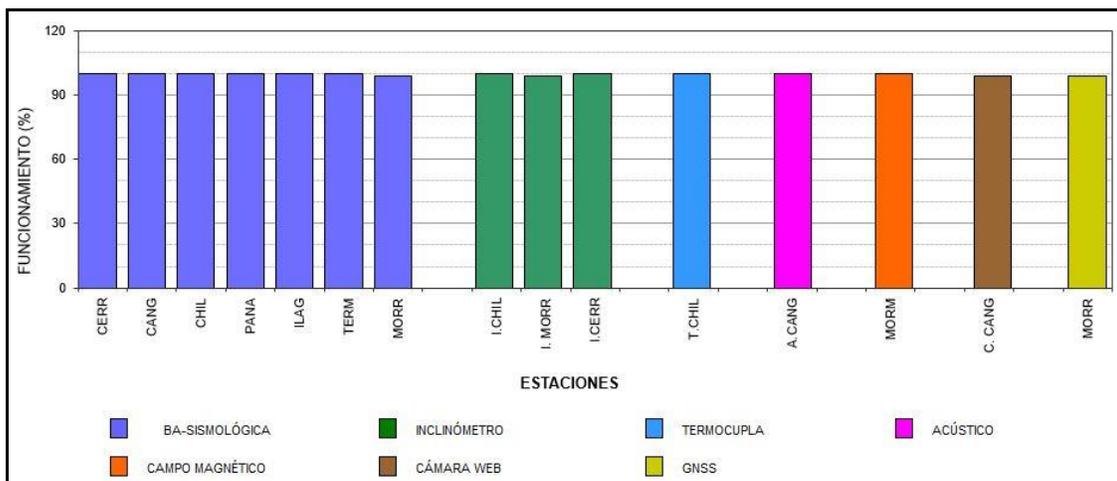
**Tabla 16.** Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro

| 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 17.** Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles

| Fuente Termal          | Imagen  | Latitud (°) | Longitud (°) | 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 cercano al 100 % (Figura 52).



**Figura 52.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero de 2021

### 3.3 Sismología

La sismicidad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero 2021 disminuyó un 70% su número, pasando de 4287 a 1295 eventos, con respecto a enero. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 1263 eventos, que representan el 98% del total; también se registraron 31 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP), con el 2% y un evento de tipo híbrido. La sismicidad VT también disminuyó su ocurrencia 70%, pasando de 4248 a 1263 eventos, la sismicidad LP disminuyó su ocurrencia un 20%, pasando de 39 a 31 eventos (Tabla 18, Figura 53). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 18 de febrero con 237 eventos, la mayoría de tipo VT (Figura 53).

**Tabla 18.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en enero y febrero 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

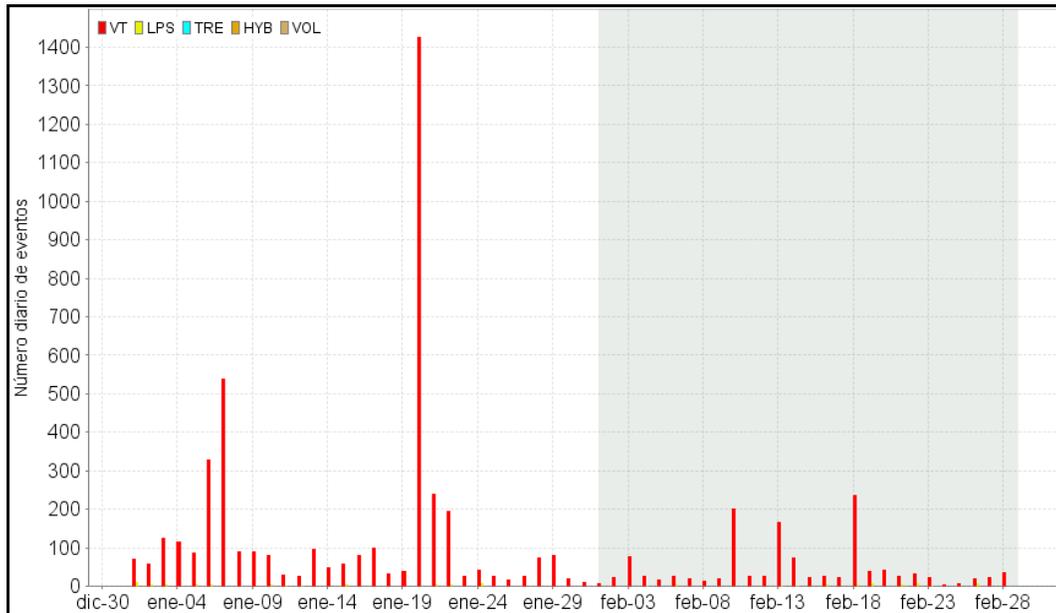
| Periodo Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                  | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Enero 2021       | 4248                       | 39  | 0   | 0   | 4287  |
| Febrero 2021     | 1263                       | 31  | 0   | 1   | 1295  |

La energía sísmica disminuyó un 62% su valor, al pasar de  $1.91 \times 10^{16}$  ergios a  $7.18 \times 10^{15}$  ergios. Todo el aporte energético provino de los eventos VT y la energía de los sismos LP e HIB queda inmersa en la energía de VT. La energía de los VT también disminuyó 62% su valor, al pasar de  $1.91 \times 10^{16}$  ergios a  $7.16 \times 10^{15}$  ergios, la energía de los LP incrementó 2.3 veces su valor, al pasar de  $7.23 \times 10^{12}$  ergios a  $1.65 \times 10^{13}$  ergios. El pico de energía se registró el 10 de febrero, con  $6.87 \times 10^{15}$  ergios, debida a un VT con ML de 3.0 Richter (Tabla 19, Figura 54).

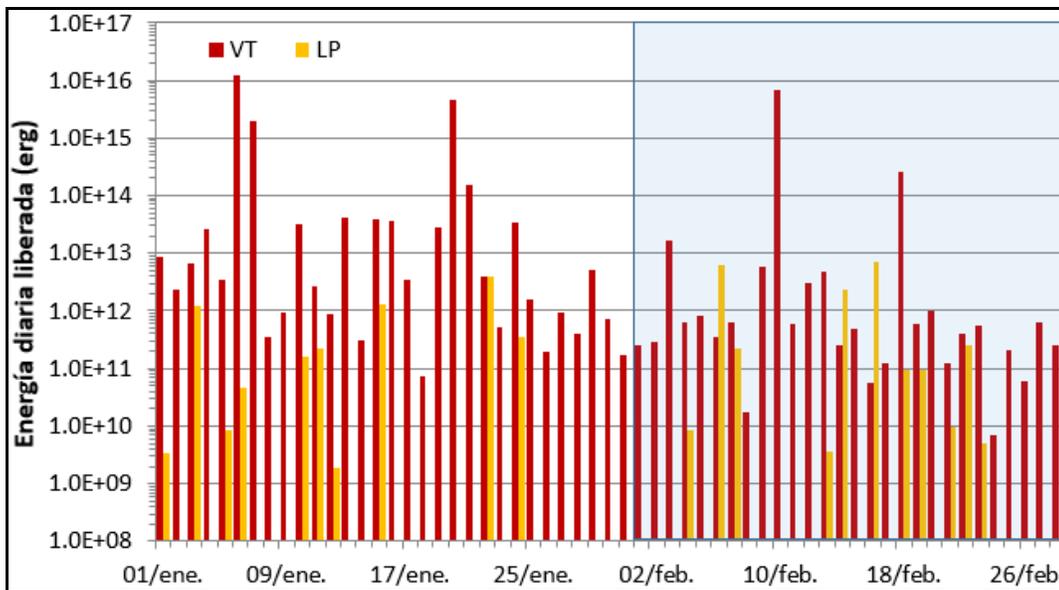
**Tabla 19.** Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Energía de eventos por tipo |          |          |
|---------------------|-----------------------------|----------|----------|
|                     | VT                          | LPS      | TOTAL    |
| Enero 2021          | 1.91E+16                    | 7.23E+12 | 1.91E+16 |
| Febrero 2021        | 7.16E+15                    | 1.65E+13 | 7.18E+15 |

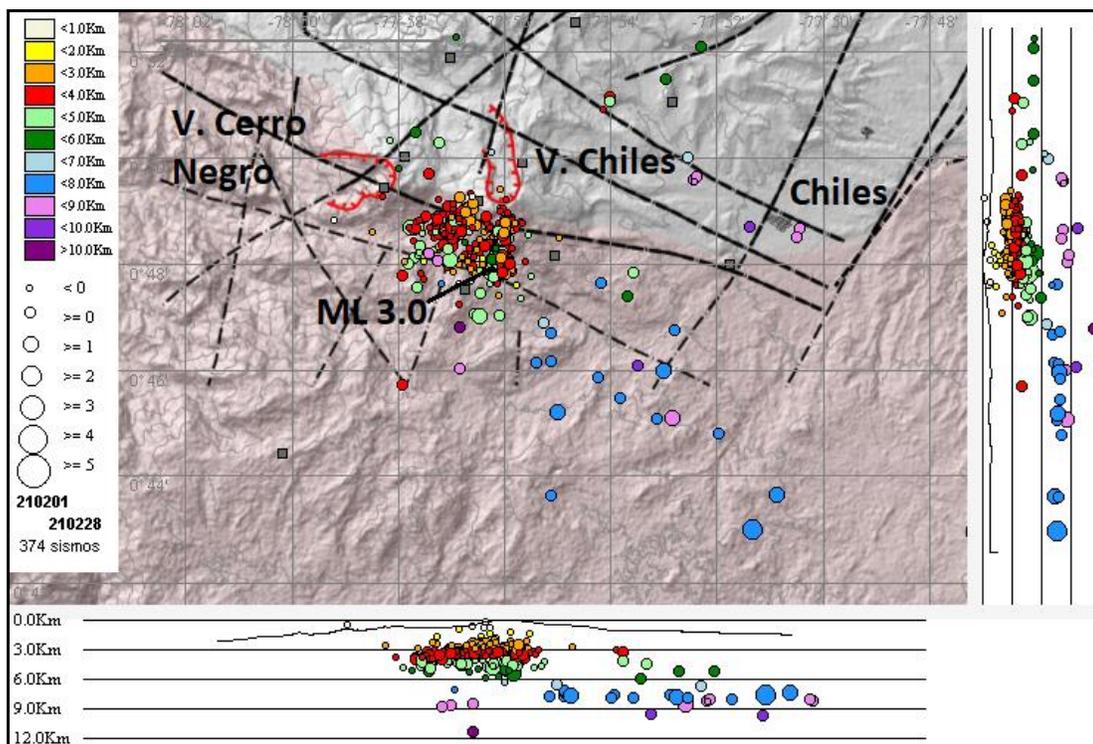
Se localizaron 374 sismos, la gran mayoría ubicados al suroccidente del volcán Chiles (Figura 55), en distancias entre cero y 5 km, con profundidades menores de 6 km, con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y ML máxima de 3.0 en la escala de Richter; otros pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia de los dos volcanes, en general en distancias entre 2.5 y 14 km, con profundidades entre 0.5 y 11 km con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y con 2.2 de magnitud local máxima. La mayoría de eventos son de baja energía; sin embargo, se destacan tres eventos que alcanzaron una magnitud local igual o mayor de 2.1 en la escala de Richter. El sismo más energético del mes se registró el 10 de febrero, a las 5:16 a.m., a 2.3 km al sur de la cima de Chiles, con profundidad de 4.5 km y magnitud local de 3.0 Richter. No se tuvo reportes de sismo sentido.



**Figura 53.** Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021, el recuadro resalta el periodo evaluado



**Figura 54.** Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero y febrero 2021, el recuadro indica el periodo evaluado



**Figura 55.** Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en febrero 2021

La mayoría de eventos son de baja energía, se resalta el registro de 3 eventos con ML entre 2.1 y 3.0 en la escala abierta de Richter, en la Tabla 20 se consignan sus características de localización (Figura 55, Tabla 20).

