



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

**San Juan de Pasto, septiembre de 2022**



**MINISTERIO DE MINAS Y  
ENERGÍA**

· INFORMACIÓN ·

Calle 27 N.º 9 Este - 25 Barrio La Carolina  
+57 (602) 7302593 y 7320752  
[sgc-pasto@sgc.gov.co](mailto:sgc-pasto@sgc.gov.co)

**SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©**

Oscar Paredes Zapata  
**Director General**

John Makario Londoño  
**Dirección Técnica Geoamenazas**

Roberto Torres Corredor  
**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  
Richard Mier Portilla  
Yenny Hache Timaná

**Grupo de Trabajo Observatorio Pasto**

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – AGOSTO DE 2022	17
1.1 Red de Vigilancia	17
1.2 Sismología	24
1.3 Deformación	27
1.3.1 Inclinometría Electrónica	28
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	29
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM	31
1.3.4 D_InSAR	32
1.4 Electromagnetismo	32
1.5 Geoquímica	36
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	36
1.5.2 Pluviómetros	39
1.6 Actividad Superficial	39
1.7 Conclusiones	41
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – AGOSTO DE 2022	42
2.1 Red de Vigilancia	42
2.2 Sismología	44
2.3 Deformación	47
2.3.1 Inclinometría Electrónica	47
2.3.2 D_InSAR	47
2.4 Electromagnetismo	48
2.5 Geoquímica	48
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	48
2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	48
2.6 Actividad Superficial	50
2.7 Conclusiones	52
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - AGOSTO DE 2022	53
3.1 Ubicación Geográfica	53
3.2 Red de Vigilancia	53
3.3 Sismología	56
3.4 Deformación	59
3.4.1 Inclinometría Electrónica	59
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	62
3.4.3 D_InSAR	66

3.5	Electromagnetismo	68
3.6	Geoquímica	71
3.6.1	Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
3.6.2	Muestreo de aguas en fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	72
3.7	Actividad Superficial	72
3.8	Conclusiones	72
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – AGOSTO DE 2022	73
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas	74
4.1.1	Red de Vigilancia	74
4.1.2	Sismología	76
4.1.3	Deformación	79
4.1.4	Geoquímica	86
4.1.5	Actividad Superficial	86
4.1.6	Conclusiones	86
4.2	Actividad del Volcán Azufral	87
4.2.1	Red de Vigilancia	87
4.2.2	Sismología	90
4.2.3	Deformación	91
4.2.4	Electromagnetismo	95
4.2.5	Geoquímica	98
4.2.6	Actividad Superficial	100
4.2.7	Conclusiones	102
5.	CAMPO VOLCÁNICO MONOGENÉTICO GUAMUEZ – SIBUNDOY (PUTUMAYO) – AGOSTO DE 2022	102
5.1	Red de Vigilancia	102
5.2	Estaciones GNSS Permanentes	104
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en agosto de 2022	20
<b>Figura 2.</b> Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en agosto de 2022	20
<b>Figura 3.</b> Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en agosto de 2022	22
<b>Figura 4.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en agosto de 2022	23
<b>Figura 5.</b> Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022	24
<b>Figura 6.</b> Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022	25
<b>Figura 7.</b> Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 3 de agosto a las 8:44 p.m., en la componente vertical de la estación Cufiño del volcán Galeras	26
<b>Figura 8.</b> Energía diaria liberada, de eventos sísmicos registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022	27
<b>Figura 9.</b> Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, agosto de 2022	27
<b>Figura 10.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022	28
<b>Figura 11.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022	29
<b>Figura 12.</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 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	30
<b>Figura 13.</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	31

<b>Figura 14.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	31
<b>Figura 15.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras	32
<b>Figura 16.</b> CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo – agosto de 2022	34
<b>Figura 17.</b> Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras	35
<b>Figura 18.</b> Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde) y DEF (roja) para el periodo de julio y agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo	36
<b>Figura 19.</b> Concentración radón difuso en suelo- estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	37
<b>Figura 20.</b> Concentración radón difuso en suelo - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	37
<b>Figura 21.</b> Concentración radón difuso en suelo- estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	38
<b>Figura 22.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 2 de agosto de 2022 a las 6:09 a.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 3 de agosto de 2022 a las 6:18 p.m., (derecha)	39
<b>Figura 23.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 12 de agosto de 2022 a las 5:00 p.m., (izquierda) y desde Bruma para el mismo día a las 6:05 p.m., (derecha)	40
<b>Figura 24.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 13 de agosto de 2022 a las 6:15 a.m., (izquierda) y para el día 15 de agosto de 2022 a las 6:29 p.m., (derecha)	40
<b>Figura 25.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 16 de agosto de 2022 a las 6:37 a.m., (izquierda) y para el día 17 de agosto de 2022 a las 6:16 p.m., (derecha)	40

<b>Figura 26.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 22 de agosto de 2022 a las 3:07 p.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 24 de agosto de 2022 a las 5:55 a.m., (derecha)	41
<b>Figura 27.</b> Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 26 de agosto de 2022 a las 8:03 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 27 de agosto a las 6:05 p.m., (derecha)	41
<b>Figura 28.</b> Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de agosto de 2022	43
<b>Figura 29.</b> Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de agosto de 2022	43
<b>Figura 30.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en agosto de 2022	44
<b>Figura 31.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre mayo y agosto de 2022	45
<b>Figura 32.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre mayo y agosto de 2022. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	46
<b>Figura 33.</b> Localizaciones de VT registrados en agosto de 2022 en el CVC	46
<b>Figura 34.</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 2021 y el 31 de agosto de 2022	47
<b>Figura 35.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 29 de julio de 2022 y el 10 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal	48
<b>Figura 36.</b> Estimación cualitativa de $\text{SO}_2$ obtenido con la aplicación TROPOMI para los últimos 15 días de agosto, el cuadrado de color rojo indica la ubicación del CVC. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores	49
<b>Figura 37.</b> Estimación de $\text{SO}_2$ obtenida con la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desde agosto de 2018 hasta agosto de 2022 y el número de eventos sísmicos desde enero de 2018 a agosto de 2022	50
<b>Figura 38.</b> Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal para el 1 de agosto de 2022 captada por la cámara ubicada en el sector	

del Boliche a las 8:27 a.m., (izquierda) y desde Punta Vieja para el 12 de agosto de 2022 a las 11:34 p.m., (derecha)	51
<b>Figura 39.</b> Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 13 de agosto de 2022 a las 5:57 a.m., (izquierda) y para el día 16 de agosto de 2022 a las 7:35 a.m., (derecha)	51
<b>Figura 40.</b> Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 17 de agosto de 2022 a las 7:10 a.m., (izquierda) y para el día 18 de agosto de 2022 a las 7:30 a.m., (derecha)	51
<b>Figura 41.</b> Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 22 de agosto de 2022 a las 6:35 p.m., (izquierda) y para el día 24 de agosto de 2022 a las 6:39 a.m., (derecha)	52
<b>Figura 42.</b> Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 26 de agosto de 2022 a las 6:44 p.m., (izquierda) y para el día 27 de agosto de 2022 a las 6:21 a.m., (derecha)	52
<b>Figura 43.</b> Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	53
<b>Figura 44.</b> Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de agosto de 2022	54
<b>Figura 45.</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 agosto de 2022	56
<b>Figura 46.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	57
<b>Figura 47.</b> Energía diaria de sismos registrados entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	57
<b>Figura 48.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en agosto de 2022	59
<b>Figura 49.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 15 de septiembre de 2021 y el 31 de agosto de 2022, se resaltan los sismos tipo VT que han interrumpido la continuidad del registro	60
<b>Figura 50.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2021 y el 31 de agosto de 2022, se resaltan los sismos tipo VT que han interrumpido la continuidad del registro	61

<b>Figura 51.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles. Izquierda: para el periodo comprendido entre 1 de julio de 2019 y el 31 de agosto de 2022. Derecha: 1 de enero a 31 de agosto de 2022	61
<b>Figura 52.</b> Ubicación de las estaciones GNSS permanentes dedicadas al monitoreo de los cambios en superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, SGC (MORO), IGEPN (CENE, CHLW, CHLS, EANG)	62
<b>Figura 53.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS El Morro y CHLS instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022	63
<b>Figura 54.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLW, instalada en Chiles y EANG ubicada hacia el sector suroccidente del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022	63
<b>Figura 55.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CENE instalada en Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022	64
<b>Figura 56.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie del complejo Chiles – Cerro Negro, 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	65
<b>Figura 57.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS en la zona volcánica Chiles – Cerro Negro, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	65
<b>Figura 58.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro	66
<b>Figura 59.</b> Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente (Agencia Espacial Europea (ESA)), con el software ISCE y el apilamiento con MintPY para el área del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo entre el 15 de octubre de 2014 y el 15 de septiembre de 2022, diferenciando tres zonas: el volcán Chiles (superior), volcán Cerro Negro (centro) y Potrerillos (inferior)	67
<b>Figura 60.</b> CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVCCN: MOR (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo y agosto de 2022	69
<b>Figura 61.</b> Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para los meses de julio y agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el	

promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo	70
<b>Figura 62.</b> Imágenes de algunos trabajos de campo: A) Medición de temperatura en manantial termal La Cristalina, B) Medición de temperatura en manantial termal El Rincón Más Bello y C) Medición de gas difuso, dióxido de carbono en el manantial El Infiernillo	71
<b>Figura 63.</b> Registro de temperatura en fuente termal Baño Grande (Piscina del Cabildo indígena de Chiles), se muestra también el datalogger con los cuales se realiza este tipo de medición	72
<b>Figura 64.</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	74
<b>Figura 65.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de agosto de 2022	76
<b>Figura 66.</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 agosto de 2022	76
<b>Figura 67.</b> Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022	77
<b>Figura 68.</b> Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	78
<b>Figura 69.</b> Localizaciones de VT registrados en agosto de 2022 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	78
<b>Figura 70.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022	79
<b>Figura 71.</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 Las Ánimas y Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 18 de marzo de 2022 y el 31 de agosto de 2022	80
<b>Figura 72.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022	81
<b>Figura 73.</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 enero de 2020 y el 31 de agosto de 2022	81

<b>Figura 74.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS La Palma y Lavas, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022	82
<b>Figura 75.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Petroglifo, instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 9 de marzo de 2022 y el 31 de agosto de 2022	83
<b>Figura 76.</b> Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana y Las Ánimas, 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	84
<b>Figura 77.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	85
<b>Figura 78.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas	86
<b>Figura 79.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de agosto de 2022	88
<b>Figura 80.</b> Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de agosto de 2022	88
<b>Figura 81.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante agosto de 2022	89
<b>Figura 82.</b> Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, entre mayo y agosto de 2022	90
<b>Figura 83.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en agosto de 2022	91
<b>Figura 84.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de agosto de 2022	92
<b>Figura 85.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Roca y Laguna instaladas en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	93
<b>Figura 86.</b> 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	94
<b>Figura 87.</b> Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y	

el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	94
<b>Figura 88.</b> Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del volcán Azufral	95
<b>Figura 89.</b> CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azufral: LOB (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo y agosto de 2022	97
<b>Figura 90.</b> Variaciones del CMT-F, en la estación LOB (café) y KOU (negra), para agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo	98
<b>Figura 91.</b> Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral. Mayo – agosto de 2022 (región sombreada: agosto)	99
<b>Figura 92.</b> Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 1 de agosto de 2022 a las 7:55 a.m., (izquierda) y para el 2 de agosto de 2022 a las 8:15 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	100
<b>Figura 93.</b> Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 13 de agosto de 2022 a las 8:10 a.m., (izquierda) y para el 16 de agosto de 2022 a las 7:30 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	100
<b>Figura 94.</b> Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 17 de agosto de 2022 a las 7:10 a.m., (izquierda) y para el 18 de agosto de 2022 a las 7:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	101
<b>Figura 95.</b> Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 19 de agosto de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y para el 23 de agosto de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	101
<b>Figura 96.</b> Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 24 de agosto de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y para el 26 de agosto de 2022 a las 7:25 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	101
<b>Figura 97.</b> Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en sismología, geofísica y fuentes termales en el campo volcánico monogenético Guamuez para el mes de agosto de 2022	103
<b>Figura 98.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del campo volcánico monogenético Guamuez durante agosto de 2022	104

**Figura 99.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Colón, instalada por el IGAC en el Municipio de Colón (Putumayo), para el periodo comprendido entre el 12 de mayo de 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK 105

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de agosto de 2022	19
<b>Tabla 2.</b> Inclinómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en agosto de 2022	21
<b>Tabla 3.</b> Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en agosto de 2022	21
<b>Tabla 4.</b> Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en agosto de 2022	22
<b>Tabla 5.</b> Estaciones que monitorean las variaciones del campo potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	23
<b>Tabla 6.</b> Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	23
<b>Tabla 7.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022	24
<b>Tabla 8.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto 2022	26
<b>Tabla 9.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Lavas - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022	37
<b>Tabla 10.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Lirios - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022	38
<b>Tabla 11.</b> Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m <sup>3</sup> - estación Parques - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022	38
<b>Tabla 12.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en agosto de 2022	42
<b>Tabla 13.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre mayo y agosto de 2022	44
<b>Tabla 14.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre mayo y agosto de 2022	45
<b>Tabla 15.</b> Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	54

<b>Tabla 16.</b> Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro	55
<b>Tabla 17.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	56
<b>Tabla 18.</b> Energía de eventos VT, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	57
<b>Tabla 19.</b> Sismos reportados como sentidos en el mes de agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	58
<b>Tabla 20.</b> Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en agosto de 2022	75
<b>Tabla 21.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	77
<b>Tabla 22.</b> Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022	77
<b>Tabla 23.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de agosto de 2022	89
<b>Tabla 24.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufral entre mayo y agosto de 2022	90
<b>Tabla 25.</b> Datos parámetros estación climatológica La Roca – agosto de 2022	99
<b>Tabla 26.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia del campo volcánico monogenético Guamuez ubicados en el Departamento del Putumayo para el mes de agosto de 2022	103

## RESUMEN

Para el periodo evaluado y en comparación con el mes de julio de 2022, para Galeras se presentó una disminución en la ocurrencia sísmica, pasando de 97 a 67 eventos, en su mayoría asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 16 de agosto con 5 eventos. De igual forma, para el mes de agosto la energía liberada por la sismicidad disminuyó 80.6% del valor registrado en julio, pasando de  $1.54 \times 10^{13}$  ergios a  $3.00 \times 10^{12}$  ergios. Los eventos se ubicaron de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, con distancias epicentrales entre 0.5 y 16.5 km y profundidades menores a 14 km respecto a la cima, con ML máxima de 2.0 Richter.

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico de Cumbal presentó descenso del 15.6% en comparación al mes de julio de 2022. Con un total para este periodo de 1268, donde el 84.2% está asociado con fractura de roca al interior del volcán, seguida por la sismicidad asociada con el tránsito de fluidos de fuente transitoria con el 10.6% del total. En cuanto a la energía sísmica también disminuyó en un 64.6%, pasando de  $1.15 \times 10^9$  ergios a  $4.09 \times 10^8$  ergios. La mayoría de la sismicidad se localizó preferencialmente al suroriente del cráter la Plazuela, a niveles superficiales menores a 2 km y respecto a la altura del cráter La Plazuela. Las magnitudes de los eventos fueron menores a 1.3 Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en agosto de 2022 registró un descenso respecto al mes de julio de 2022, pasando de 65905 a 36004 eventos. Los eventos VT con 35122 representan el 97.6 % del total, seguidos por eventos asociados con el tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos con 664 sismos. Para el periodo evaluado, los picos de ocurrencia sísmica se presentaron el 17 y 18 de agosto con 4881 y 3364 eventos tipo VT y 14 y 7 LP, respectivamente. De igual manera se observó disminución de la energía liberada en un 16.3 % respecto a julio. La mayoría de los eventos se ubicaron principalmente en dos fuentes sísmicas, la primera en el sector suroccidental de Chiles a menos de 4 km de distancia y profundidades menores a 6 km con respecto a la cima del Chiles, el segundo grupo de sismos ubicado al sur-occidente de la zona de influencia del volcán Chiles, con distancias entre 4 y 14 km y profundidades entre 8 y 12 km, con respecto a la cima de Chiles y ML máxima de 4.3 Richter. Se resalta el registro de 16 sismos con magnitudes entre 2.2 y 4.4 Richter, los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de los resguardos indígenas de Chiles, Panan y Mayasquer, algunos de los eventos más energéticos fueron sentidos en el municipio de Cumbal.

Los volcanes de Doña Juana y Las Ánimas para agosto, mostraron niveles bajos en el número de sismos con un total de 5 eventos, asociados a fractura de roca. Se localizaron 2 sismos los cuales se ubicaron en la zona intermedia entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, con profundidades hasta de 4 km respecto a la cima de Las Ánimas y magnitud local máxima de 1.0 Richter.