**Tabla 20.** Sismos VT con ML mayor o igual a 2.1, Chiles - Cerro Negro, febrero 2021

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud | Prof. km | ML  |
|------------|------------|---------|----------|----------|-----|
| 03/02/2021 | 00:10      | 0-43.01 | 77-51.35 | 7.5      | 2.2 |
| 10/02/2021 | 05:16      | 0-47.89 | 77-56.22 | 4.5      | 3.0 |
| 18/02/2021 | 05:28      | 0-48.96 | 77-56.75 | 3.0      | 2.1 |

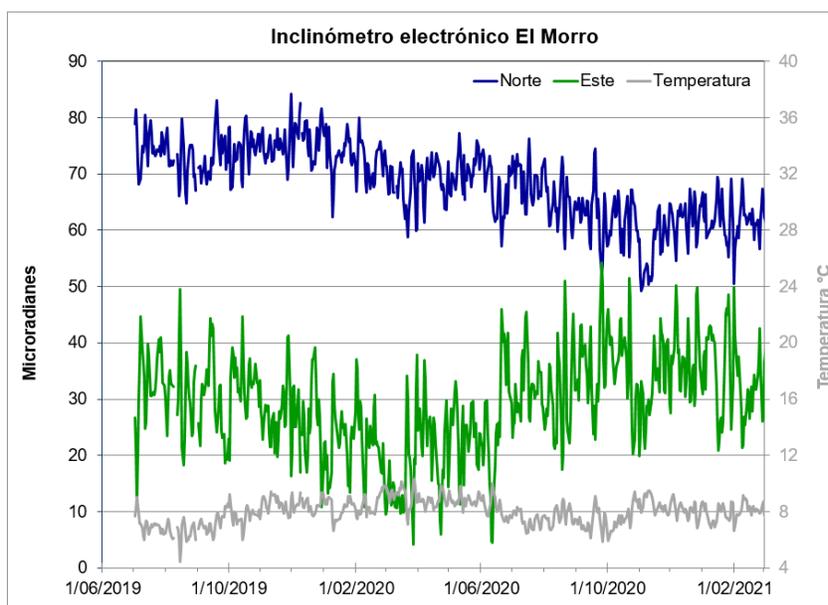
### 3.4 Deformación

#### 3.4.1 Inclínometría Electrónica

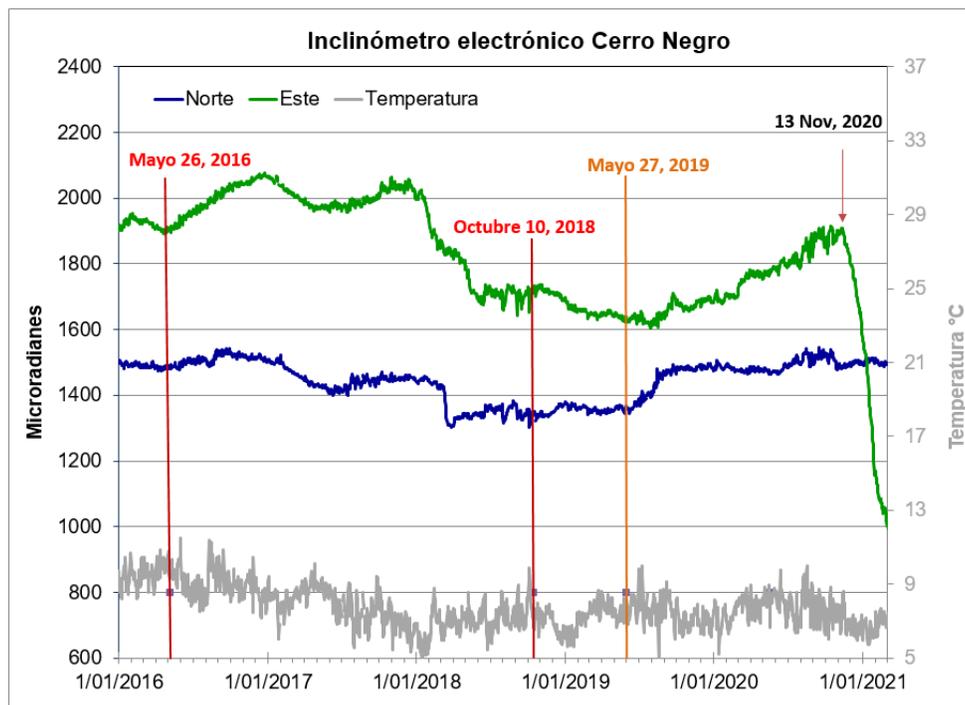
Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, se cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalado en el volcán Chiles. El inclinómetro Chiles se encuentra fuera de funcionamiento desde el 7 de noviembre de 2020.

La componente Norte del inclinómetro el Morro, tuvo una tendencia descendente entre febrero y octubre del 2020, con un cambio de 20  $\mu\text{rad}$ , posteriormente y hasta la fecha su tendencia es estable, al igual que la componente Este (Figura 56).

Con respecto al comportamiento del inclinómetro Cerro Negro se distinguen cuatro periodos: el primero entre mayo 26 de 2016 y el 10 de octubre de 2018, el segundo, entre octubre 11 de 2018 y mayo 27 de 2019, el tercero entre mayo 28 de 2019 hasta noviembre 13 de 2020 y el cuarto desde noviembre 13 de 2020 hasta la fecha (Figura 57). Para el último periodo se observa en la componente Este un cambio acelerado de tendencia que acumula cerca de 910  $\mu\text{rad}$ .



**Figura 56.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 28 de febrero de 2021

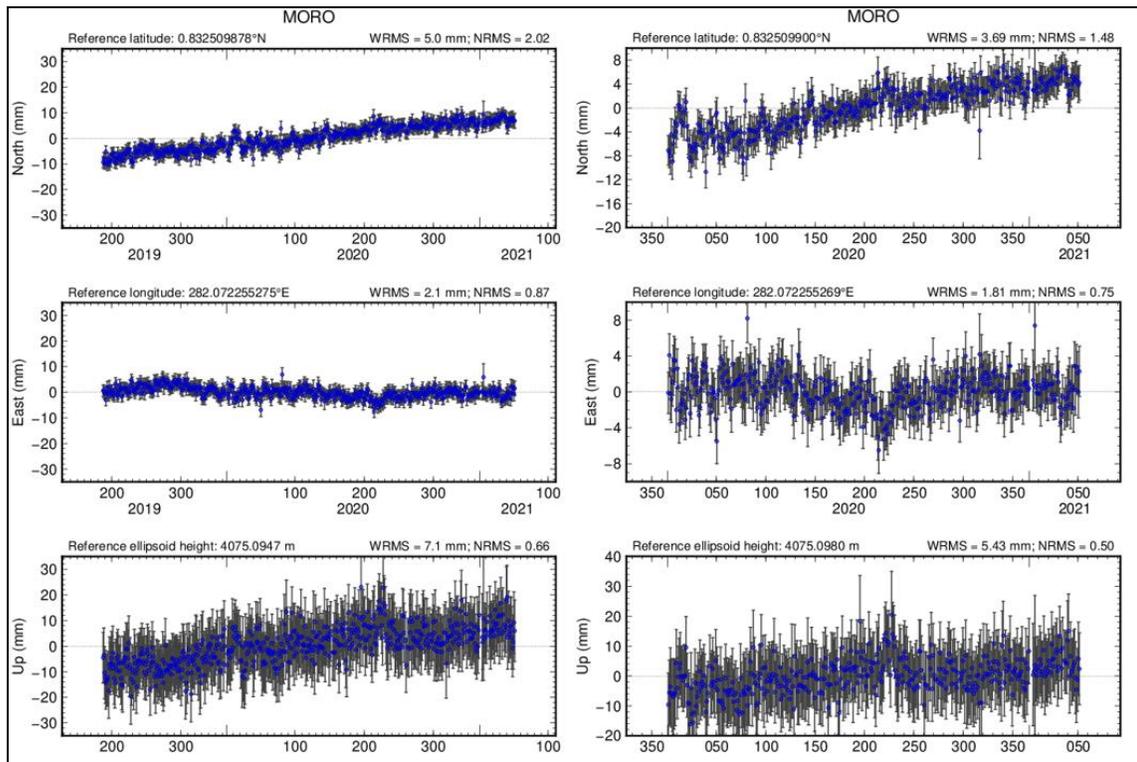


**Figura 57.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 28 de febrero de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación

### 3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

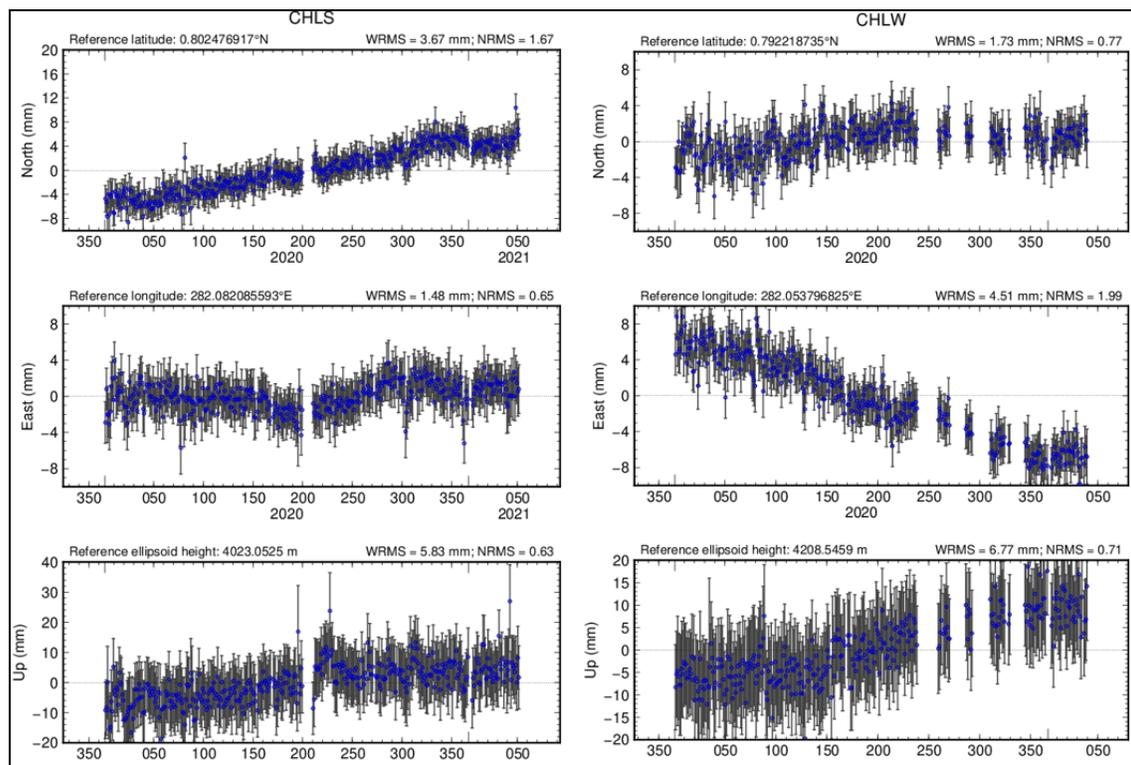
Sobre la superficie del volcán Chiles por parte del SGC – OVS Pasto se tiene instalada una estación GNSS Permanente, ubicada en vecindades de la estación multiparamétrica El Morro, hacia el costado nororiental de Chiles.

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. Desde su instalación muestra una tendencia ascendente en la dirección Norte y en la componente Vertical, con cambios de unos 15 mm y 20 mm, respectivamente. Para 2021, la componente vertical tiende a estabilizarse al igual que la dirección Este (Figura 58).