En agosto de 2022, la sismicidad del volcán Azufral incremento su ocurrencia pasando de 26 a 42 sismos, asociados a fractura de roca al interior del volcán. Gran parte de los sismos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico con distancias menores de 14 km respecto a la Laguna cratérica, con profundidades menores a 18 km respecto a la cima y magnitud local máxima de 2.2 Richter.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del periodo evaluado, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Azufral, Doña Juana, Las Ánimas y algunos volcanes monogenéticos ubicados en el departamento del Putumayo, 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 – AGOSTO DE 2022**

#### **1.1 Red de Vigilancia**

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

- Diecisiete estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de corto periodo y quince de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Seis sensores de infrasonido (Figura 1, Tabla 1).

- Cinco cámaras de video telemétricas para registro de la actividad superficial, una instalada en la sede del OVSP, otra en la población de Consacá al occidente, otras al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo y otra, en Morasurco (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Once estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital) telemétricas (Figura 2, Tabla 3).
- Cinco bases de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Dos estaciones para monitoreo y seguimiento térmico Paisita y Deformes.
- Dos estaciones telemétricas para monitoreo de flujos de lodos, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 2).
- Tres estaciones ScanDOAS telemétricas para detección de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (Figura 3, Tabla 4).
- Un sensor de CO<sub>2</sub> - Parques.
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Deformes, Frailejón y Barranco y dos estaciones de medición de campo eléctrico en Frailejón y Barranco (Figura 3, Tabla 5).
- Tres estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo denominadas Lavas 1, Parques y Lirios ubicadas hacia el sector oriental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 6).

La red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 94% (Figura 4).

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

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

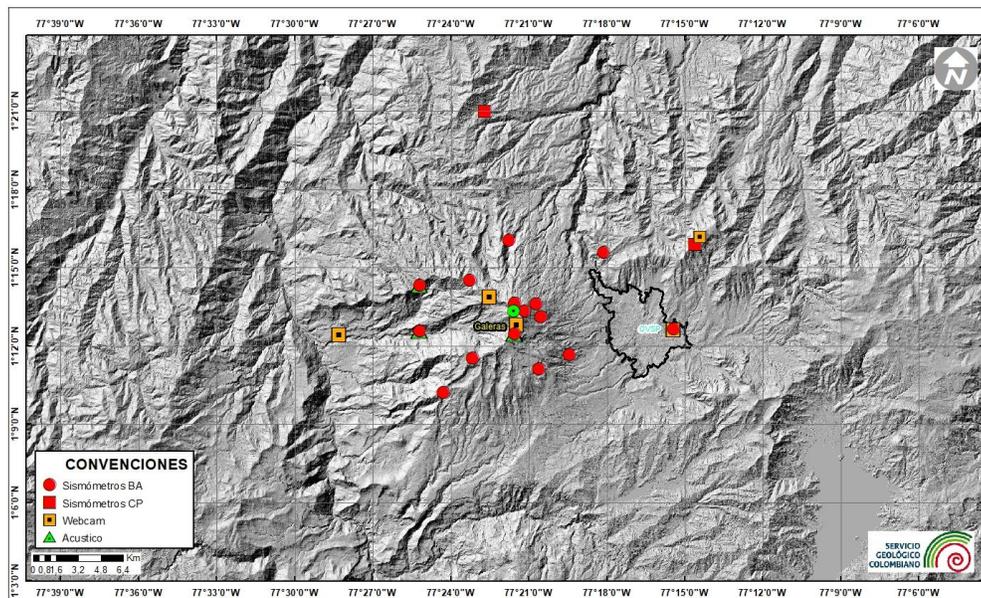


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en agosto de 2022

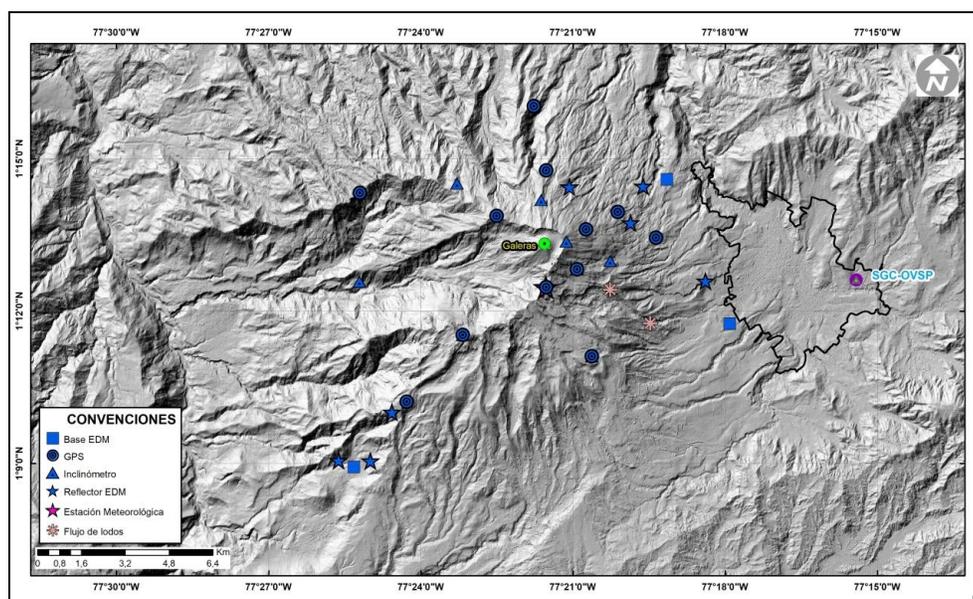


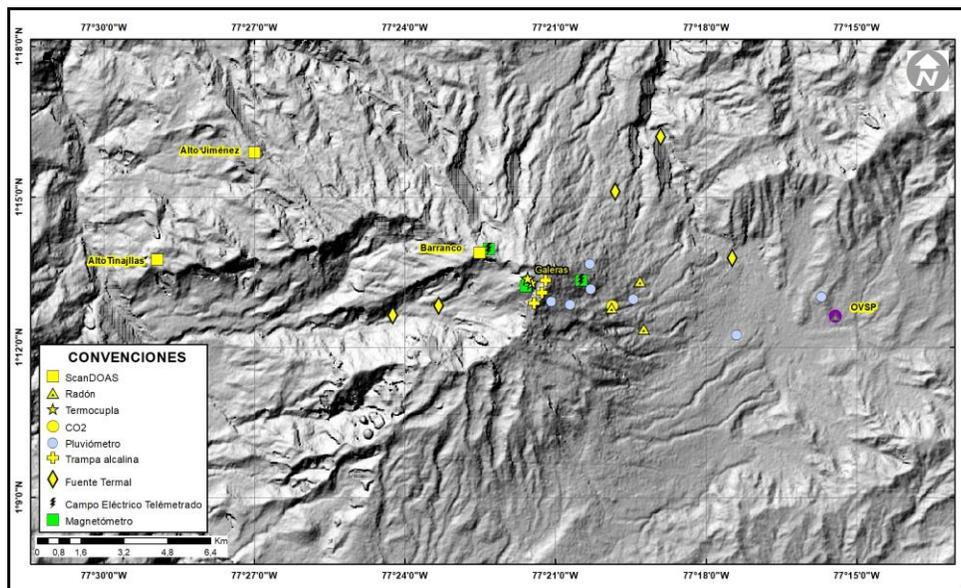
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en agosto de 2022

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

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 agosto de 2022

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 agosto de 2022

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

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

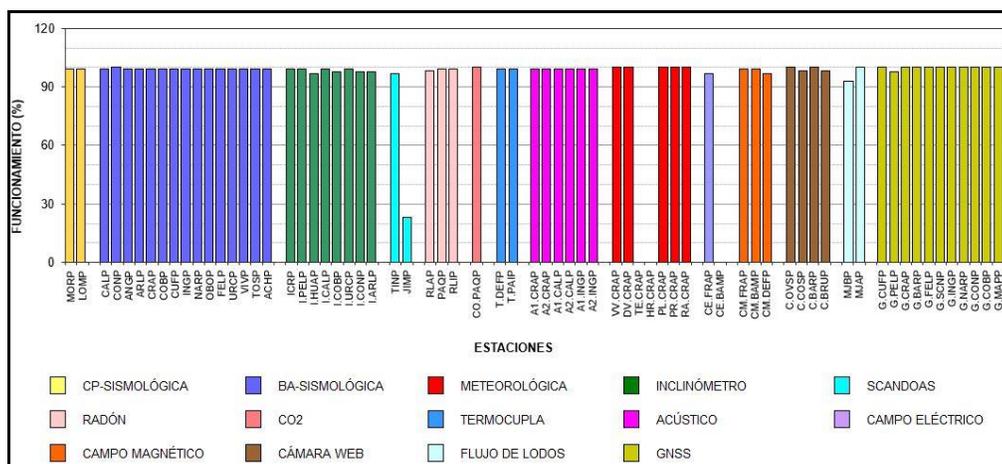
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm)

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

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

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

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



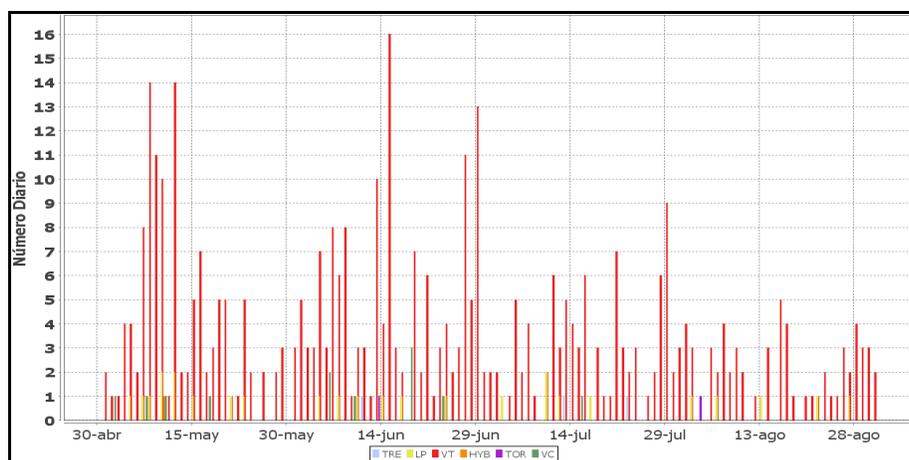
**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en agosto de 2022

## 1.2 Sismología

En agosto de 2022 la sismicidad volcánica disminuyó en un 31%, pasando de 97 a 67 eventos, en comparación a julio de 2022. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 61 sismos que representan el 91% del total, seguidos por el registro de sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) con el 9.0% (de los cuales uno corresponde a evento tipo Tornillo – TOR). Para este periodo no se tuvo registro de eventos que involucran fractura de roca con seguida por tránsito de fluido o de tipo híbrido (HYB) ni de eventos tipo tremor o eventos de fluidos de fuente permanente (TRE), tampoco se tuvo registro de eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados). Los sismos tipo VT disminuyeron un 31.5%, pasando de 89 a 61 eventos. El pico de ocurrencia sísmica diaria se registró el 16 de agosto, contabilizando 5 sismos (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						
	VT	LPS	TOR	TRE	HYB	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	122	10	0	0	1	4	137
2022-06-01-2022-06-30	145	6	1	1	0	7	160
2022-07-01-2022-07-31	89	5	0	2	0	1	97
2022-08-01-2022-08-31	61	5	1	0	0	0	67



**Figura 5.** Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022

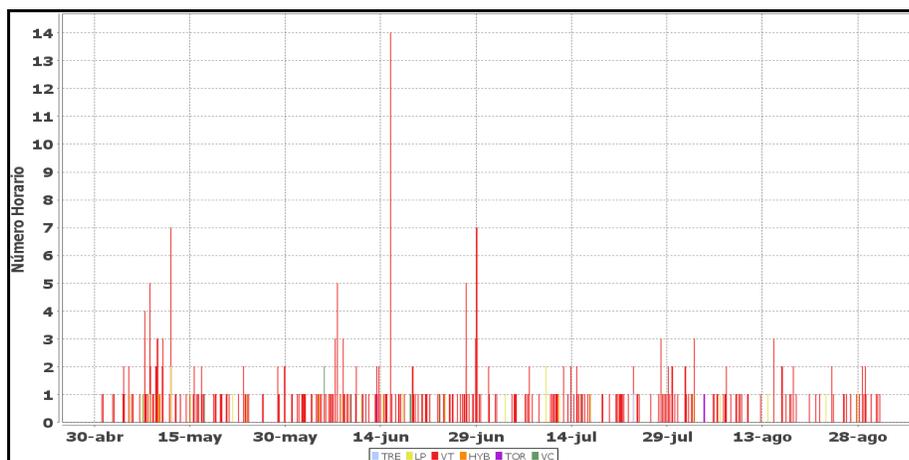
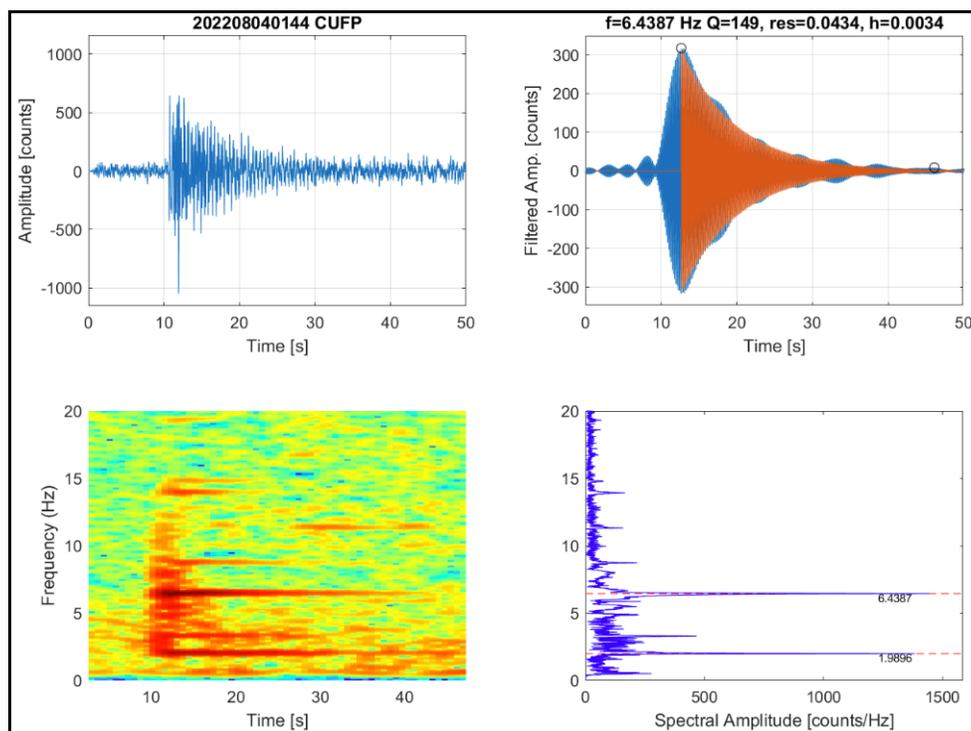


Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022

Se registró un evento tipo Tornillo (TOR), caracterizado por tener un decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 7 se muestran los sismogramas, espectrogramas y espectro en frecuencia de este sismo registrado el 3 de agosto a las 8:44 p.m., en la componente vertical de la estación Cufiño. Este evento presentó un pico dominante en la frecuencia de 6.44 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR registrados en éste periodo en el volcán Galeras indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del volcán.

La energía sísmica liberada en agosto de 2022 disminuyó un 80.6%, pasando de  $1.54 \times 10^{13}$  ergios a  $3.00 \times 10^{12}$  ergios, en comparación con lo registrado en julio, con un mayor aporte de los eventos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), con el 86.3% del total. El pico de energía se registró el día 22 de agosto, con  $1.29 \times 10^{12}$  ergios (Tabla 8, Figura 8).



**Figura 7.** Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 3 de agosto a las 8:44 p.m., en la componente vertical de la estación Cufiño del volcán Galeras

**Tabla 8.** Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre mayo y agosto 2022

Periodo Evaluado	Energía liberada en ergios por tipo de evento						
	VT	LPS	TOR	TRE	HYB	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	2.73E+13	3.61E+11	0.00E+00	0.00E+00	5.64E+12	1.89E+10	3.33E+13
2022-06-01-2022-06-30	1.68E+13	3.27E+12	1.11E+12	8.59E+11	0.00E+00	6.61E+11	2.27E+13
2022-07-01-2022-07-31	1.50E+13	4.06E+11	0.00E+00	2.41E+10	0.00E+00	6.31E+09	1.54E+13
2022-08-01-2022-08-31	2.59E+12	3.99E+11	1.07E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.00E+12

Se localizaron 32 sismos de tipo VT que se ubicaron dispersos en varios sectores del edificio volcánico, a distancias entre 0.5 y 16.5 km respecto al cráter principal, con profundidades menores a 14 km respecto a la cima (nivel de referencia sobre los 4200 m s.n.m.) y magnitud local máxima de 2.0 (Figura 9).