**Figura 58.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 20 de febrero de 2021 (izq) y entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021 (derecha)

Del lado ecuatoriano (IGEPN) para el monitoreo de estos cambios en superficie se tienen los GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 59, se muestra la serie temporal desde el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021, para CHLS se observa ascenso en la dirección Norte, la componente de altura tiende a estabilizarse desde agosto de 2020, estabilidad en la Este; para la estación CHLW se tenía un marcado descenso en la dirección Este, cambio que hacia finales de 2020 tiende a estabilizarse, así como también el ascenso mostrado por la componente vertical. La dirección Norte muestra estabilidad desde agosto de 2020.



**Figura 59.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatorial - IGEPN

### 3.5 Electromagnetismo

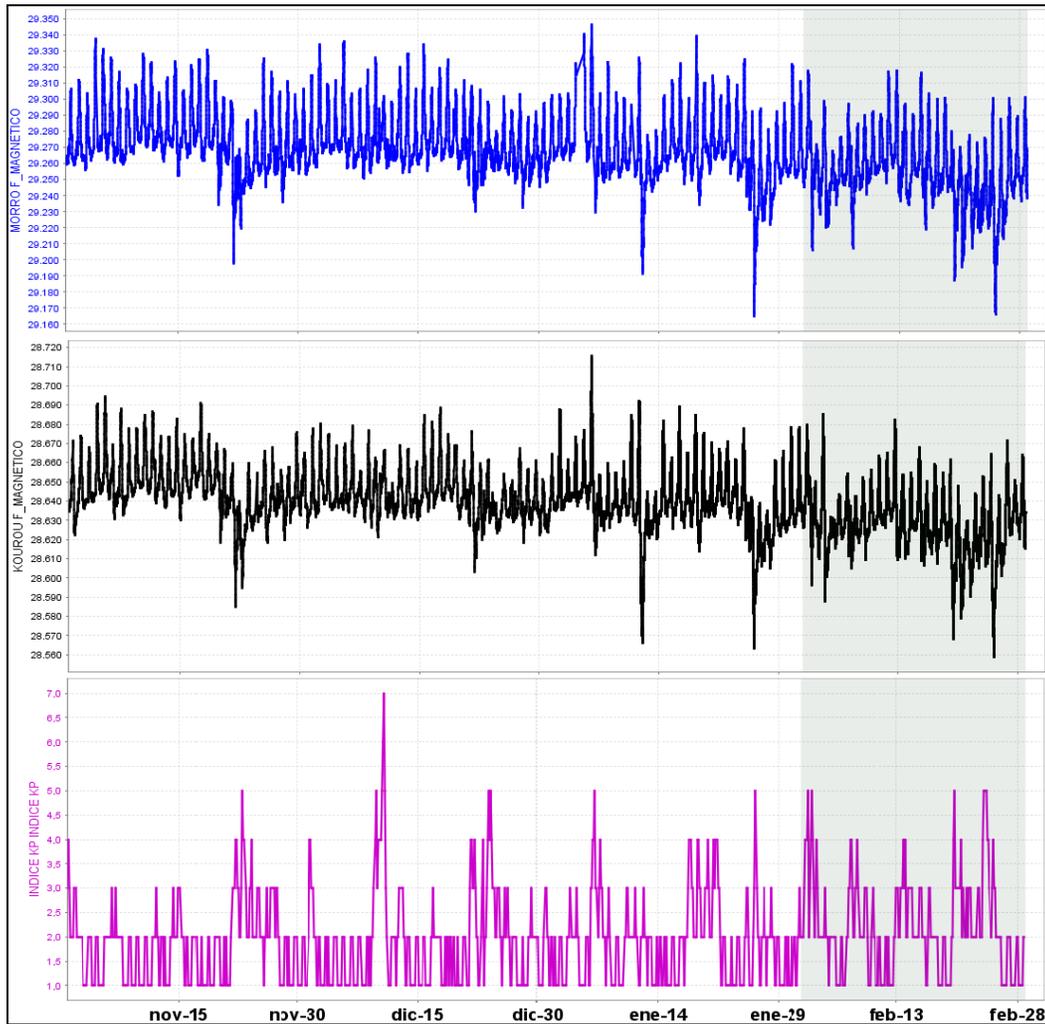
Para el mes de febrero de 2021, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del complejo volcánico Chiles Cerro Negro, se realizó con el registro de la estación Morro (MOR), que cuenta con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate.

Tomando el periodo entre noviembre de 2020 y febrero de 2021 (Figura 60), el comportamiento del registro magnético de la estación MOR mostró un comportamiento relativamente estable, donde se resaltan principalmente las variaciones seculares día-noche y, saltos abruptos que están muy relacionados con la ocurrencia de tormentas solares magnéticas externas, principalmente aquellas con índice Kp de 5, que afectan la amplitud del registro de la estación magnética y su comportamiento posterior, por algunos días, en las dos estaciones usadas para los análisis de la información; MOR y KOU. Verificando los registros magnéticos, se ha podido identificar que tanto las variaciones seculares como las asociadas con las

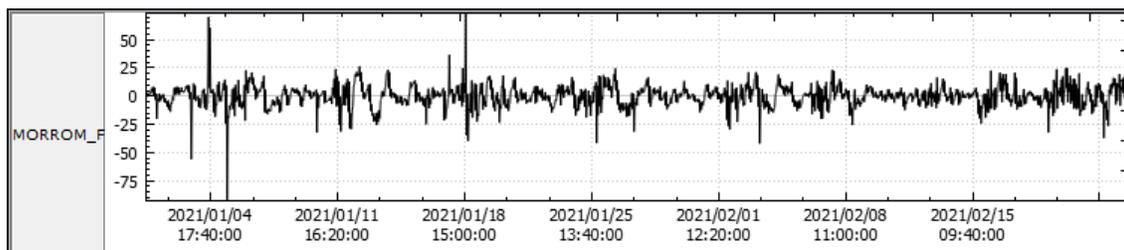
tormentas eléctricas provienen de fuentes externas a la actividad volcánica, por cuanto se registran tanto en la estación MOR como en la estación KOU cambios en los días 1, 2, 20, 23 y 24 de febrero, ésta última estación ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia, que se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, en la zona del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares se toman 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) (Figura 60).

Para febrero de 2021 de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en MOR fue de alrededor de 29.250 nT y de 28.630 nT para KOU; mostrando, en general, un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, en MOR y KOU fue de alrededor de 70 nT (Figura 60).

El análisis espectral de los registros magnéticos en MOR, resalta las frecuencias dominantes de las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que son de alrededor de  $\pm 20$  nT para la estación MOR; incrementando para las fechas mencionadas con tormentas magnéticas externas (Figura 61).



**Figura 60.** Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (Violeta). Periodo entre noviembre de 2020 y febrero de 2021. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)



**Figura 61.** Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU entre enero y febrero de 2021

### **3.6 Geoquímica**

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

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

#### **3.6.2 Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer**

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

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

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

### **3.7 Actividad Superficial**

Durante el mes de febrero de 2021 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 febrero del 2021 mostró disminución, tanto en su ocurrencia, como en su energía con respecto a lo registrado en enero del 2021. Continúa el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), destacándose el registro de 3 eventos con ML entre 2.1 y 3.0 Richter. No se recibieron reportes de sismo sentido.

Se destaca que en meses anteriores el registro de eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP) era muy esporádico, pero a partir de enero 2020 se registró un aumento en la ocurrencia y energía de este tipo de sismos, el cual se ha mantenido.

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 febrero 2021 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.



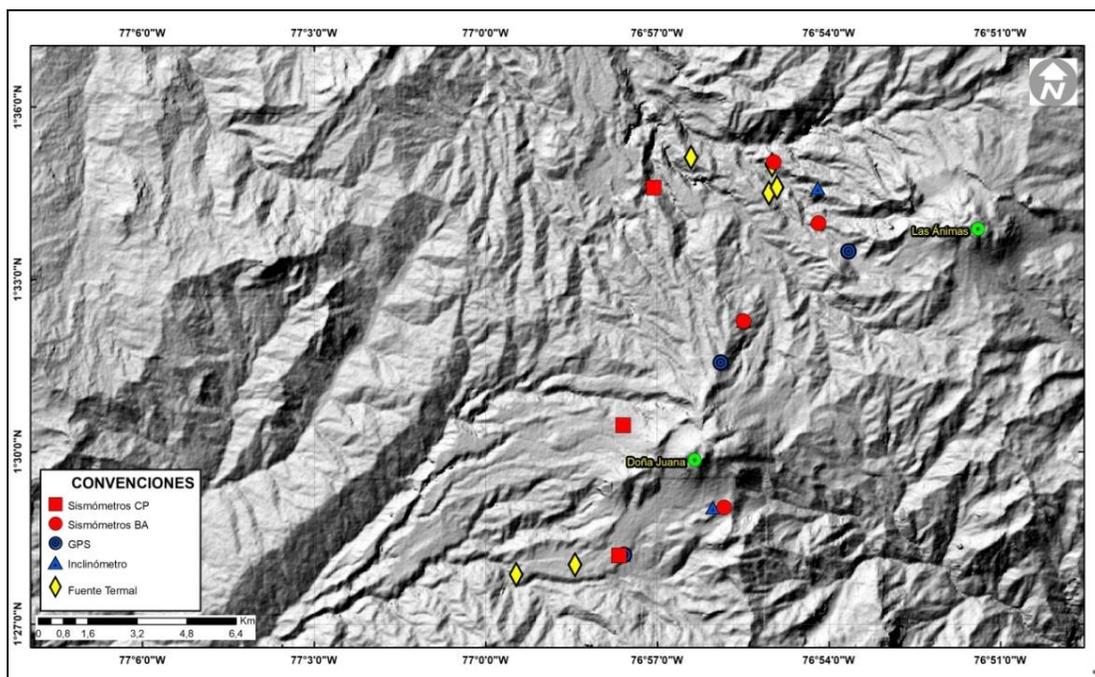
#### 4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

##### 4.1.1 Red de Vigilancia

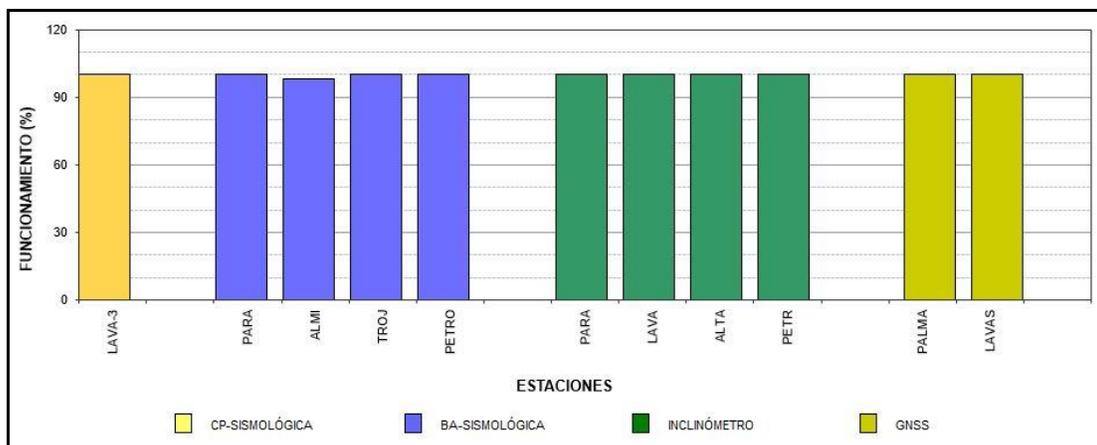
La red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas está distribuida de la siguiente manera: sobre la superficie del volcán Las Ánimas, tres estaciones sísmicas, en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos localizados en Altamira y El Troje. En el volcán Doña Juana se tiene instalado dos estaciones sísmicas telemétricas triaxiales, dos inclinómetros localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos GNSS Permanentes. Es de resaltar, que la estación multiparámetrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 21, Figura 63). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 21), Figura 63. En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento cercano al 100 % (Figura 64).

**Tabla 21.** Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2021

| 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                     | S                          | 12.3                    | SW                         | 3533           |
| I. Páramo     | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 2.1                     | S                          | 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                     | SW                         | 15.5                    | SW                         | 3145           |
| Lavas         | Digital              | GNSS                     | Triaxial   | 4.1                     | SW                         | 15.5                    | SW                         | 3145           |
| La Palma      | Digital              | GNSS                     | Triaxial   | 2.7                     | N                          | 9                       | SW                         | 3477           |
| Altamira      | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 4.1                     | NE                         | 7,9                     | SW                         | 3137           |
| I. Altamira   | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 4.1                     | NE                         | 7,9                     | SW                         | 3137           |
| Petroglifo    | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 8.9                     | NE                         | 4,6                     | W                          | 2905           |
| I. Petroglifo | Digital              | Inclinómetro Electrónico | Biaxial    | 8.9                     | NE                         | 4,6                     | W                          | 2905           |
| Troje         | Digital              | Sismómetro Banda Ancha   | Triaxial   | 9.6                     | NE                         | 6,2                     | NW                         | 2726           |



**Figura 63.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de febrero de 2021



**Figura 64.** 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 febrero de 2021

#### 4.1.2 Sismología

La ocurrencia sísmica en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero 2021, presentó incremento del 17%, pasando de 24 a 28 eventos, la mayoría asociados con fractura de roca (VT) y uno de tipo VOL (eventos de muy baja energía

que no es posible enmarcar en los tipos de eventos establecidos). El pico de ocurrencia se registró el día 15 de febrero con 5 sismos VT (Tabla 22, Figura 65).

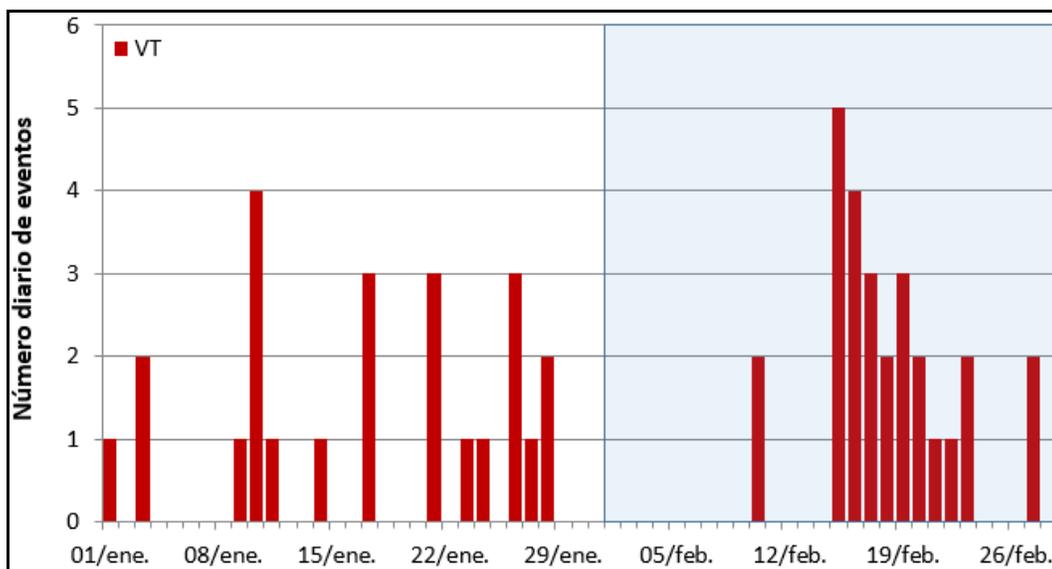


Figura 65. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante enero y febrero 2021, para los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado

Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en enero y febrero 2021 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 |
| Enero 2021          | 24                         | 0   | 0   | 0   | 24    |
| Febrero 2021        | 27                         | 0   | 0   | 1   | 27    |

Fue posible localizar 21 VT, 15 de los cuales se dispusieron agrupados al sur occidente de la zona de influencia del volcán Las Ánimas, a distancias entre 3 y 4.7 km con profundidades entre 3 y 6 km con respecto a la cima de Las Ánimas (4300 msnm) y con magnitud local máxima de 1.7 Richter; otros pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia de los dos volcanes, en general en distancias a entre 6 y 24 km, con profundidades entre 3 y 14 km con respecto a la cima de Las Ánimas (4300 msnm) y con ML máxima de 1.9 Richter (Figura 66). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de  $3.56 \times 10^{12}$  ergios, calculada con base en su magnitud local, la cual es menor que la energía de los sismos localizados en enero. Los sismos localizados son de baja energía, se destaca el registro de 2 VT con ML de 1.8 y 1.9 Richter y en la Tabla 23 se consignan sus características de localización.

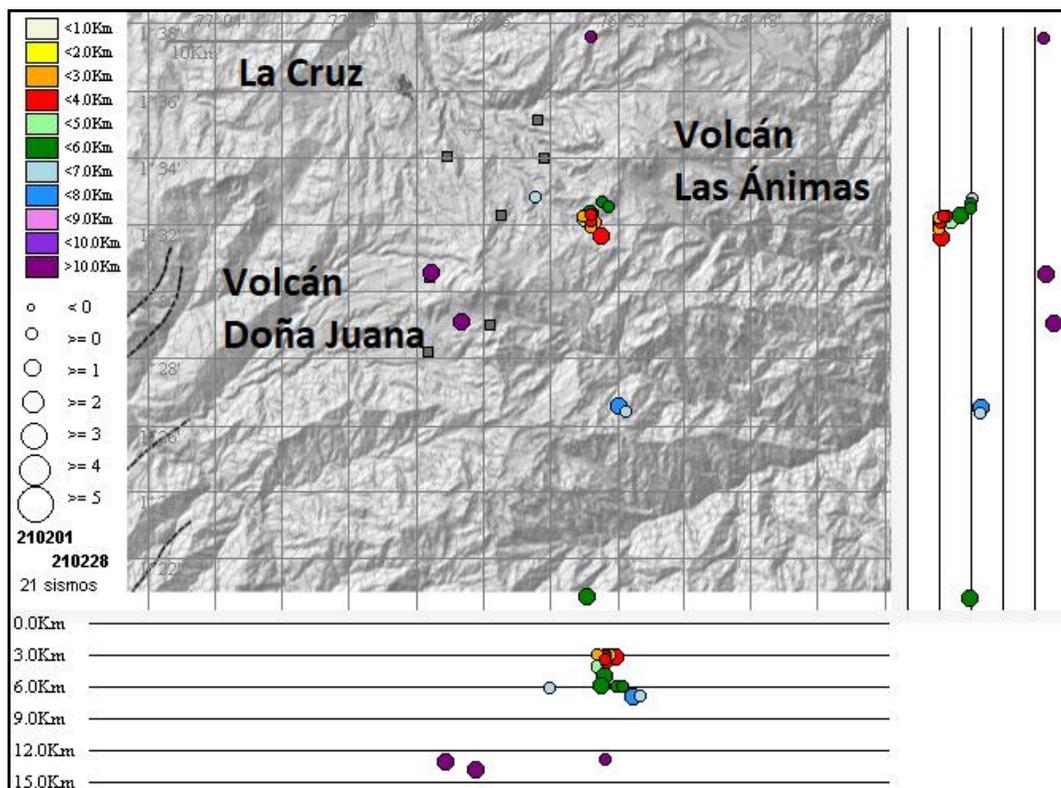


Figura 66. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, febrero 2021

Tabla 23. Sismos con ML de 1.8 y 1.9, Doña Juana y Las Ánimas, febrero 2021

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud | Prof. km | ML  |
|------------|------------|---------|----------|----------|-----|
| 10/02/2021 | 00:16      | 1-30.58 | 76-57.55 | 13.1     | 1.8 |
| 21/02/2021 | 02:38      | 1-20.87 | 76-52.91 | 6.0      | 1.9 |

#### 4.1.3 Deformación

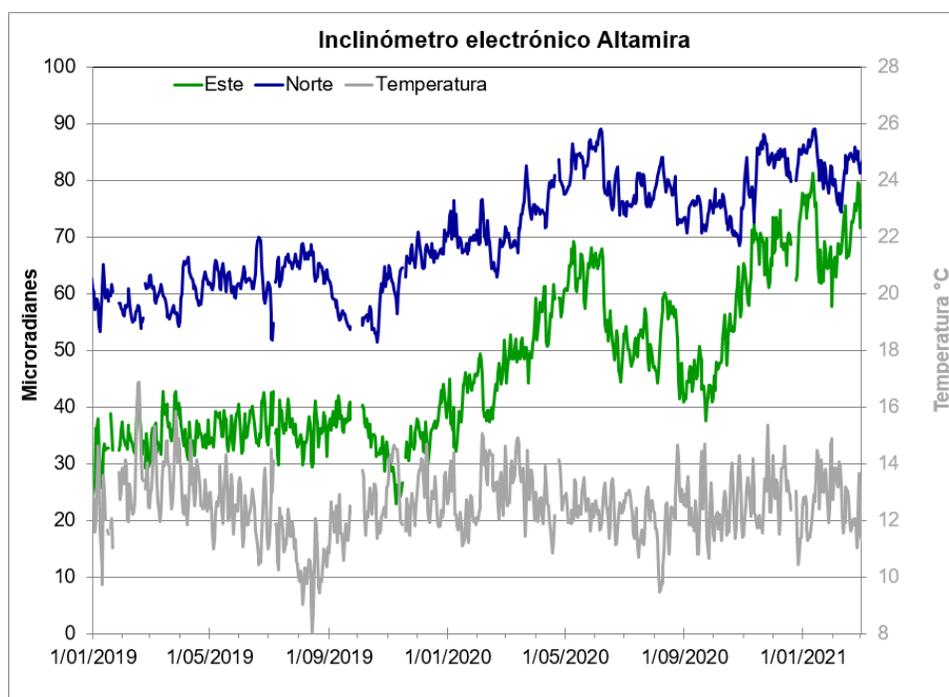
##### 4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

Para el seguimiento de los cambios sobre la superficie del volcán Las Ánimas, se tienen dos inclinómetros electrónicos. En el inclinómetro Altamira, pese a las fluctuaciones en los registros se evidencia una tendencia ascendente en las dos componentes, alcanzando la Este 52  $\mu$ rad y la Norte cerca de 35  $\mu$ rad desde abril de 2019 (Figura 67).

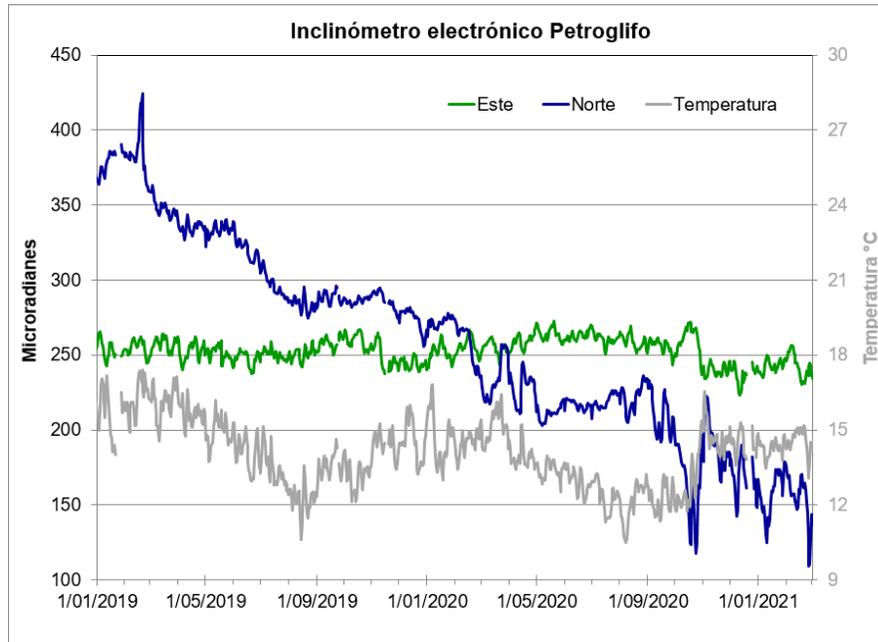
En la Figura 68, se muestra la serie temporal para la estación de inclinometría Petroglifo, en la componente Norte, continua la tendencia descendente, acumulando 269  $\mu\text{rad}$  desde febrero de 2019. Por su parte la componente Este mantiene el comportamiento estable.