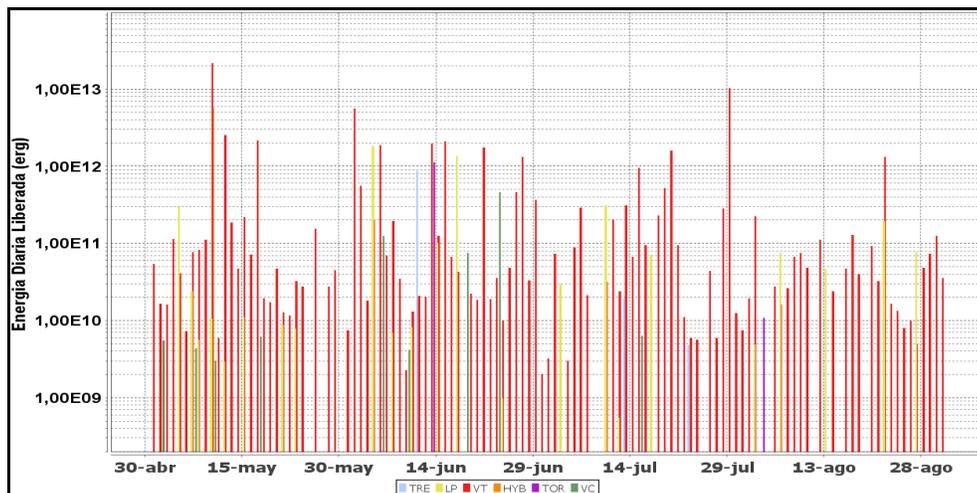


Figura 8. Energía diaria liberada, de eventos sísmicos registrados en Galeras entre mayo y agosto de 2022

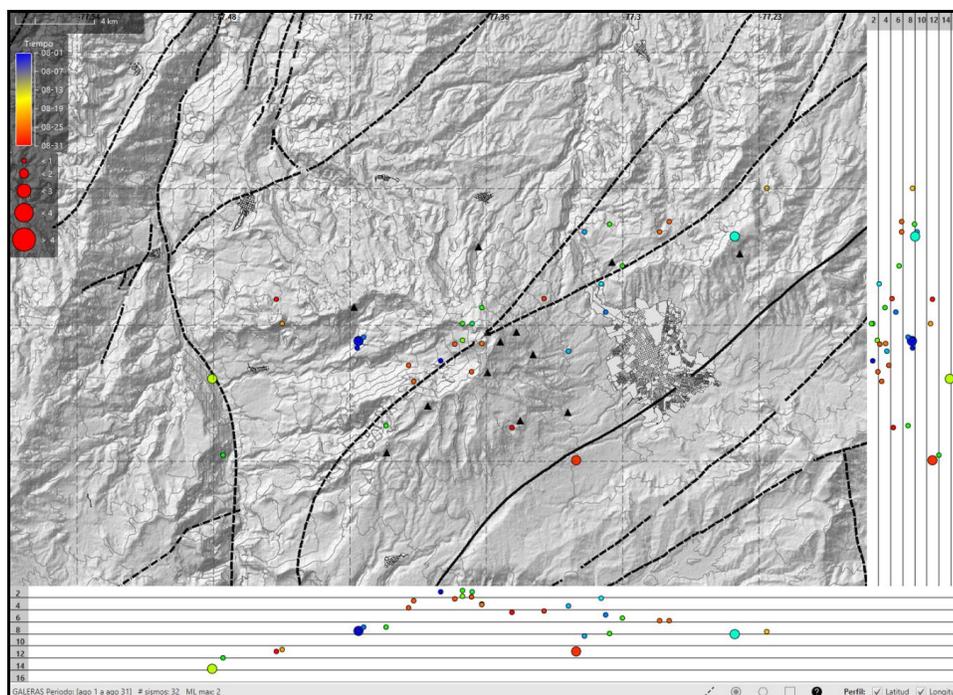


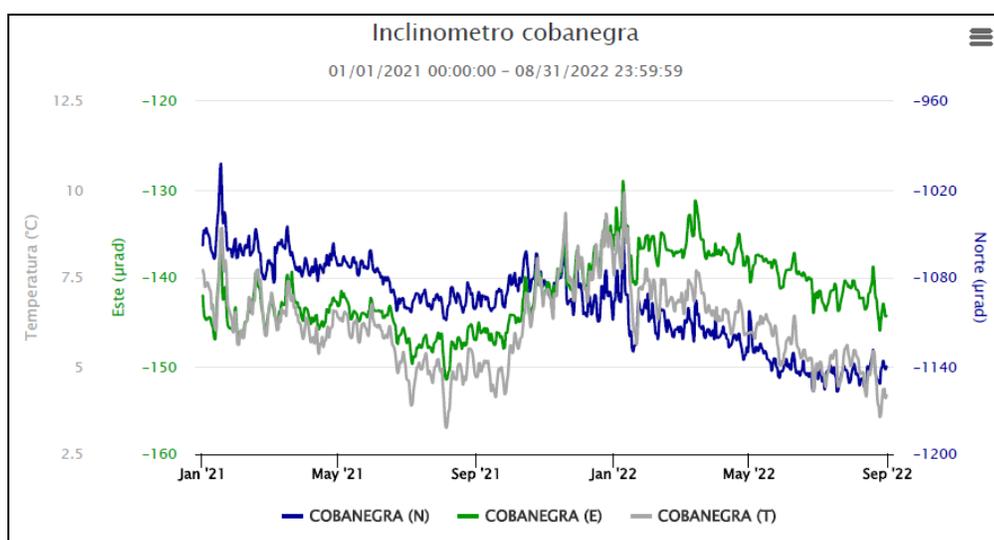
Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, agosto de 2022

### 1.3 Deformación

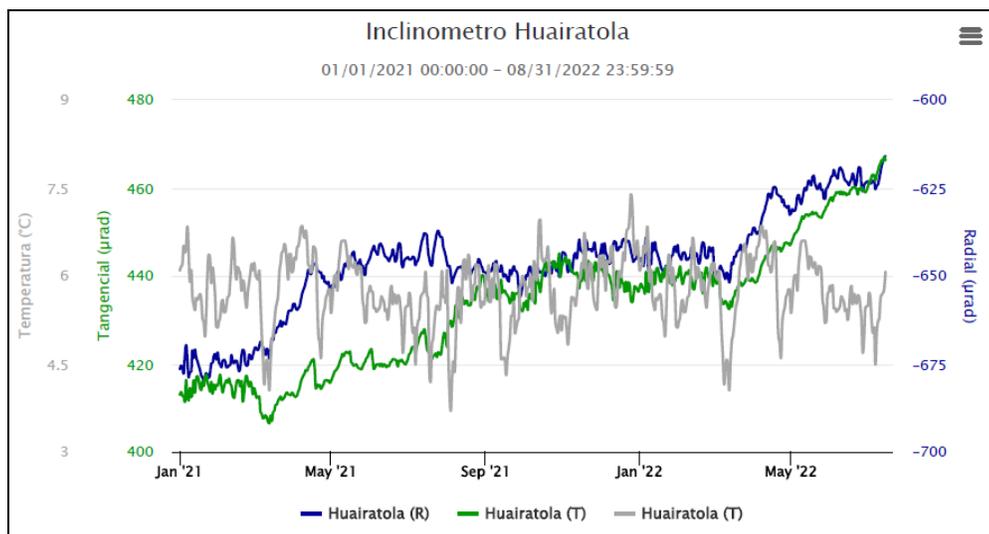
Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas.

### 1.3.1 Inclinometría Electrónica

Las componentes de inclinación de las estaciones Cráter, Peladitos, Cobanegra, Arlés y Cóndor continúan con tendencias estables, con variaciones que pueden estar asociadas con las condiciones climáticas en la zona, en la Figura 10 se indica el comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra. En el inclinómetro Huairatola entre marzo y agosto de 2022, se observó un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación, acumulando cerca de 30  $\mu\text{rad}$  en la componente Tangencial y 35  $\mu\text{rad}$  en la Radial (Figura 11). Las componentes Este de los inclinómetros Calabozo y Urcunina tiene comportamientos anómalos, los cuales pueden estar asociados con daños en el sensor.



**Figura 10.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022



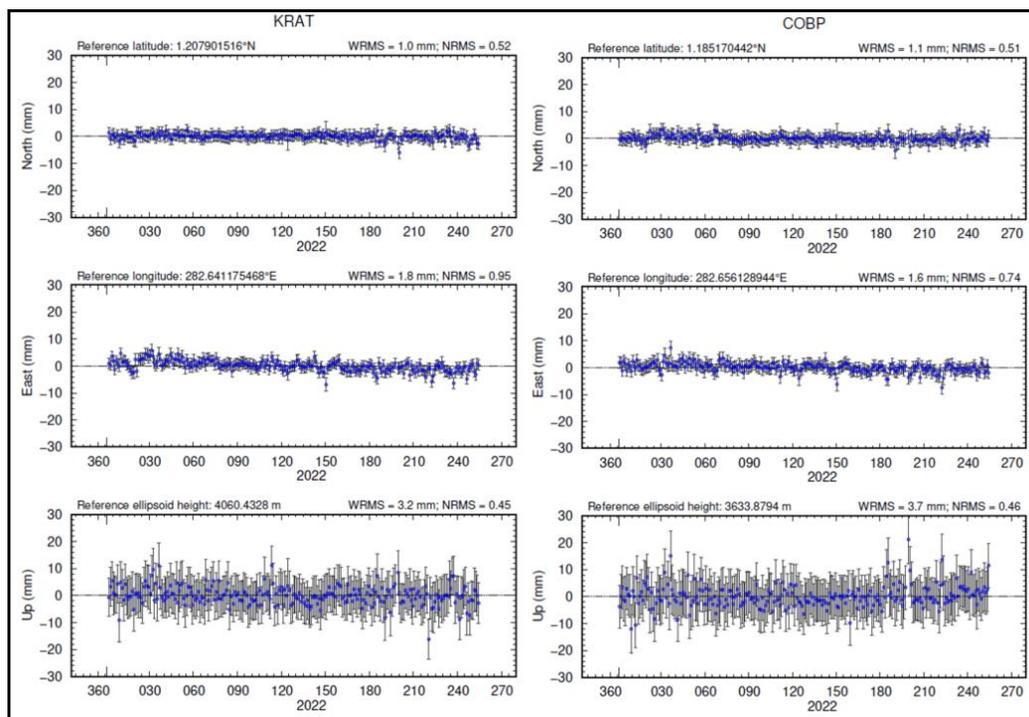
**Figura 11.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022

### 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, Cóndor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico. Desafortunadamente el 4 de septiembre de 2019 personas inescrupulosas sustrajeron del sitio de instalación los equipos de la estación GNSS Chiguaco, ubicada al norte del volcán.

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.

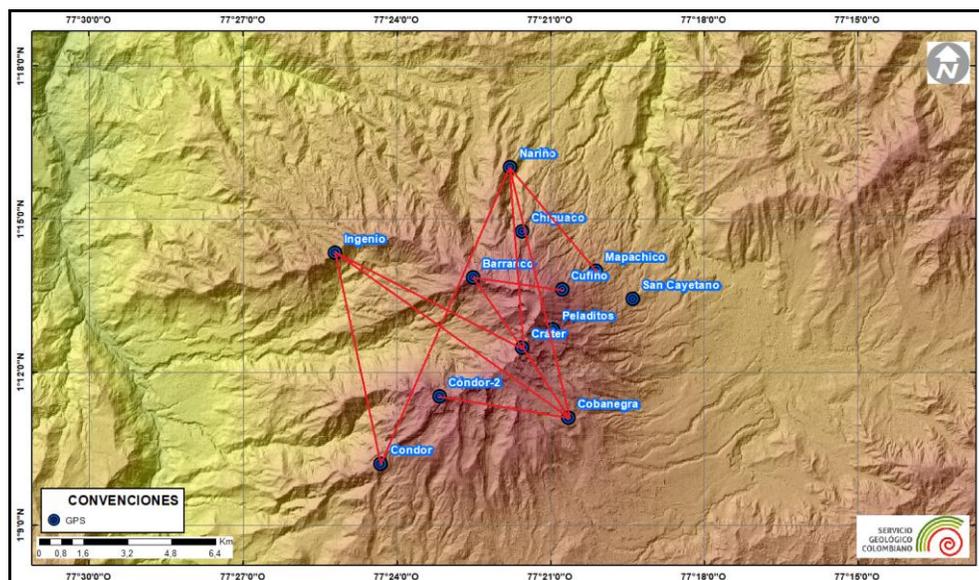
Las estaciones que forman parte de la red de GNSS en el volcán Galeras continúan mostrando tendencias estables en las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 12, a manera de ejemplo, se presenta el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra.



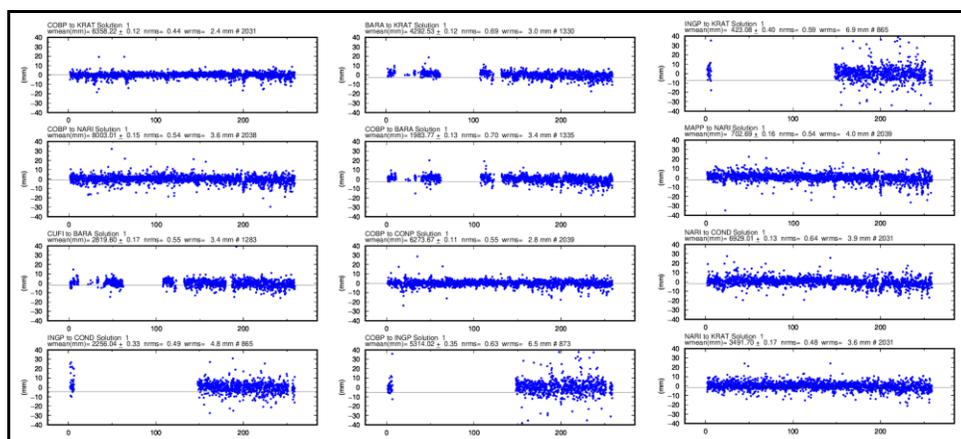
**Figura 12.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

### Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 13, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 14, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



**Figura 13.** 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



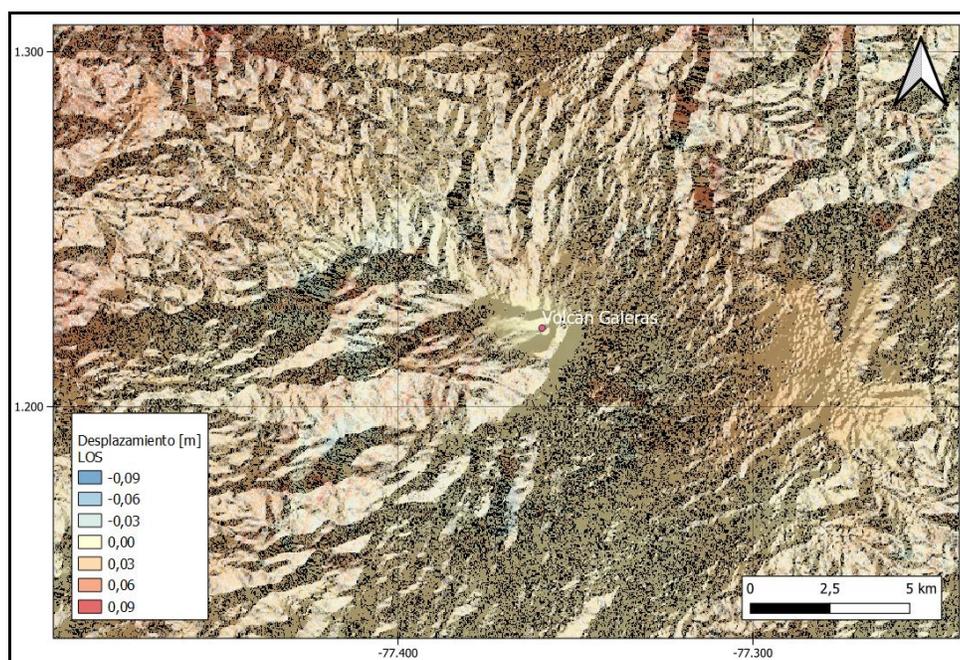
**Figura 14.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

### 1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

### 1.3.4 D\_InSAR

En la Figura 15, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona del volcán Galeras obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de este procesamiento, no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 15.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras

## 1.4 Electromagnetismo

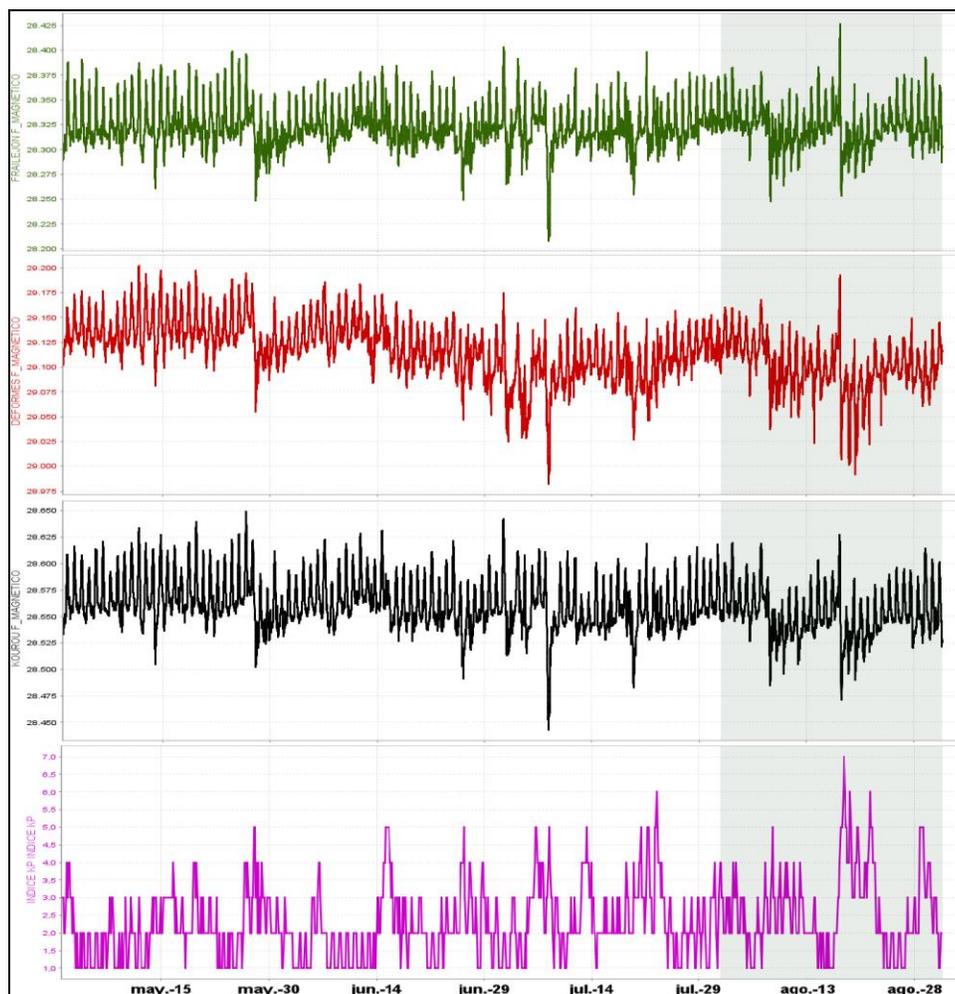
En agosto de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras se realizó a partir de la información registrada en las estaciones magnéticas: Frailejón (FRA), Deformes (DEF) y Barranco (BAR). Las estaciones cuentan con sensores magnéticos triaxiales tipo Fluxgate, que permiten calcular el campo magnético total de la Tierra (CMT-F), en el sitio donde está instalada la estación.

Como parte del estudio electromagnético, es necesario descartar señales generadas por efectos externos como tormentas geomagnéticas y tormentas solares para lo cual se debe contar con una estación de referencia. En los volcanes de Nariño se ha seleccionado la estación magnética de referencia de Kourou (KOU) (Figura 16), que

pertenece a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. La estación de KOU está ubicada en Guayana Francesa y cuenta con datos abiertos y en tiempo real, que permite realizar comparación y análisis con los datos magnéticos registrados en las estaciones que el OVS-Pasto ha instalado para este propósito.

Adicionalmente, como parte del análisis de los registros electromagnéticos, se toman en cuenta las alertas del clima espacial, asociados con fenómenos de erupciones de masa del núcleo del sol, las cuales generan fenómenos magnéticos que se propagan hasta la tierra y dependiendo de su intensidad pueden ocasionar incluso problemas eléctricos, de comunicaciones o afectaciones en la salud. Estas alertas se miden con el índice Kp que está en una escala entre 1 y 9. Cada índice describe la intensidad de las perturbaciones ambientales y los efectos físicos en la Tierra para tres tipos de eventos: tormentas geomagnéticas, tormentas de radiación solar y apagones de radio. El OVSP toma las alertas generadas por el sistema de alertas del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC, por sus siglas en inglés - Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés - National Oceanic and Atmospheric Administration).

En el OVSP se consultan tanto, los pronósticos de los índices Kp, como las alertas asociadas con este tipo de tormentas que afectan el clima espacial y que son reportados por el SWPC. Esta información nos permite identificar si se han presentado tormentas espaciales e identificarlas en los registros de las estaciones de monitoreo magnético en Galeras, para descartar la posibilidad que se puedan interpretar este tipo de fenómenos como generados por efectos volcánicos. En general, las tormentas geomagnéticas que mayor interferencia generan en los registros de las estaciones de monitoreo de Galeras son aquellas que tienen un índice  $Kp \geq 4$  y, especialmente aquellos cuyo frente de onda impactan directamente con el hemisferio de la Tierra correspondiente a la zona de estudio del volcán Galeras. Entre mayo y agosto de 2022 este tipo de fenómenos se han presentado de manera recurrente; sin embargo, los que más efectos de interferencia han generado sobre los registros de las estaciones de monitoreo magnético de Galeras son aquellas con valores Kp de hasta 6; ocurridos el 18 y 20 de agosto, con índice  $Kp=7$  y 6 respectivamente. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos, tanto, en amplitud, como en frecuencia (Figura 16).



**Figura 16.** CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo – agosto de 2022

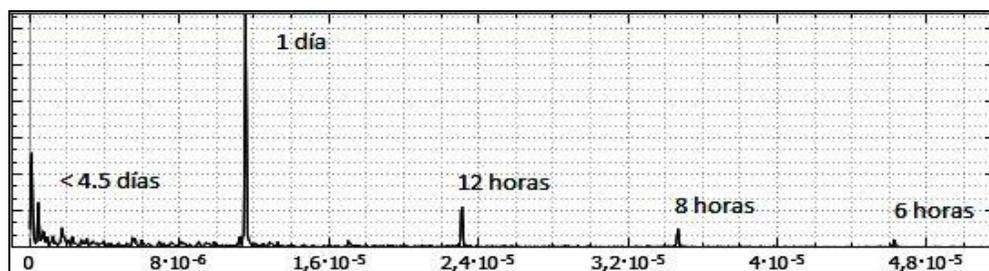
Entre mayo y agosto de 2022, el campo magnético terrestre total (CMT-F), registrado en la estación FRA mostró una tendencia relativamente estable, con un CMT-F promedio de 28.315 nT, y variación diaria de alrededor de 70 nT. DEF, mostró una tendencia estable con un CMT-F promedio de 29100 nT. La estación de referencia KOU tuvo un CMT-F promedio de alrededor de 28.550 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 16). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 5 (Figura 16) se identifican variaciones en las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia (Figura 16), y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior. Se resalta la tormenta registrada el 18 de agosto de 2022 que cambió la tendencia

estable de los registros de las tres estaciones mostrando un descenso de alrededor de 30 nT, por debajo del promedio normal (Figura 16).

En agosto de 2022, el comportamiento de las series de las estaciones FRA, DEF y KOU mostraron las mayores variaciones el 16 de agosto debido al registro de tormentas geomagnéticas de índice Kp 7 (Figura 16), generando perturbaciones en los registros magnéticos de alrededor de 30 horas y un pulso de amplitud promedio en las estaciones de 175 nT, incluyendo la estación de referencia KOU. La afectación sobre los registros magnéticos es principalmente en el incremento de las frecuencias y la generación de un pulso de amplitud máxima de 50 nT (Figura 17).

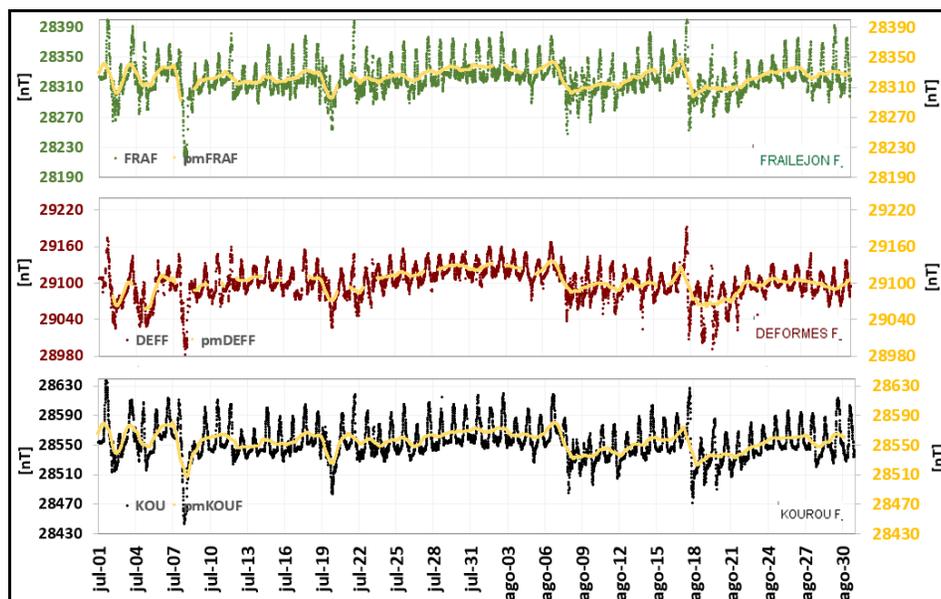
En agosto de 2022, el valor del CMT-F en FRA fue de alrededor de 28.325 nT, con variaciones de amplitud día-noche de alrededor de 60 nT; en DEF el valor del CMT-F fue de alrededor de 29.100 nT, con variaciones de amplitud día-noche de alrededor de 50 nT; en tanto que en la estación de referencia KOU el valor del CMT-F fue de alrededor de 28.575 nT, con variaciones de amplitud día-noche de alrededor de 55 nT (Figura 17).

El análisis espectral del CMT-F en los registros magnéticos de las estaciones FRA, DEF y KOU muestran variaciones periódicas asociadas a las variaciones seculares (día-noche), propias de los campos geomagnéticos, con frecuencias dominantes de 1 día, 12 horas, ocho horas, e incluso, en algunos de los espectros es posible identificar un pulso más tenue en el rango de las 6 horas (Figura 18).



**Figura 17.** Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras

En general y tomando el valor promedio móvil de las series de tiempo para disminuir los efectos de las variaciones seculares diarias, las variaciones periódicas tuvieron amplitudes máximas de hasta 70 nT en la estación FRA, de 60 nT en DEF y de 65 nT en KOU; en las fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas (Figura 18) lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del volcán Galeras.



**Figura 18.** Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde) y DEF (roja) para el periodo de julio y agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

## 1.5 Geoquímica

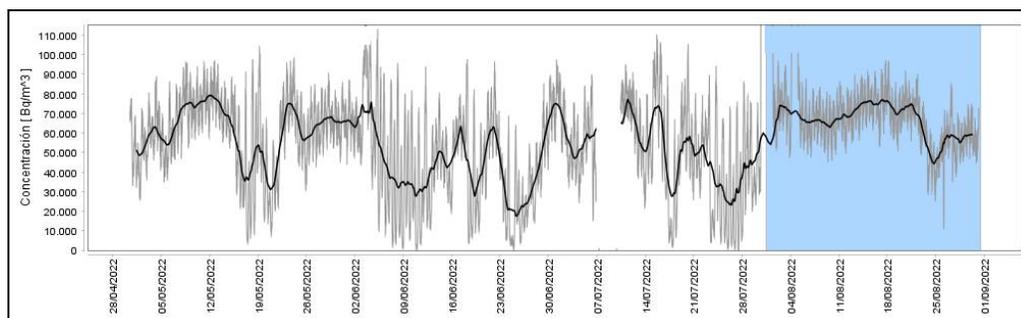
### 1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

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

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas, razón por la cual, en zona de influencia del volcán Galeras, se tiene instalado tres estaciones para seguimiento de este gas (Figura 2 de red de vigilancia).

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

En la Figura 19 y Tabla 9 se presenta la información correspondiente a la estación Lavas, en el periodo evaluado se observa mayor estabilidad en comparación con meses anteriores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

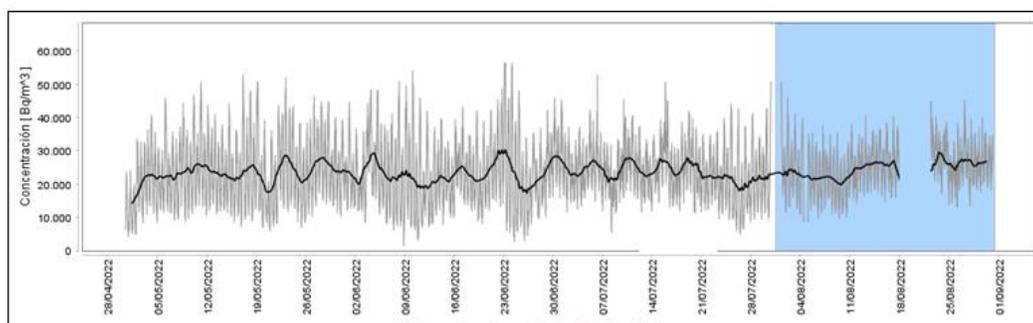


**Figura 19.** Concentración radón difuso en suelo- estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 9.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup> - estación Lavas - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022

Valor	Julio	Agosto
Mínimo	25569	24840
Promedio	43891	66286
Máximo	60719	97270

En la Figura 20 y Tabla 10, se presenta la información correspondiente a la estación Lirios, la media móvil, representada en la línea de coloración negra, en general permite evidenciar estabilidad en los valores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

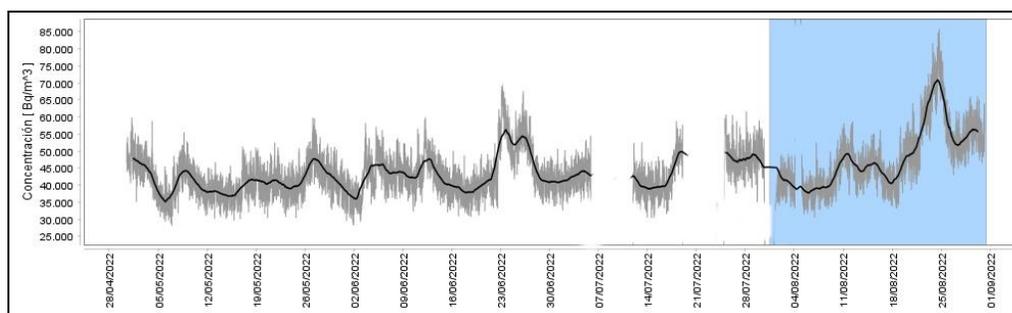


**Figura 20.** Concentración radón difuso en suelo - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 10.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup>- estación Lirios - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022

Valor	Julio	Agosto
Mínimo	5342	1207
Promedio	23648	24173
Máximo	48862	46250

La Figura 21 y Tabla 11, muestra la información correspondiente a la estación Parques, en el mes de agosto se observa un leve incremento los días 21 al 25, pero a finales del mes, va descendiendo, estas variaciones se encuentran dentro de la línea base de comportamiento.



**Figura 21.** Concentración radón difuso en suelo- estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

**Tabla 11.** Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m<sup>3</sup>- estación Parques - Volcán Galeras Julio - Agosto de 2022

Valor	Julio	Agosto
Mínimo	25569	30509
Promedio	43891	48409
Máximo	60719	85799

### 1.5.1.2 Estación Térmica Deformes

No se realizó en este periodo ninguna actividad.

### 1.5.1.3 Muestreo de aguas en fuentes Termiales

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

### 1.5.2 Pluviómetros

Para el mes de agosto 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 2, 3, 12, 13, 15, 16, 17, 22, 24, 26 y 27 del mes de agosto de 2022, se observó emisión de gases principalmente en los registros de las cámaras web de Barranco y Bruma.