De igual forma se tienen instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana estaciones de inclinometría. Desde noviembre de 2020 se observa un comportamiento descendente en la componente Este del inclinómetro Páramo, variación que ya registra cerca de 200  $\mu\text{rad}$ , en contraste se tiene un ascenso en la Norte de 38  $\mu\text{rad}$  desde septiembre de 2020 (Figura 69).

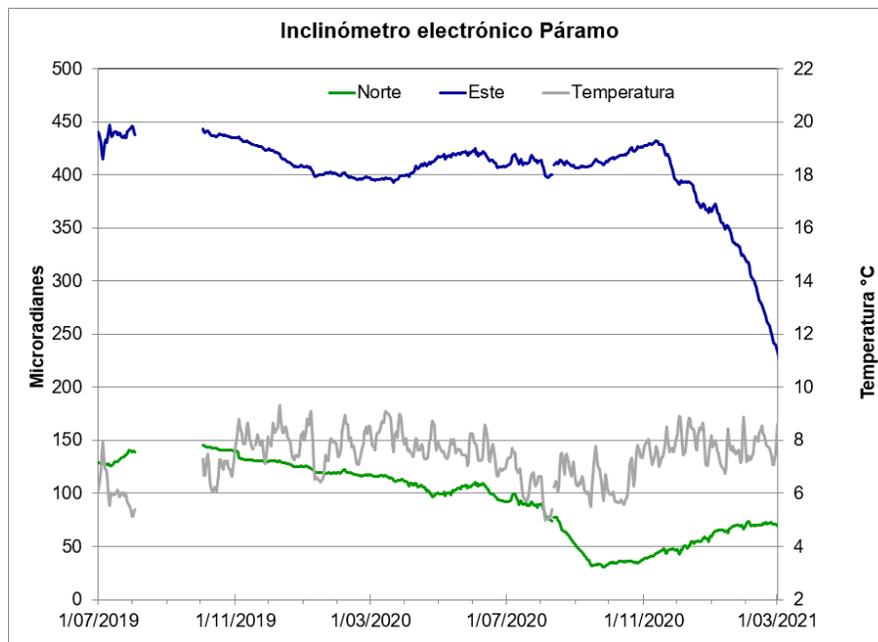
Se observa estabilidad en las componentes de inclinación Norte y Este de la estación de inclinometría Lavas, con variaciones similares a las mostradas por el sensor de temperatura (Figura 70).



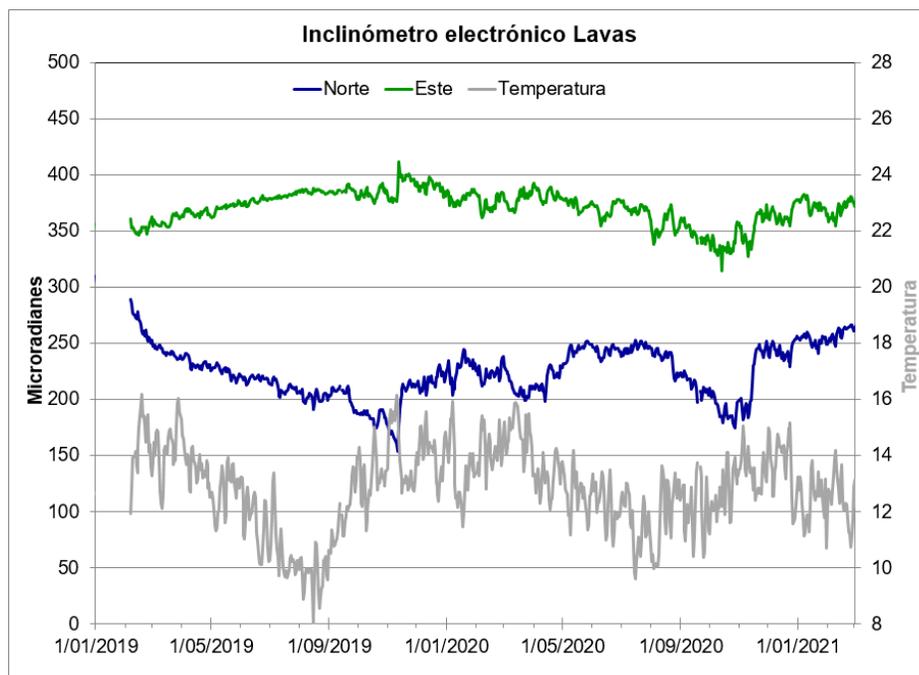
**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 68.** 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 del 2019 y el 28 de febrero de 2021



**Figura 69.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 28 de febrero de 2021



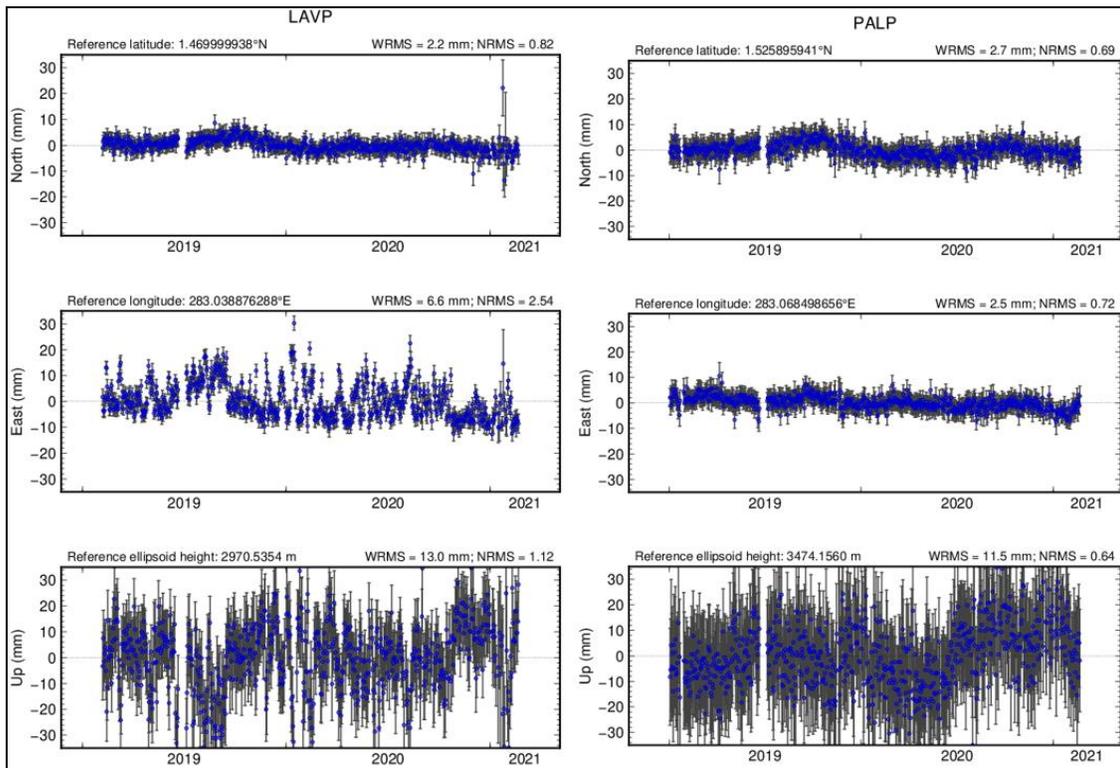
**Figura 70.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 28 de febrero de 2021

#### 4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La estación GNSS Pradera fue saqueada el 30 de noviembre de 2017 y hurtados algunos de sus equipos, hasta el momento no se ha recuperado esta estación.

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Doña Juana, dos estaciones GNSS Permanentes, La Palma y Lavas.

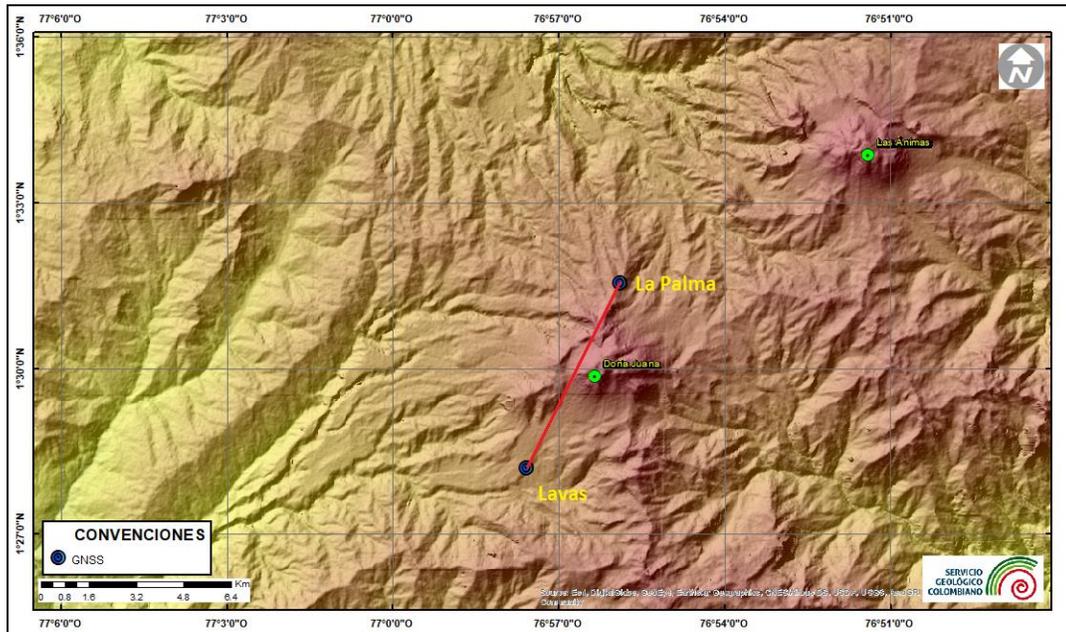
Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 71, se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, resaltando el descenso en la dirección Este de estos GNSS, registrando cerca de 10 mm para Lavas y 6 mm en La Palma.



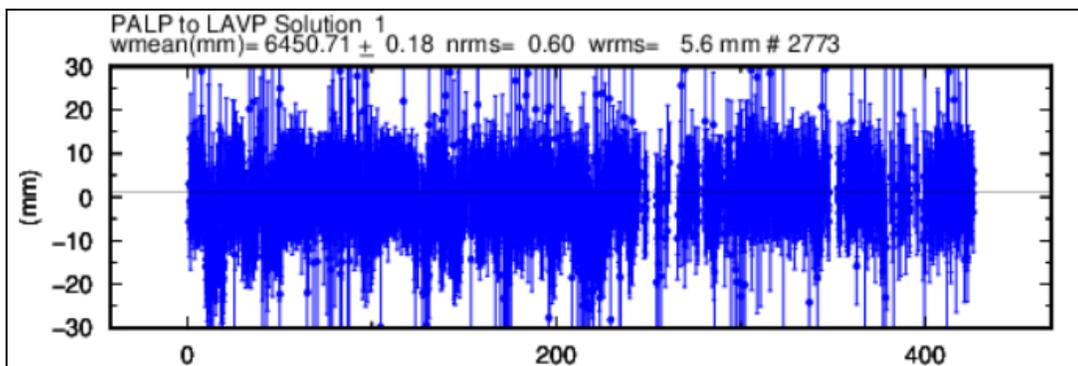
**Figura 71.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021

### 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 72, se muestra su ubicación y en la Figura 73, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 72.** 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 73.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

#### 4.1.4 Geoquímica

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

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

#### 4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de febrero de 2021 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana.