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 22 a 27 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



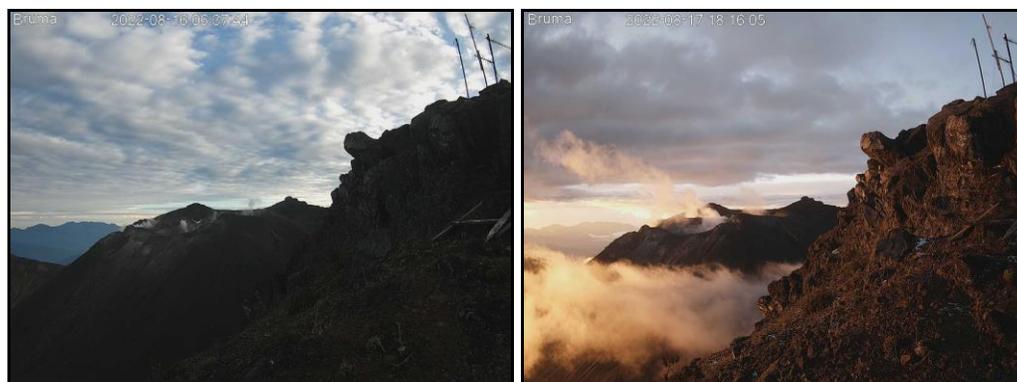
**Figura 22.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 2 de agosto de 2022 a las 6:09 a.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 3 de agosto de 2022 a las 6:18 p.m., (derecha)



**Figura 23.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 12 de agosto de 2022 a las 5:00 p.m., (izquierda) y desde Bruma para el mismo día a las 6:05 p.m., (derecha)



**Figura 24.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 13 de agosto de 2022 a las 6:15 a.m., (izquierda) y para el día 15 de agosto de 2022 a las 6:29 p.m., (derecha)



**Figura 25.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 16 de agosto de 2022 a las 6:37 a.m., (izquierda) y para el día 17 de agosto de 2022 a las 6:16 p.m., (derecha)



**Figura 26.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 22 de agosto de 2022 a las 3:07 p.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 24 de agosto de 2022 a las 5:55 a.m., (derecha)



**Figura 27.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 26 de agosto de 2022 a las 8:03 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 27 de agosto a las 6:05 p.m., (derecha)

## 1.7 Conclusiones

- El gas radón emitido y registrado en agosto de 2022 se encuentra dentro de las líneas base registradas para las tres estaciones instaladas en zona de influencia del volcán Galeras.
- En agosto de 2022 en el volcán Galeras se registró un descenso, tanto en ocurrencia, como en la energía sísmica liberada en comparación con el mes anterior, cuyo mayor aporte provino de la sismicidad tipo VT asociada con fractura de roca al interior del volcán.

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

## 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – AGOSTO DE 2022

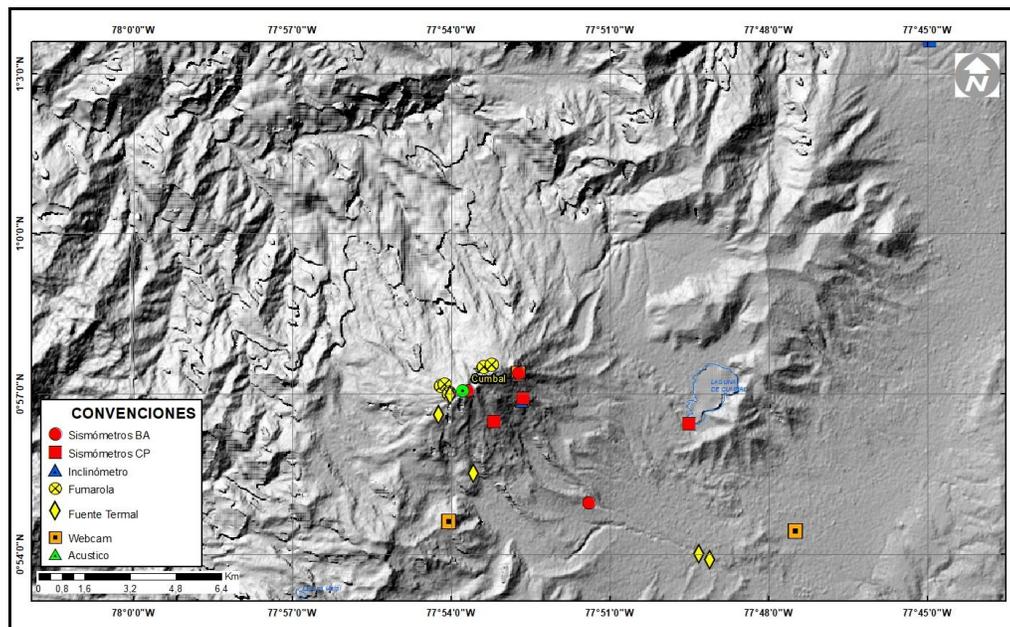
### 2.1 Red de Vigilancia

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

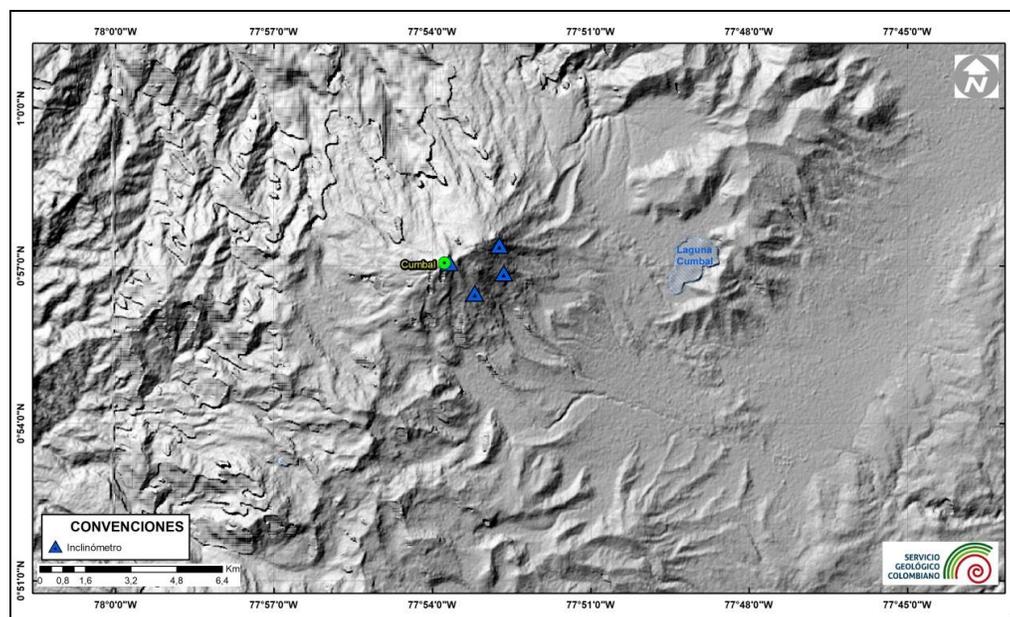
- Cinco estaciones sísmicas telemétricas: Tres de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 28, Tabla 12).
- Un sensor de presión acústica ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 28).
- Tres cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal, otra en el sitio de la estación Punta Vieja y otra, en el sector del Boliche (Figura 28).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 29, Tabla 12).
- Para el periodo evaluado las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 93% (Figura 30).

**Tabla 12.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en agosto de 2022

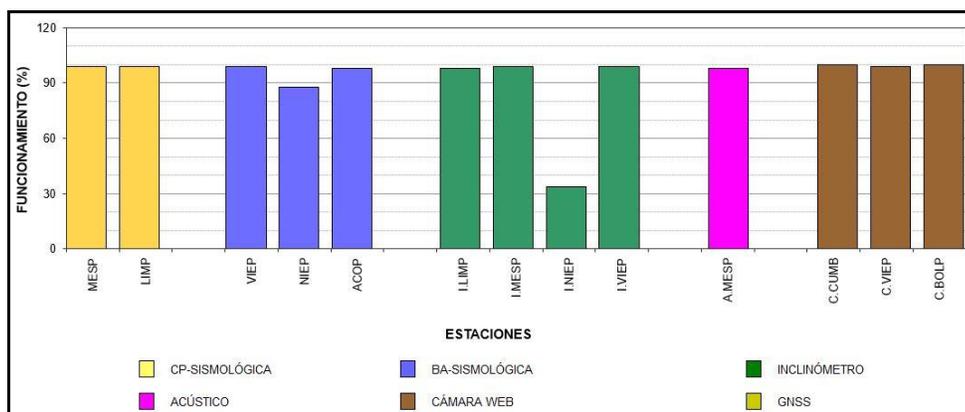
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter Mundo Nuevo (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Mundo Nuevo	Altitud (msnm)
La Nieve	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Sismómetro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



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



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



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

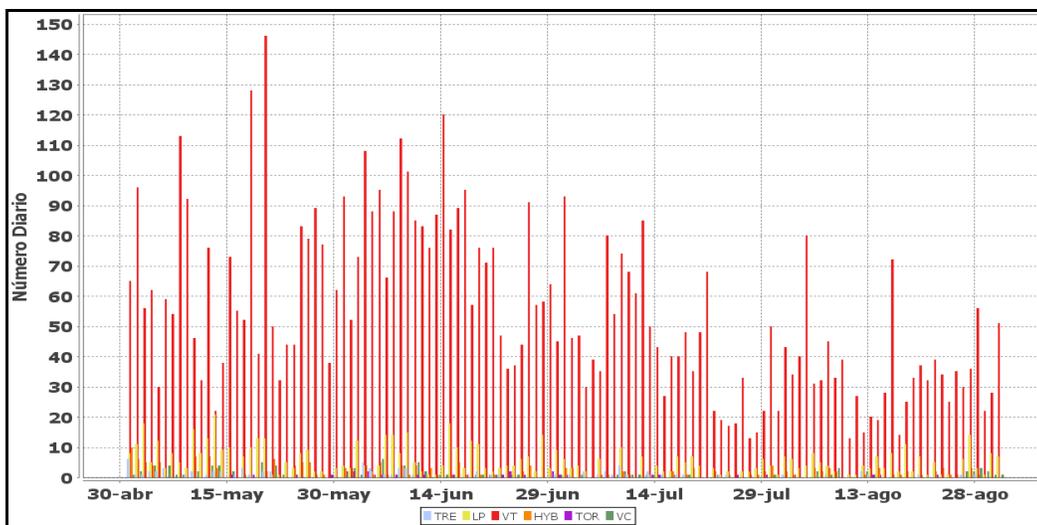
## 2.2 Sismología

La sismicidad en agosto de 2022 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) registró un descenso del 15.6% en su ocurrencia pasando de 1503 a 1268 eventos en comparación con el mes de julio. La sismicidad dominante estuvo asociada con fractura de roca al interior del volcán (sismos tipo VT) con 1068 eventos que representan el 84.2% del total, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) con 135 eventos (de los cuales 4 corresponden a eventos tipo Tornillo – TOR) que representan el 10.6%. Los sismos que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos (HYB) registraron 33 eventos que representan el 2.6% de la ocurrencia sísmica. Se tuvo registro de 8 episodios tipo tremor o evento de fluidos de fuente permanente (TRE) que representan el 0.6% del total y se registraron 20 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que representan el 1.6% del total (Tabla 13, Figura 31).

**Tabla 13.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre mayo y agosto de 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						
	VT	LPS	HYB	TRE	TOR	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	2027	231	75	32	6	37	2408
2022-06-01-2022-06-30	2259	200	42	22	19	34	2576
2022-07-01-2022-07-31	1342	95	28	19	7	12	1503
2022-08-01-2022-08-31	1068	135	33	8	4	20	1268

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT disminuyeron un 20.4% pasando de 1342 a 1068 eventos, los LP aumentaron un 42.1% pasando de 95 a 135 eventos, los episodios tipo HYB aumentaron un 17.9%, pasando de 28 a 33 eventos, los sismos tipo TRE disminuyeron un 57.9% pasando de 19 a 8 y los eventos VC aumentaron un 66.7%, pasando de 12 a 20 (Tabla 13, Figura 31).

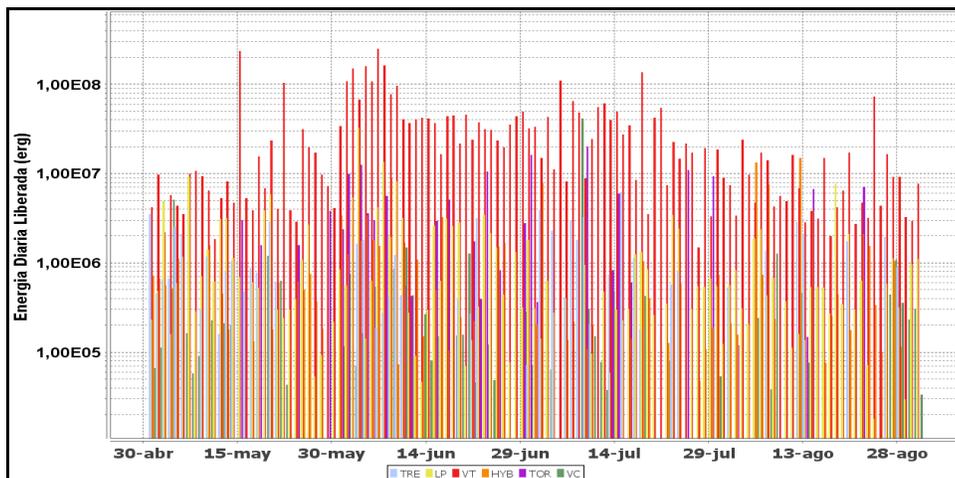


**Figura 31.** Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre mayo y agosto de 2022

La energía sísmica disminuyó en un 64.6%, pasando de  $1.15 \times 10^9$  ergios a  $4.09 \times 10^8$  ergios. El mayor predominio energético provino de los eventos de tipo VT con el 75.1% de la energía sísmica del mes (Tabla 14, Figura 32).

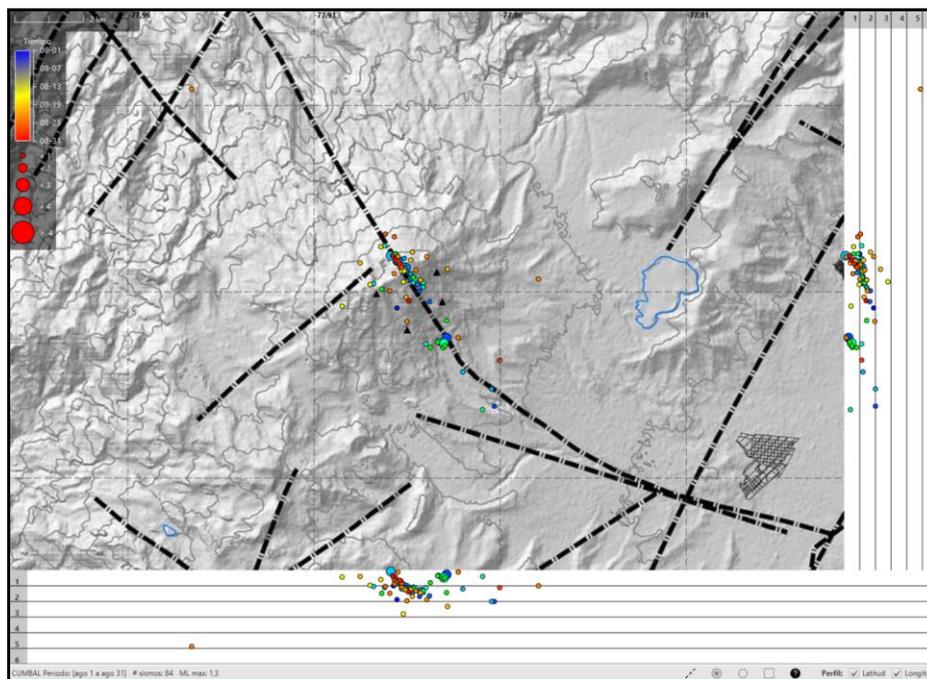
**Tabla 14.** Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre mayo y agosto de 2022

Periodo Evaluado	Energía Liberada en ergios por tipo de evento						
	VT	LPS	HYB	TRE	TOR	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	6.13E+08	4.47E+07	1.24E+07	1.89E+07	1.22E+07	8.29E+06	7.09E+08
2022-06-01-2022-06-30	1.90E+09	9.41E+07	2.89E+07	9.83E+06	7.56E+07	7.06E+06	2.12E+09
2022-07-01-2022-07-31	1.01E+09	1.67E+07	1.20E+07	2.43E+07	4.78E+07	4.23E+07	1.15E+09
2022-08-01-2022-08-31	3.07E+08	2.51E+07	4.68E+07	1.14E+07	1.40E+07	4.51E+06	4.09E+08



**Figura 32.** Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre mayo y agosto de 2022. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

En este periodo fue posible localizar 84 sismos, ubicados en su mayoría a menos de 5 km, preferencialmente al suroriente del cráter La Plazuela (noreste del Complejo Volcánico Cumbal - CVC) con el posible trazo de la falla Río Claro, a niveles superficiales menores a 2 km respecto a la altura del cráter La Plazuela (4700 m.s.n.m.). Las magnitudes de este tipo de eventos fueron menores a 1.3. No se recibieron reportes de sismo sentido (Figura 33).



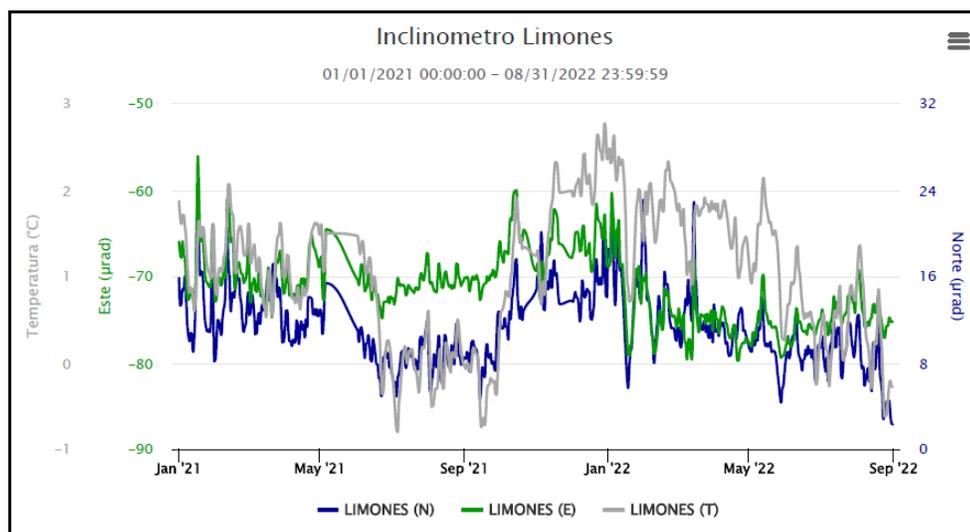
**Figura 33.** Localizaciones de VT registrados en agosto de 2022 en el CVC

## 2.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por cuatro inclinómetros electrónicos. Hacia finales del mes de agosto fue posible realizar mantenimiento en las estaciones de Cumbal, recuperando el registro de la estación La Nieve.

### 2.3.1 Inclinometría Electrónica

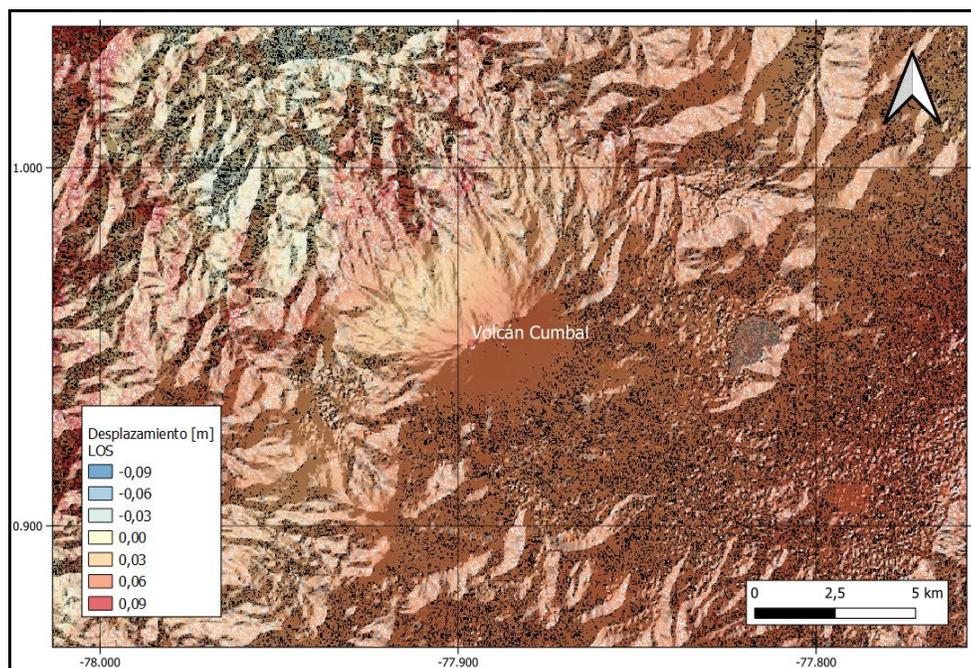
Las componentes de inclinación de las estaciones Limones, Punta Vieja y La Mesa, muestran tendencias estables. A manera de ejemplo en la Figura 34 se indica el comportamiento de las componentes de la estación Limones.



**Figura 34.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022

### 2.3.2 D\_InSAR

En la Figura 35, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Cumbal obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de este procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 35.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 29 de julio de 2022 y el 10 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal

## 2.4 Electromagnetismo

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

## 2.5 Geoquímica

### 2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

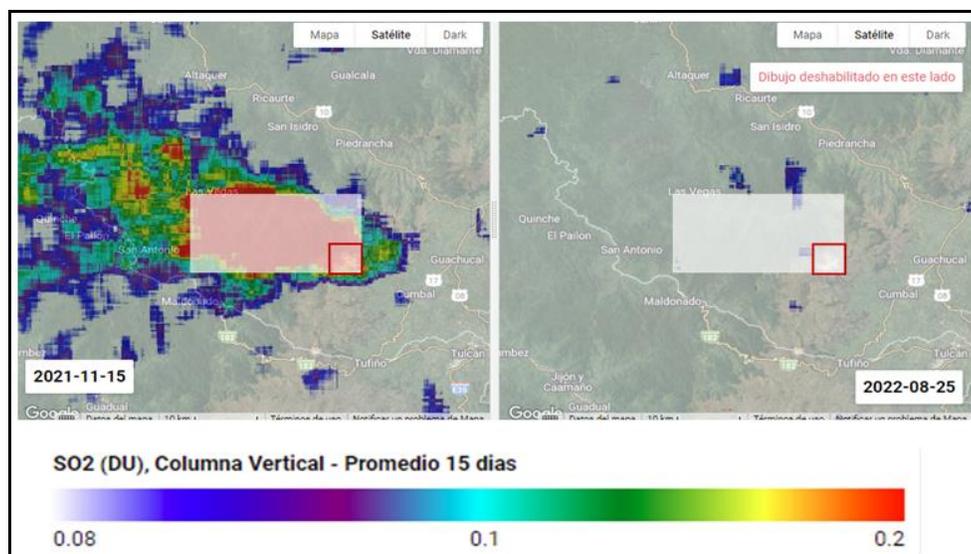
Para el mes de agosto no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

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

El satélite Sentinel-5 Precursor (S-5P), lanzado en el año 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la calidad del aire, cuenta con el instrumento TROPOMI (Instrumento de Monitoreo TROPOsférico), el cual es un sensor multispectral que registra concentraciones de ozono, metano, formaldehído, aerosol, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Google Earth Engine, 2018). Dado que permite realizar estimaciones de SO<sub>2</sub>, actualmente se está realizando seguimiento a los registros obtenidos mediante este satélite en la zona del CVC a través de la aplicación

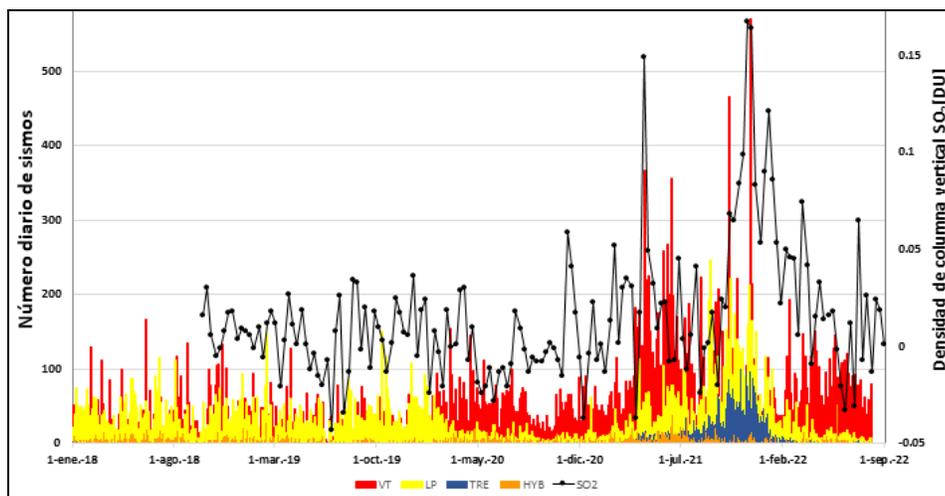
“Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desarrollada por el ingeniero Carlos Laverde del SGC (Laverde, 2020).

En la Figura 36 se muestra el comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub>, en la imagen de la izquierda se presenta las estimaciones para el periodo del 7 al 21 de noviembre con fecha central en 15 de noviembre de 2021, se muestra este periodo porque fue uno de los periodos en donde las emisiones de SO<sub>2</sub> se alcanzaron a detectar mediante esta metodología, en la imagen de la derecha se observa el registro obtenido en los últimos 15 días del mes de agosto, mostrando que no se detectaron emisiones de SO<sub>2</sub>, en el rango de 0.08 a 0.2 unidades Dobson (DU).



**Figura 36.** Estimación cualitativa de SO<sub>2</sub> obtenido con la aplicación TROPOMI para los últimos 15 días de agosto, el cuadrado de color rojo indica la ubicación del CVC. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores

De la región sombreada es posible extraer los valores de estimación en unidades Dobson, los cuales en la Figura 37 se graficaron con la actividad sísmica y han correlacionado directamente, es decir, los máximos detectados satelitalmente de SO<sub>2</sub> corresponden a los máximos números de eventos sísmicos, principalmente con los eventos que representan el movimiento de fluidos como son los LP y los TRE, de tal manera, en el mes de agosto se observa que estos eventos han disminuido y satelitalmente no se ha detectado SO<sub>2</sub>.

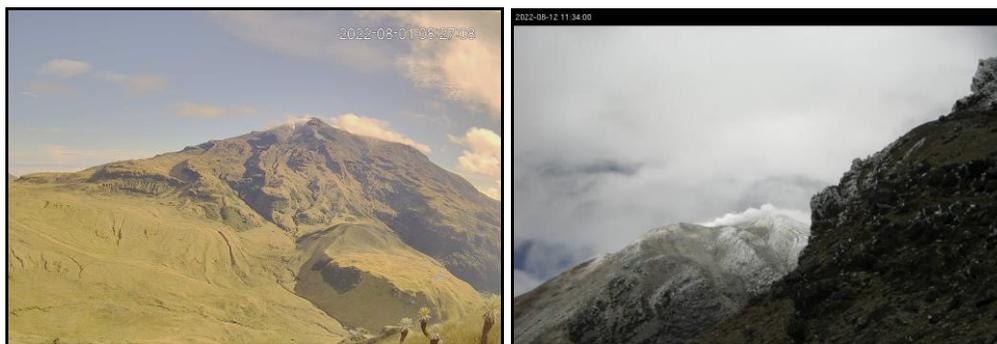


**Figura 37.** Estimación de SO<sub>2</sub> obtenida con la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desde agosto de 2018 hasta agosto de 2022 y el número de eventos sísmicos desde enero de 2018 a agosto de 2022

## 2.6 Actividad Superficial

Para los días 1, 12, 13, 16, 17, 18, 22, 24, 26 y 27 del mes de agosto de 2022 con el registro de las cámaras web de Cumbal, Punta Vieja y del Boliche se observó emisiones de gases principalmente desde el campo fumarólico El Verde con pequeñas columnas de gas de color blanco, con dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 38 a 42 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



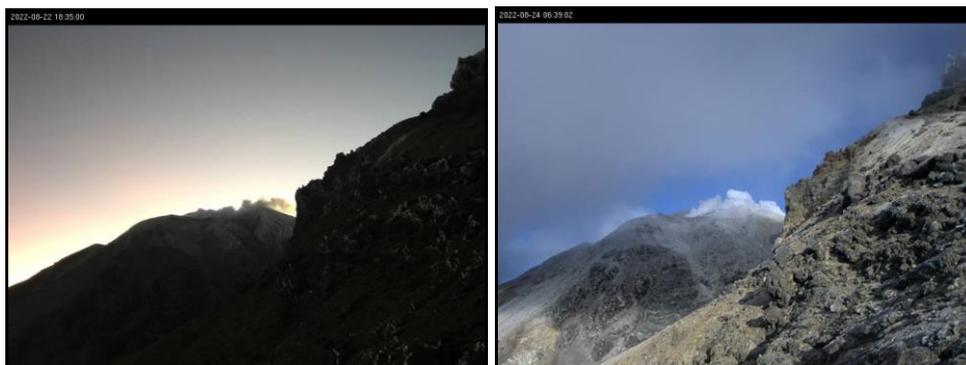
**Figura 38.** Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal para el 1 de agosto de 2022 captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche a las 8:27 a.m., (izquierda) y desde Punta Vieja para el 12 de agosto de 2022 a las 11:34 p.m., (derecha)



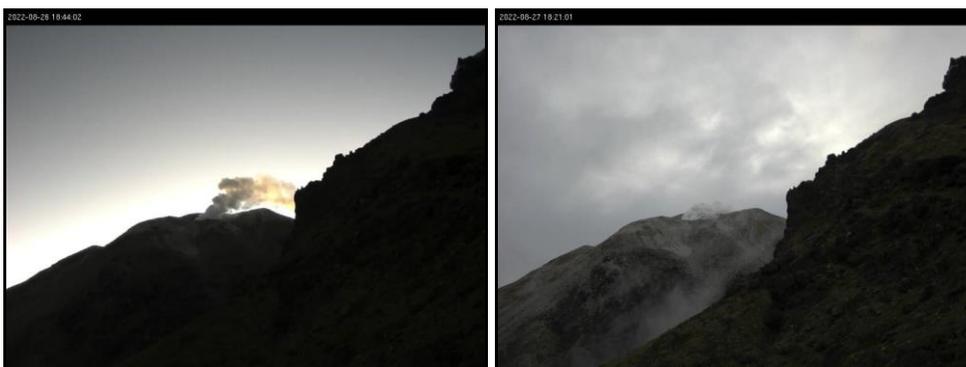
**Figura 39.** Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 13 de agosto de 2022 a las 5:57 a.m., (izquierda) y para el día 16 de agosto de 2022 a las 7:35 a.m., (derecha)



**Figura 40.** Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 17 de agosto de 2022 a las 7:10 a.m., (izquierda) y para el día 18 de agosto de 2022 a las 7:30 a.m., (derecha)



**Figura 41.** Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 22 de agosto de 2022 a las 6:35 p.m., (izquierda) y para el día 24 de agosto de 2022 a las 6:39 a.m., (derecha)



**Figura 42.** Imágenes de las emisiones de gases ocurridas en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 26 de agosto de 2022 a las 6:44 p.m., (izquierda) y para el día 27 de agosto de 2022 a las 6:21 a.m., (derecha)

## 2.7 Conclusiones

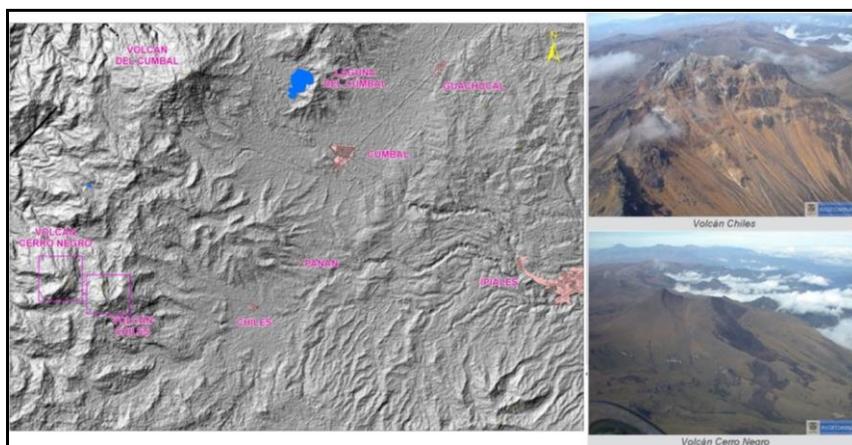
- Mediante la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días”, para el periodo evaluado no se detectaron emisiones de  $SO_2$ .
- En agosto de 2022, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) la sismicidad registró descenso, tanto en ocurrencia, como en la energía liberada; los eventos localizados se ubicaron principalmente en una alineación al suroriente del cráter La Plazuela (noreste del Complejo Volcánico Cumbal - CVC), la mayoría de ellos a niveles superficiales menores a 2 km respecto a la cima, con ML máxima de 1.3 en la escala de Richter.

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

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

#### 3.1 Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroeste del país, en el departamento de Nariño, en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15.5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal y el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 m.s.n.m., se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 43).