#### 4.1.6 Conclusiones

- En febrero 2021 se registró incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de la sismicidad, en relación con enero. La sismicidad casi en su totalidad fue asociada con fractura de roca, con ML máxima de 1.9 Richter.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante febrero 2021 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 4.2 Actividad del Volcán Azufral

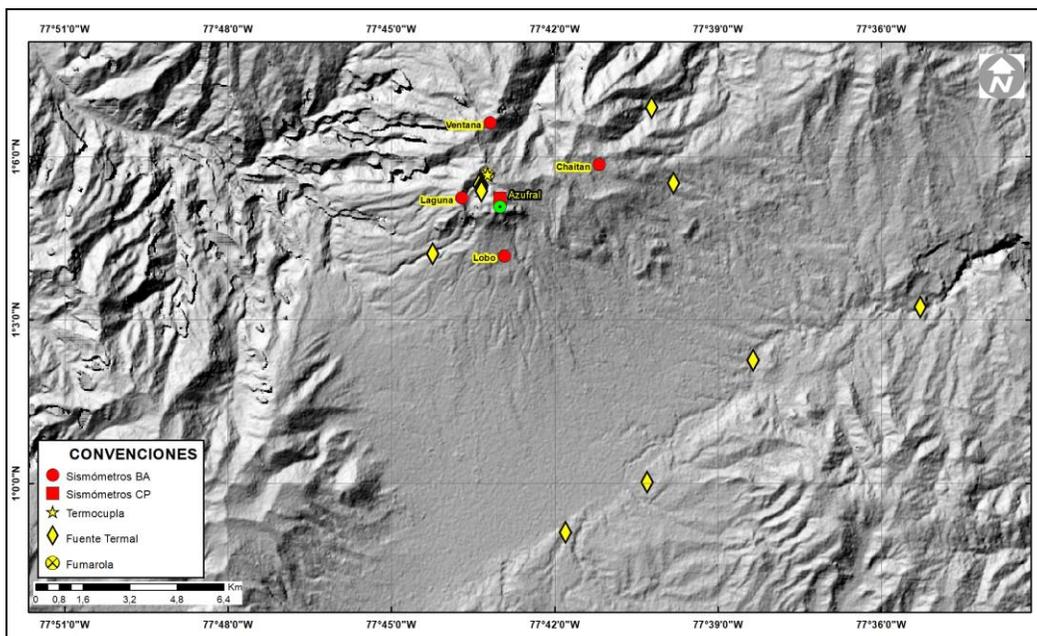
### 4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 74 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 y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 24 se consignan sus características.

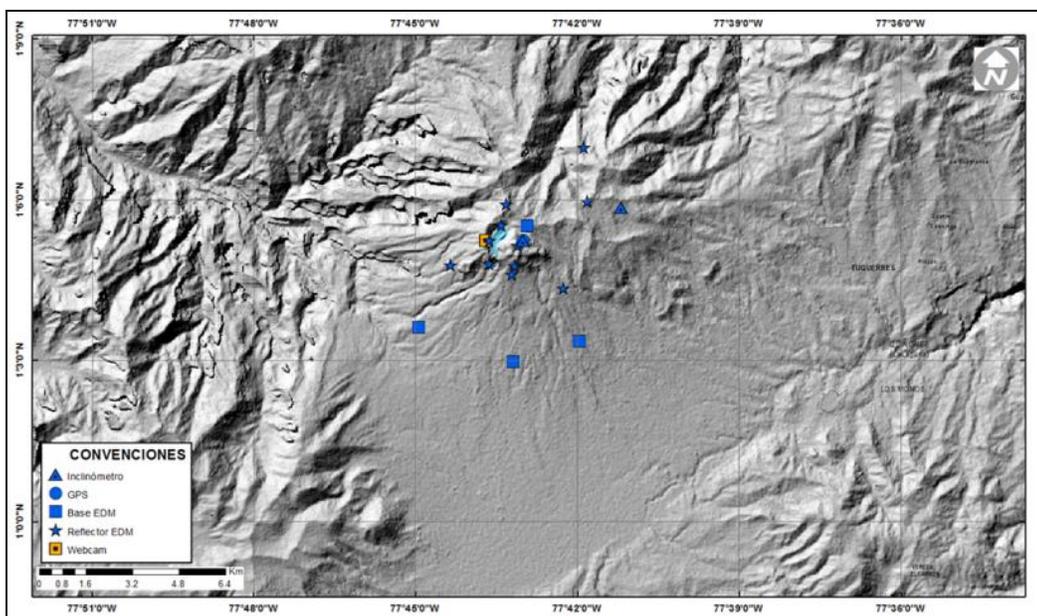
Adicionalmente, se cuenta con una estación meteorológica La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medida de radiación solar. Como complemento 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 (Figura 74).

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 75).



**Figura 74.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de febrero de 2021

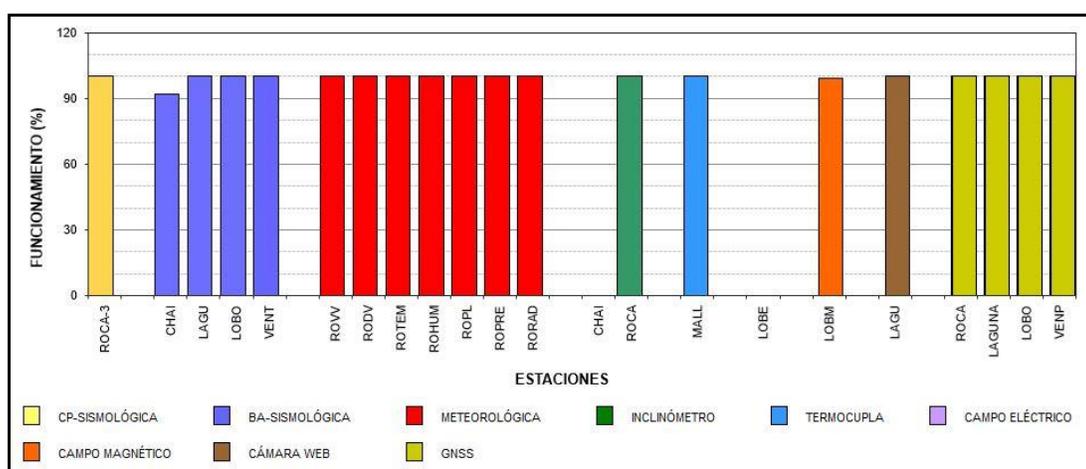


**Figura 75.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de febrero de 2021

**Tabla 24.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de febrero de 2021

| 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           |
| 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 91 % para este mes (Figura 76).



**Figura 76.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante febrero de 2021

#### 4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en febrero la sismicidad en el volcán AzufraI, mantuvo un número similar al de enero, pasando de 30 a 29 eventos, 26 de ellos asociados con fractura de roca (VT), correspondiente al 90%, 2 asociados con tránsito de fluidos (LP), correspondiente al 7% y uno de tipo híbrido (HIB), correspondiente al 3% (Figura 77, Tabla 25). El pico de ocurrencia sísmica fue de 5 eventos VT, el cual se registró el 20 de febrero de 2021.

La energía sísmica liberada incrementó su valor 48 veces, pasando de  $2.68 \times 10^{11}$  a  $1.29 \times 10^{13}$  ergios, correspondiendo en su totalidad a los VT, la energía de los otros tipos de eventos es baja y queda inmersa en la energía de los VT (Tabla 26). El pico energético se registró el 25 de febrero con  $1.26 \times 10^{13}$  ergios, debida a un VT con ML 2.6 Richter.

Se localizaron 16 sismos de baja energía ubicados de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en distancias entre cero y 10 km, con profundidades entre 2 y 10 km, con respecto a la cima (4200 msnm), destacándose un evento con magnitud local de 2.6 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido, el cual se registró el 25 de febrero a las 7:52 a.m., ubicado a 2.7 km al noroccidente del domo Mallama, con profundidad de 6.5 km con respecto a la cima de AzufraI (Figura 78).

**Tabla 25.** Número de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, para enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|---------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                     | VT                         | LPS | TRE | HIB | TOTAL |
| Enero 2021          | 29                         | 1   | 0   | 0   | 30    |
| Febrero 2021        | 26                         | 2   | 0   | 1   | 29    |

**Tabla 26.** Energía de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, enero y febrero 2021

| Periodo<br>Evaluado | Energía de eventos volcánicos por tipo |          |          |          |          |
|---------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                     | VT                                     | LPS      | TRE      | HIB      | TOTAL    |
| Enero 2021          | 2.57E+11                               | 3.36E+08 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.57E+11 |
| Febrero 2021        | 1.28E+13                               | 3.63E+10 | 0.00E+00 | 1.97E+08 | 1.29E+13 |

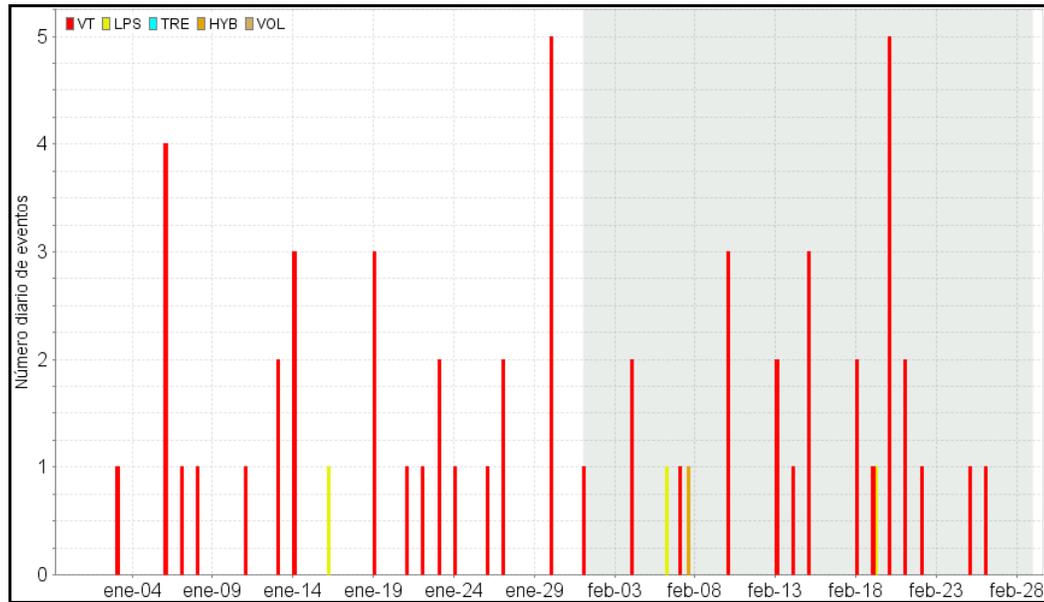


Figura 77. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, enero y febrero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado

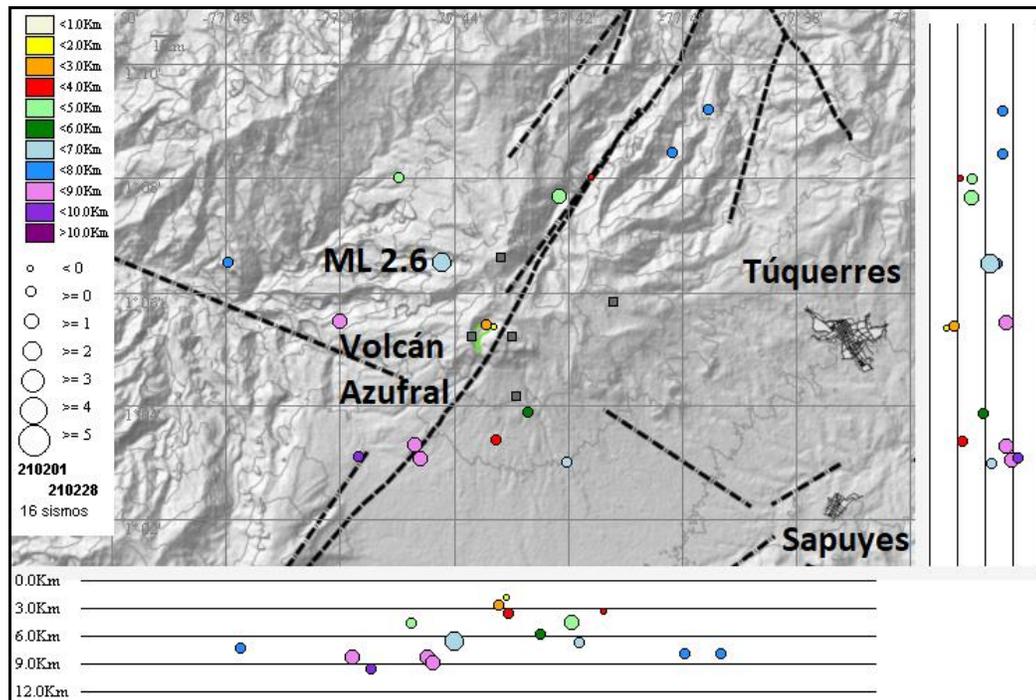


Figura 78. Localizaciones de sismos VT en Azufral, febrero 2021

Los sismos localizados son de baja energía, se destaca el VT con ML de 2.6 Richter, en la Tabla 27 se presentan sus características de localización.