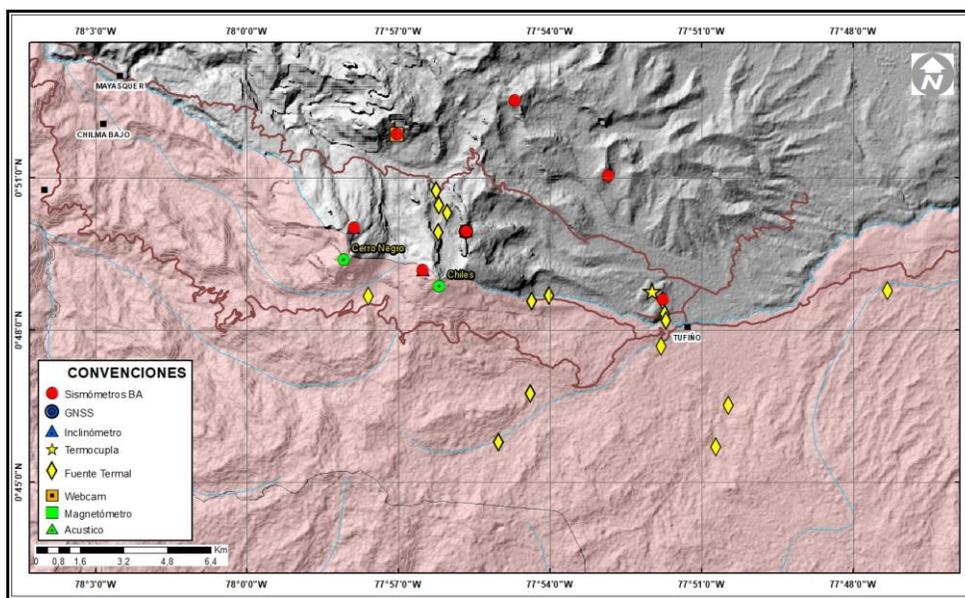
**Figura 43.** Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

#### 3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 44, Tabla 15):

- 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 44, Tabla 16).



**Figura 44.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de agosto de 2022

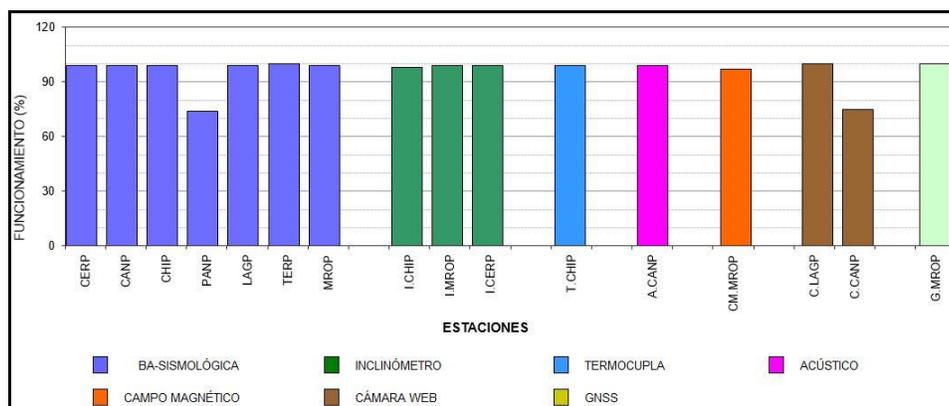
**Tabla 15.** Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro

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

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

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 96% (Figura 45).



**Figura 45.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en agosto de 2022

### 3.3 Sismología

La ocurrencia sísmica en región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en agosto de 2022 registró un descenso del 45.4% con respecto a julio, pasando de 65905 a 36004 eventos. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 35122 sismos, que representan el 97.6% del total; se registraron 664 eventos de tipo LP, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos, con el 1.8% del total y 4 eventos tipo TRE que corresponden al 0.01% del total de eventos registrados. Se tuvo registro de 150 sismos tipo HYB (Tabla 17, Figura 46). Los días pico de ocurrencia sísmica se registraron el 17 y 18 de agosto con 4881 y 3364 eventos VT y 14 y 7 eventos LP respectivamente. La sismicidad VT disminuyó su ocurrencia en un 45.7%, pasando de 64707 a 35122 eventos, los LP disminuyeron en un 31.3%, pasando de 966 a 664 sismos (Figura 46).

**Tabla 17.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

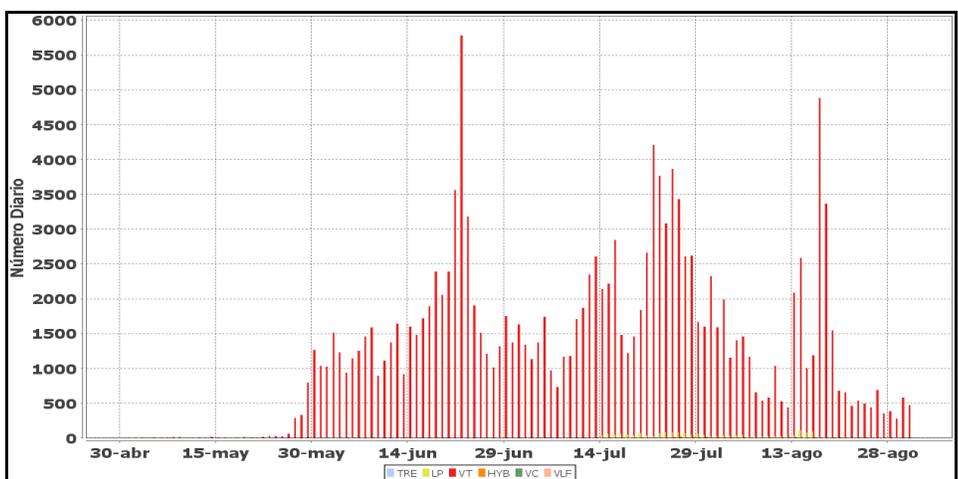
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	VLF	
2022-05-01-2022-05-31	3971	77	1	1	1	0	4051
2022-06-01-2022-06-30	52082	21	3	3	26	0	52135
2022-07-01-2022-07-31	64707	966	6	128	80	18	65905
2022-08-01-2022-08-31	35122	664	4	150	64	0	36004

La energía sísmica liberada en agosto de 2022 disminuyó en un 16.3% respecto a julio, pasando de  $2.02 \times 10^{19}$  ergios a  $1.69 \times 10^{19}$  ergios, siendo predominante la energía liberada por los eventos tipo VT con casi el 100% de la energía sísmica liberada en el

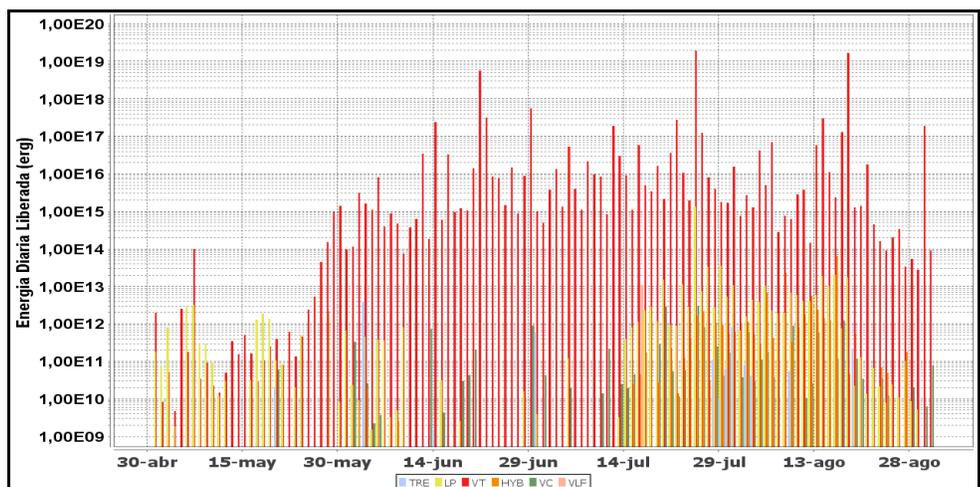
mes. Los sismos de tipo LP disminuyeron su energía en 91.7% pasando de  $1.45 \times 10^{15}$  ergios a  $1.20 \times 10^{14}$  ergios (Tabla 18, Figura 47).

**Tabla 18.** Energía de eventos VT, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Energía liberada en ergios por tipo de evento						
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	VLF	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	2.8E+15	1.4E+13	2.0E+10	2.2E+12	5.8E+10	0.0E+00	2.8E+15
2022-06-01-2022-06-30	6.7E+18	2.1E+12	4.4E+12	2.2E+10	2.2E+12	0.0E+00	6.7E+18
2022-07-01-2022-07-31	2.0E+19	1.5E+15	9.9E+11	8.0E+12	7.9E+12	1.0E+13	2.0E+19
2022-08-01-2022-08-31	1.7E+19	1.2E+14	3.9E+11	1.1E+14	4.1E+12	0.0E+00	1.7E+19



**Figura 46.** Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

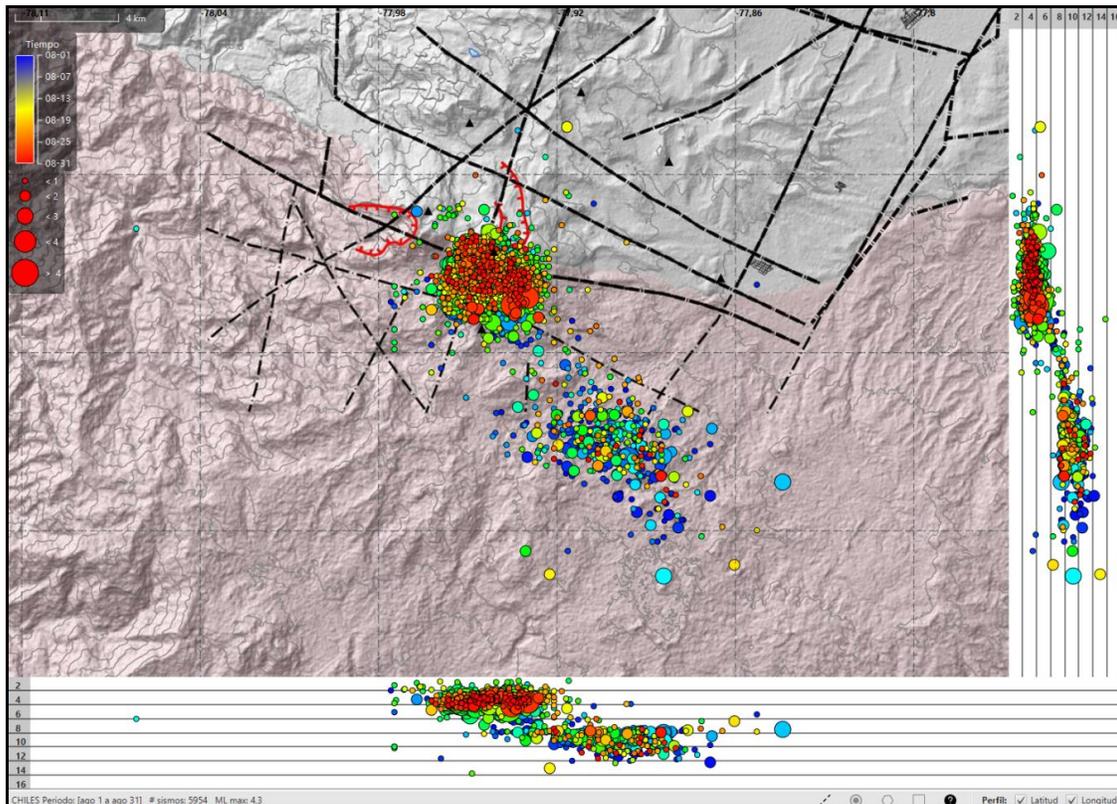


**Figura 47.** Energía diaria de sismos registrados entre mayo y agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Respecto a la sismicidad tipo VT se localizaron 5954, notándose dos fuentes sísmicas, la primera ubicada en el sector suroccidente de Chiles a menos de 4 km de distancia y con profundidades entre 1 y 6 km respecto a la cima volcánica (4700 m.s.n.m.) y la segunda fuente ubicada al sur-occidente de la zona de influencia del volcán Chiles, a distancias entre los 4 y 14 km y profundidades entre 8 y 12 km con respecto a la cima de Chiles (4700 m.s.n.m.) y con magnitud local máxima de 4.3 (Figura 48). Como se ha manifestado en los diferentes boletines emitidos por el SGC, se reitera que este proceso no ha terminado, tiene fluctuaciones y puede seguir registrando sismos con niveles energéticos importantes. Se resalta el registro de 16 sismos con magnitudes entre 2.2 y 4.4 los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de los resguardos indígenas de Chiles, Panan y Mayasquer. Algunos de los sismos más energéticos se sintieron también por habitantes del municipio de Cumbal. La Tabla 19 resume los eventos reportados como sentidos en éste periodo.

**Tabla 19.** Sismos reportados como sentidos en el mes de agosto de 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

<b>Sismos reportados como sentidos en agosto de 2022</b>			
<b>Fecha</b>	<b>ML</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Distancia a Chiles [km]</b>
4/08/2022	3	3.70 km	0.4 SSE
4/08/2022	3.1	8.67 km	9.2 SSE
6/08/2022	2.9	1.96 km	2.9 S
6/08/2022	3.4	5.26 km	2.6 S
11/08/2022	2.2	3.50 km	0.8 SE
13/08/2022	2.7	4.12 km	1.6 W
13/08/2022	2.9	5.63 km	1.7 W
14/08/2022	2.2	4.03 km	2.6 W
14/08/2022	3.2	3.95 km	2.5 SW
14/08/2022	3	4.13 km	1.7 W
17/08/2022	3.1	4.10 km	1.8 SSW
17/08/2022	2.6	3.90 km	1.4 SW
17/08/2022	2.3	3.02 km	0.7 S
18/08/2022	4.4	4.50 km	1.7 S
21/08/2022	2.7	3.50 km	0.9 NW
30/08/2022	3.6	4.34 km	1.8 S



**Figura 48.** Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en agosto de 2022

### 3.4 Deformación

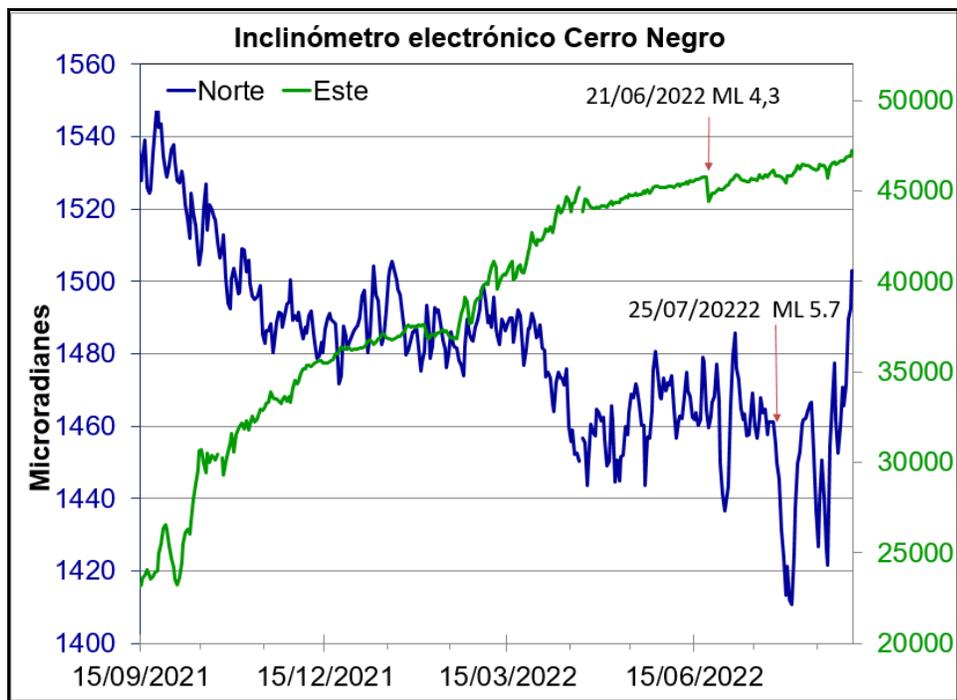
#### 3.4.1 Inclínometría Electrónica

Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, del lado colombiano por parte del SGC, se cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalada en el volcán Chiles; del lado ecuatoriano, del IGEPN, se tienen cuatro estaciones GNSS Permanentes.

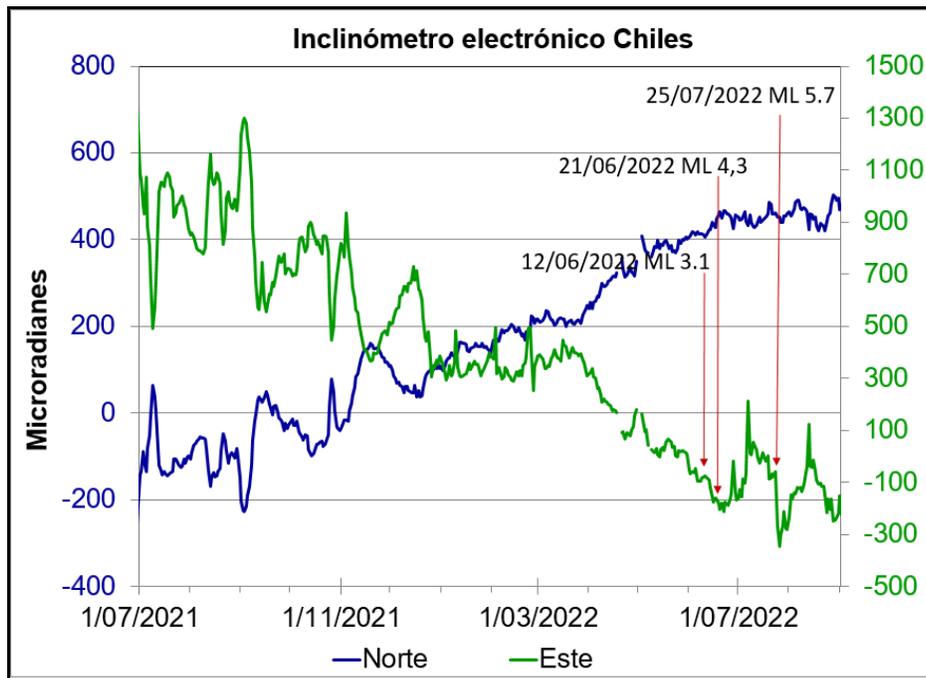
En la Figura 49, se muestra el comportamiento del inclinómetro Cerro Negro. Pese a que existe incertidumbre en la magnitud de las variaciones mostradas por la componente Este, se evidencia continuidad en la tendencia ascendente presentada desde finales de septiembre de 2021. Por su parte la componente Norte presentó un comportamiento descendente, pero desde abril de 2022 tiende a estabilizarse.