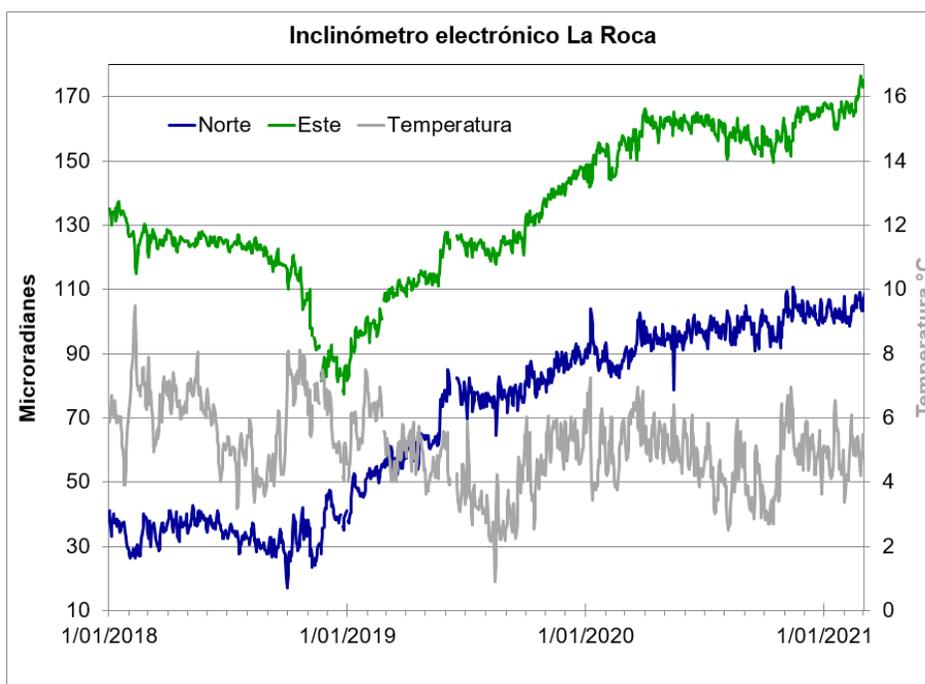
**Tabla 27.** Sismo con ML igual a 2.6, volcán Azufraal, febrero 2021

| Fecha      | Hora local | Latitud | Longitud | Prof. Km | ML  |
|------------|------------|---------|----------|----------|-----|
| 25/02/2021 | 07:52      | 1-06.56 | 77-44.24 | 6.5      | 2.6 |

### 4.2.3 Deformación

#### 4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

Las componentes del inclinómetro La Roca, muestran comportamientos ascendentes, la Norte tiene esta tendencia desde septiembre de 2018 con cerca de 86  $\mu\text{rad}$  y la Este con 98  $\mu\text{rad}$  desde diciembre de 2018 (Figura 79).

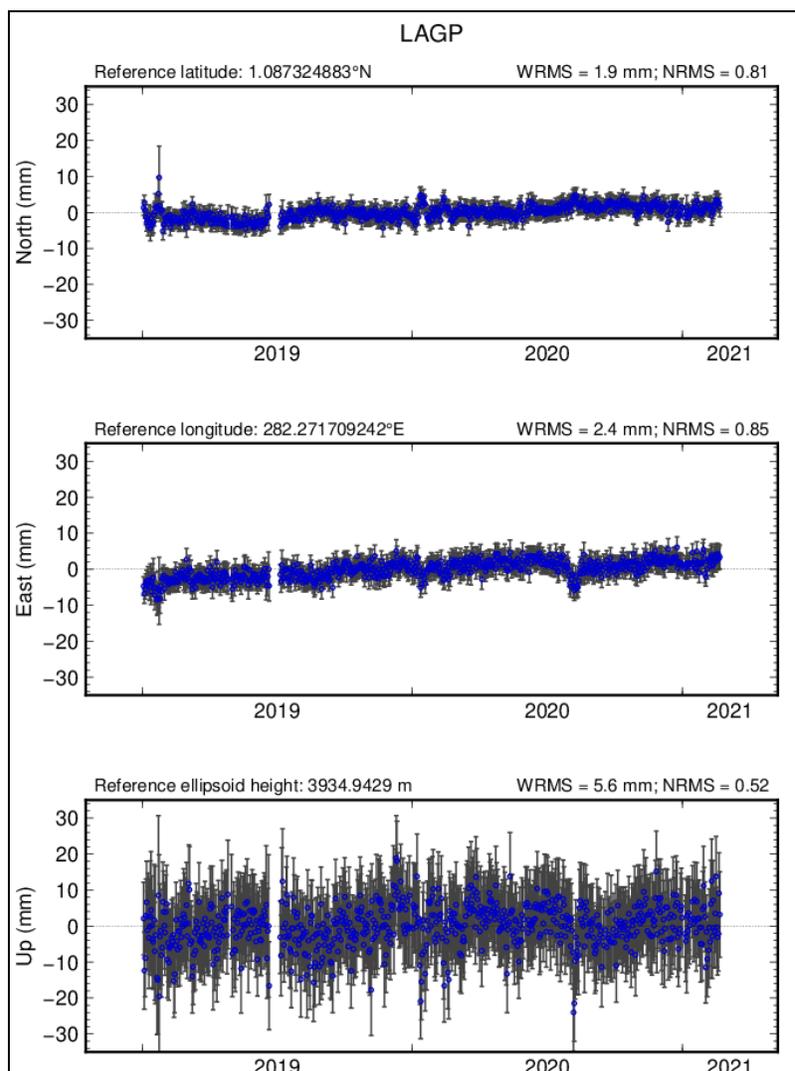


**Figura 79.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 28 de febrero de 2021

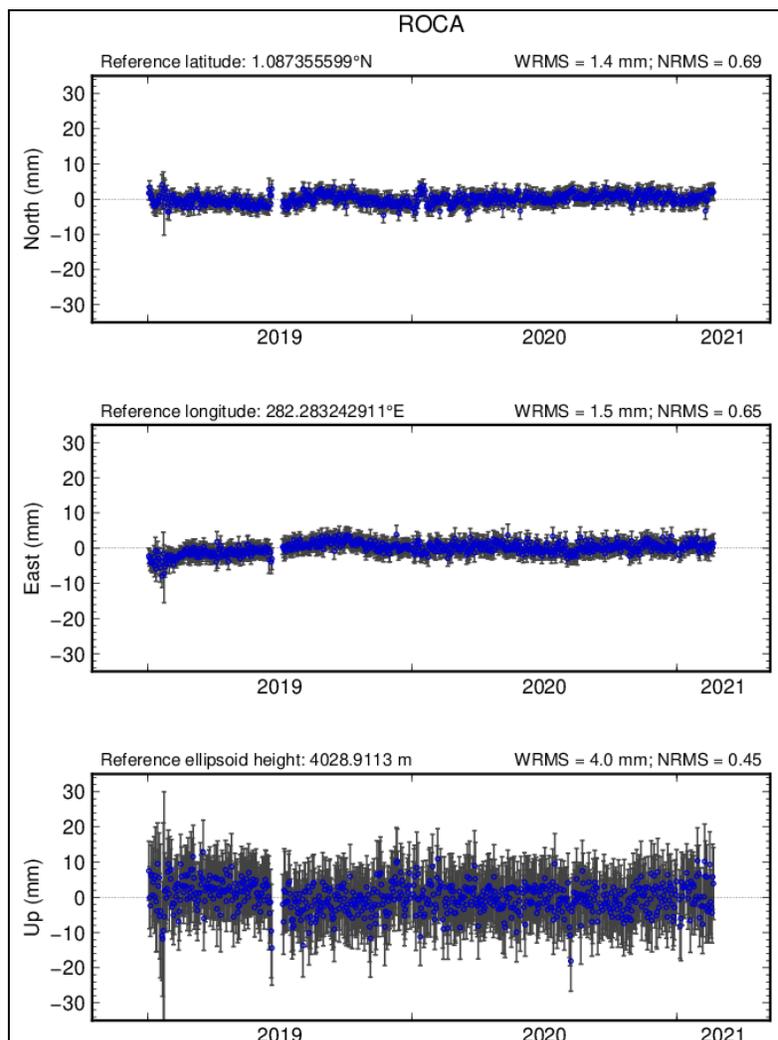
#### 4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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 80, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura del GNSS Laguna, se resalta la ligera tendencia ascendente que se presenta en la dirección Este, acumulando cerca de 12 mm desde 2019. Las estaciones Lobo, Ventana y Roca mantienen tendencias estables, en la Figura 81 se muestran las series temporales de la estación La Roca.



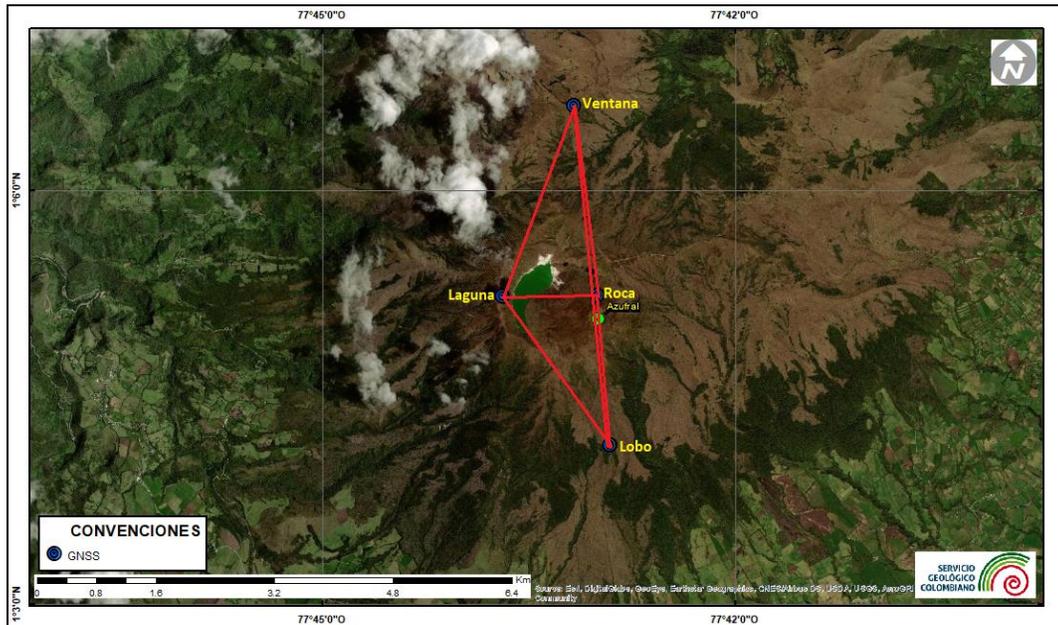
**Figura 80.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK



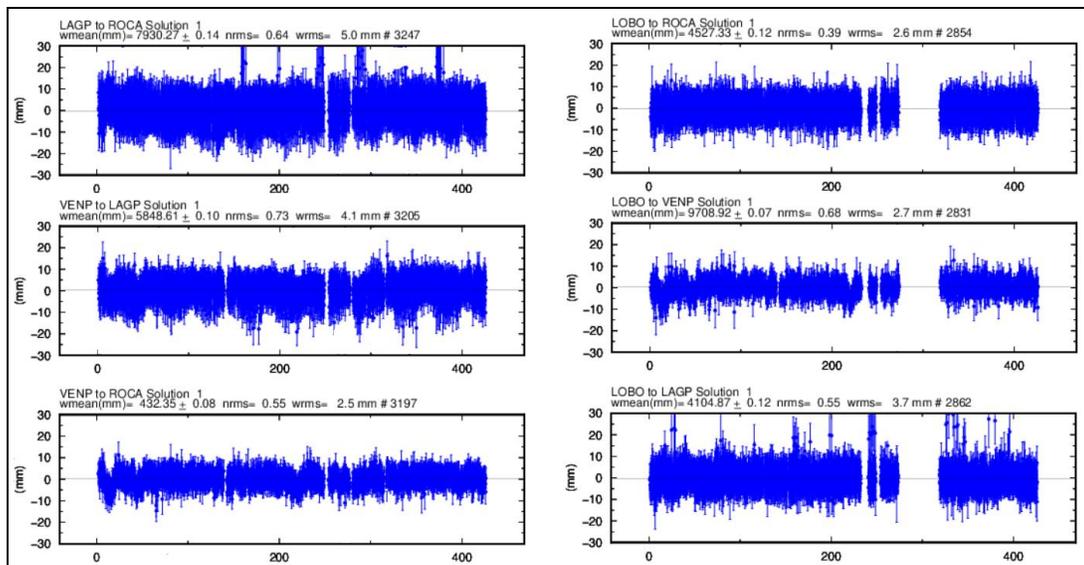
**Figura 81.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente La Roca instalada en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de febrero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

### 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 82, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 83, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 82.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, 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 83.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 28 de febrero de 2021. 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.

#### 4.2.4 Electromagnetismo

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

#### 4.2.5 Geoquímica

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

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

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

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

##### 4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán AzufraI

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

##### 4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

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

En la Figura 84, se muestra la gráfica temporal de los datos registrados en la estación climatológica y los valores numéricos en la Tabla 28, para el periodo evaluado se observan fluctuaciones en la dirección del viento. Los otros parámetros presentan variaciones características propias de su comportamiento.

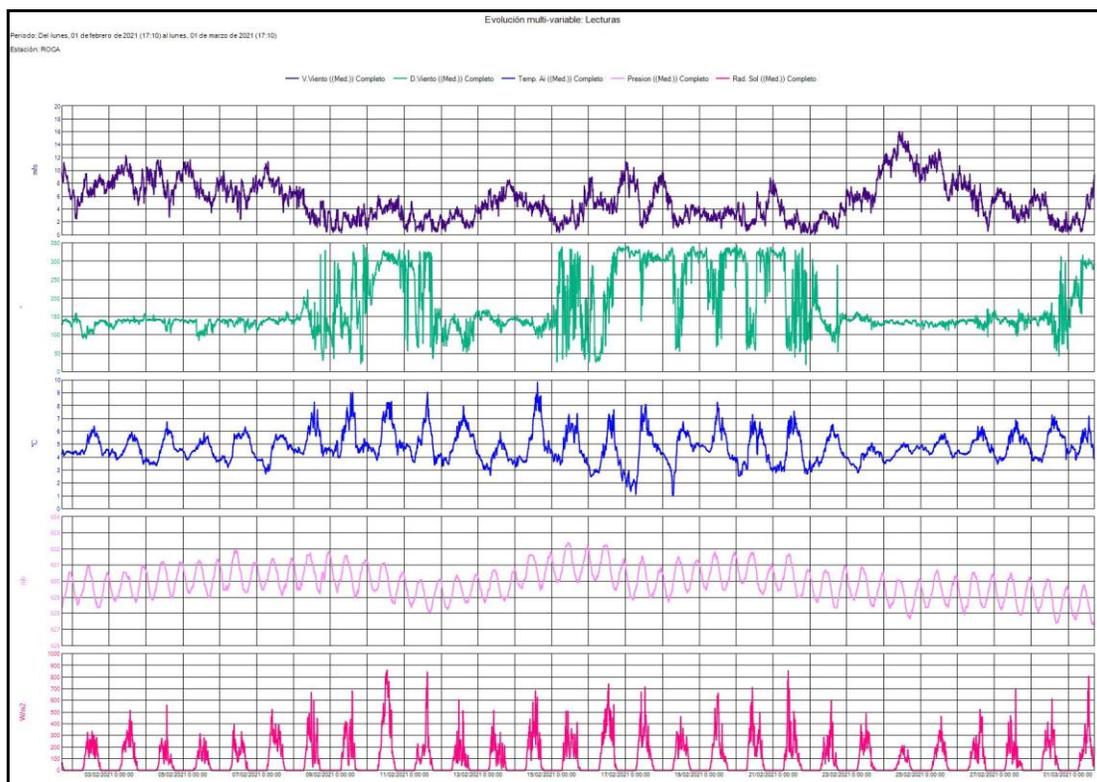


Figura 84. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – febrero 2021

Tabla 28. Datos parámetros estación climatológica La Roca - febrero 2021

|             | V. Viento<br>(Med.)<br>(m/s) | D. Viento<br>(Med.)<br>(°) | Temp. Ai<br>(Med.)<br>(°C) | Presión<br>(Med.)<br>(mb) | Rad. Sol<br>(Med.)<br>(W/m2) |
|-------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Med.</b> | 5,3                          | 173,8                      | 4,8                        | 629,9                     | 92,5                         |
| <b>Máx.</b> | 16,1                         | 344,8                      | 9,8                        | 632,4                     | 859,6                        |
| <b>Mín.</b> | 0,2                          | 19,7                       | 1,0                        | 627,3                     | 0,1                          |
| <b>Acu.</b> | --                           | --                         | --                         | --                        | --                           |

#### 4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables para los días 6, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 19, 20, 22 y 23 de febrero de 2021, 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 principalmente del domo Mallama, ubicado en el nororiente de la Laguna Verde.

Se sugiere a CORPONARIÑO y Parques Nacionales de Colombia tomar las medidas preventivas que se estimen pertinentes, dada la alta afluencia de turistas y visitantes que suele tener el cráter del Volcán Azufral.

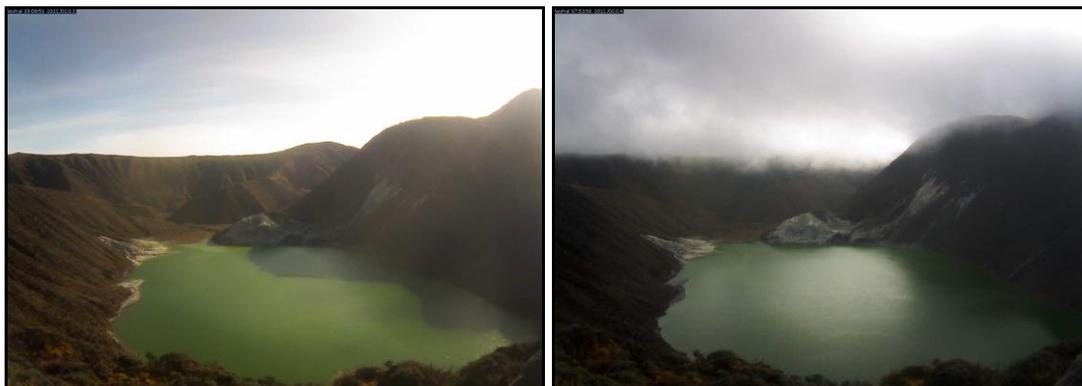
En las Figuras 85 a 90 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



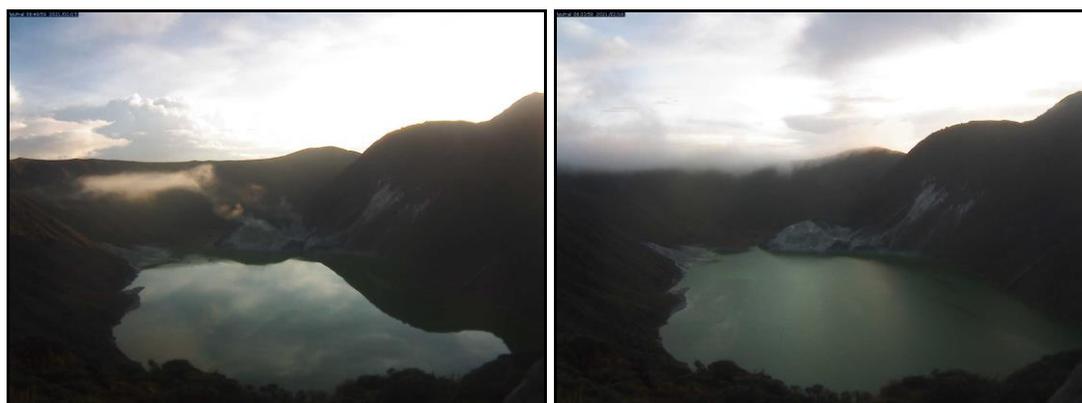
**Figura 85.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 6 de febrero de 2021 a las 8:33 a.m., (izquierda) y el 7 de febrero de 2021 a las 6:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



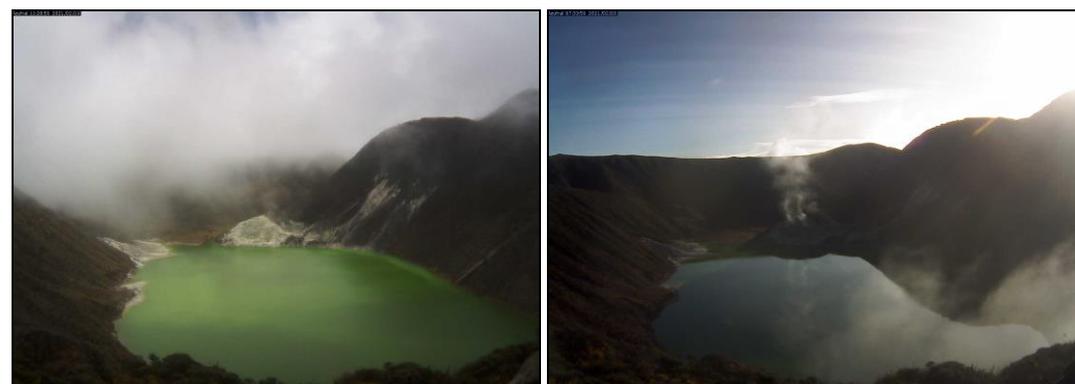
**Figura 86.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 9 de febrero de 2021 a las 6:28 a.m., (izquierda) y el 11 de febrero de 2021 a las 7:38 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 87.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 11 de febrero de 2021 a las 8:08 a.m., (izquierda) y el 14 de febrero de 2021 a las 7:53 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 88.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 15 de febrero de 2021 a las 6:48 a.m., (izquierda) y el 16 de febrero de 2021 a las 6:33 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 89.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 19 de febrero de 2021 a las 11:28 a.m., (izquierda) y el 20 de febrero de 2021 a las 7:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 90.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 22 de febrero de 2021 a las 6:13 a.m., (izquierda) y el 23 de febrero de 2021 a las 7:58 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

#### 4.2.7 Conclusiones

- En febrero 2021 la sismicidad en la zona de influencia del volcán Azufral mantuvo niveles similares de ocurrencia con incremento de su energía, casi en su totalidad asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 2.6 en la escala de Richter y sin reportes de sismo sentido.
- Se registra estabilidad en las variables climatológicas con excepción de la dirección del viento.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral en febrero 2021 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2021). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de enero y febrero del 2021. 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>