A pesar de las fluctuaciones en los registros del inclinómetro Chiles, es posible diferenciar algunas tendencias, en la componente Norte se observa un comportamiento ascendente, el cual es más marcado desde finales de agosto de 2021 y junio de 2022, posteriormente, continua la tendencia, pero con una pendiente más suave (Figura 50), en contraste, se presenta tendencia descendente en la Este, de igual forma más pronunciada entre agosto de 2021 y junio de 2022.

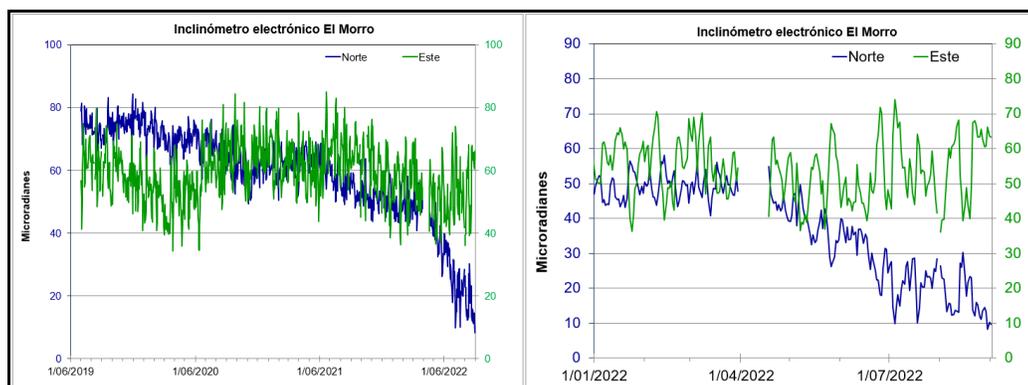
El inclinómetro El Morro, presenta desde su instalación en julio de 2019 una tendencia descendente la cual incrementa su pendiente hacia finales de abril de 2022, la variación entre julio de 2019 y abril de 2022 es de unos 20  $\mu\text{rad}$ ; a partir de abril y hasta la fecha muestra un cambio más notable que hasta julio de 2022 acumula unos 25  $\mu\text{rad}$ . Posterior al sismo del 25 de julio de 2022, esta componente tiene a estabilizarse (Figura 51).



**Figura 49.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 15 de septiembre de 2021 y el 31 de agosto de 2022, se resaltan los sismos tipo VT que han interrumpido la continuidad del registro



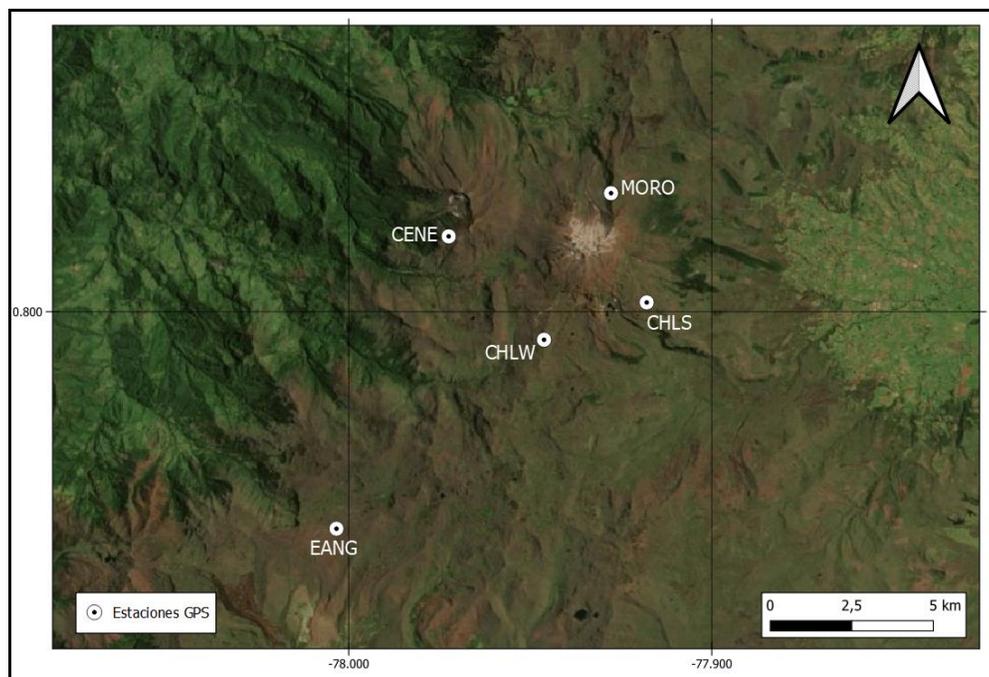
**Figura 50.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2021 y el 31 de agosto de 2022, se resaltan los sismos tipo VT que han interrumpido la continuidad del registro



**Figura 51.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles. Izquierda: para el periodo comprendido entre 1 de julio de 2019 y el 31 de agosto de 2022. Derecha: 1 de enero a 31 de agosto de 2022

### 3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

Sobre la superficie del volcán Chiles por parte del SGC – OVS Pasto se tiene instalada una estación GNSS Permanente, ubicada en vecindades de la estación multiparamétrica El Morro, hacia el costado nororiental de Chiles, y del IGEPN se tienen cuatro estaciones GNSS, en la Figura 52 se muestra su ubicación.

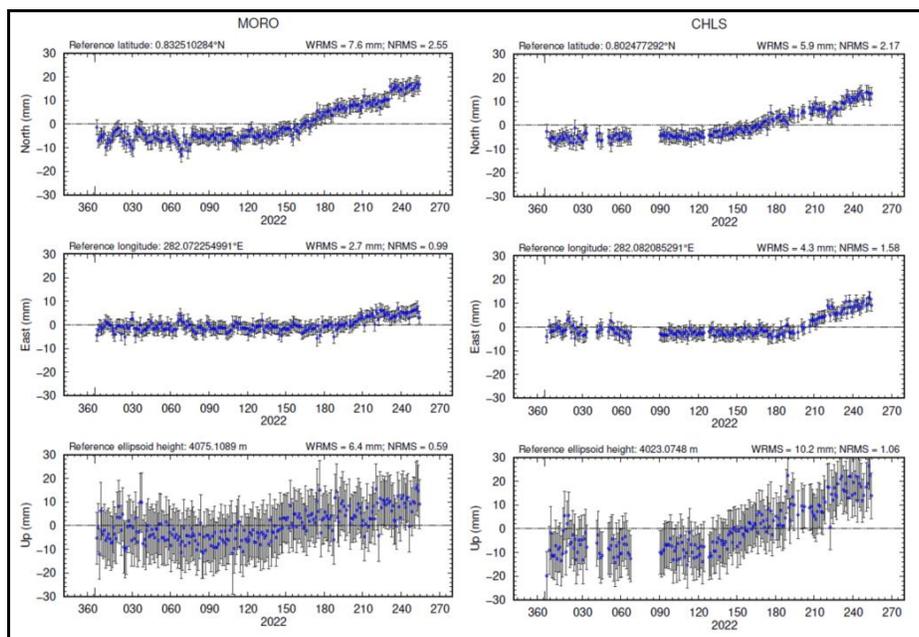


**Figura 52.** Ubicación de las estaciones GNSS permanentes dedicadas al monitoreo de los cambios en superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, SGC (MORO), IGEPN (CENE, CHLW, CHLS, EANG)

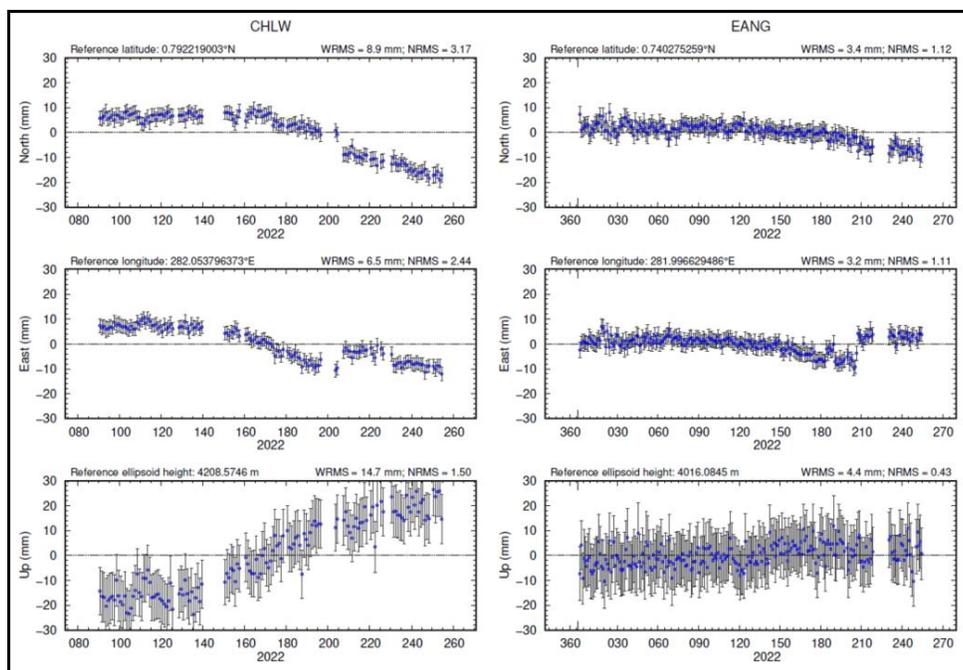
Para el análisis se contempló un procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites.

En las estaciones de MORO y CHLS se observan tendencias ascendentes en las direcciones Norte, Este y Vertical (Figura 53). De igual forma se observan comportamientos ascendentes en las componentes Verticales de las estaciones CHLW y EANG, mientras que en la Norte y Este, tendencias descendentes (Figura 54).

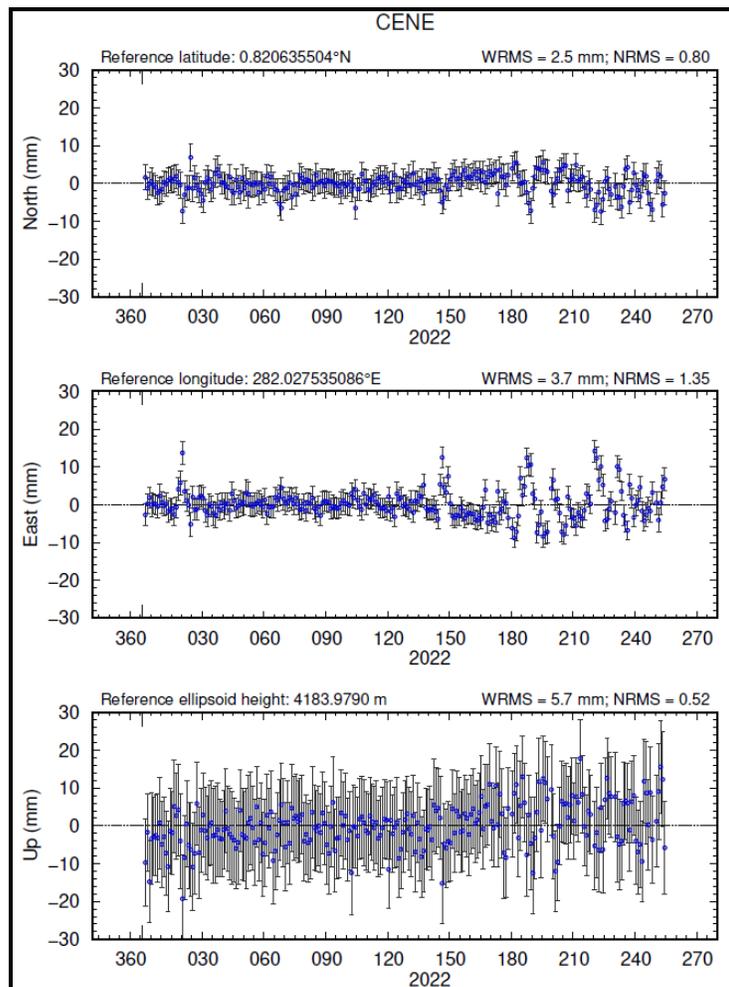
El registro de la estación CENE (Figura 55), no es muy estable, se tienen fluctuaciones en las series temporales sin lograr definir una clara tendencia.



**Figura 53.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS El Morro y CHLS instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022



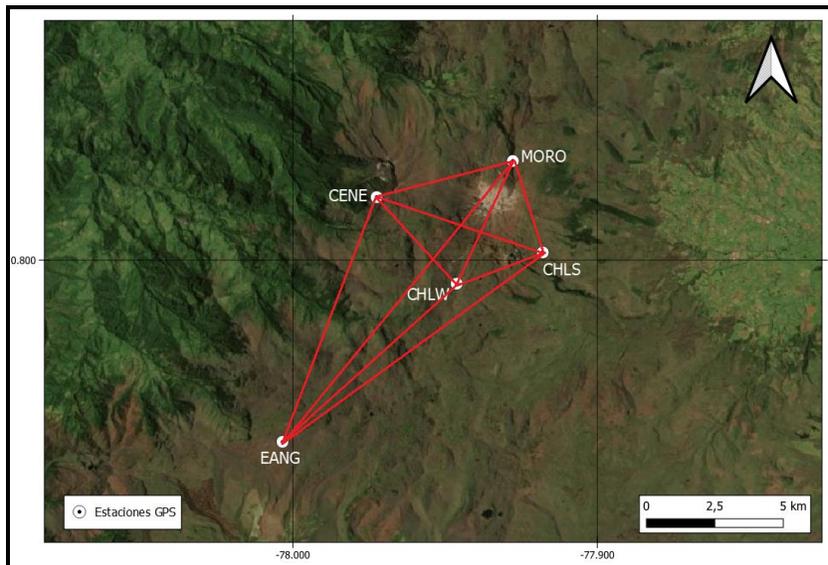
**Figura 54.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLW, instalada en Chiles y EANG ubicada hacia el sector suroccidente del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022



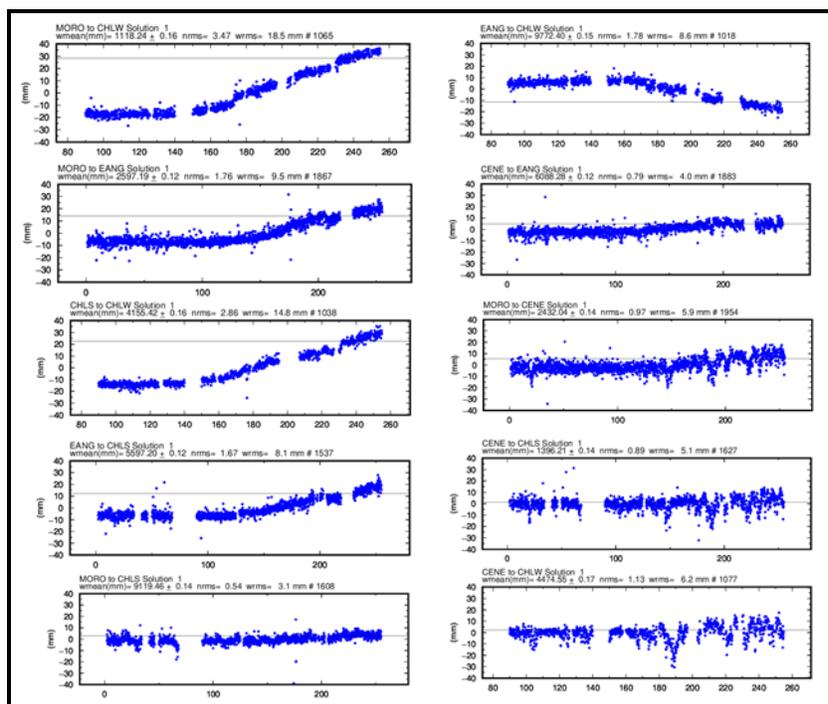
**Figura 55.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CENE instalada en Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 31 de agosto de 2022

### Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 56, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 57 se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



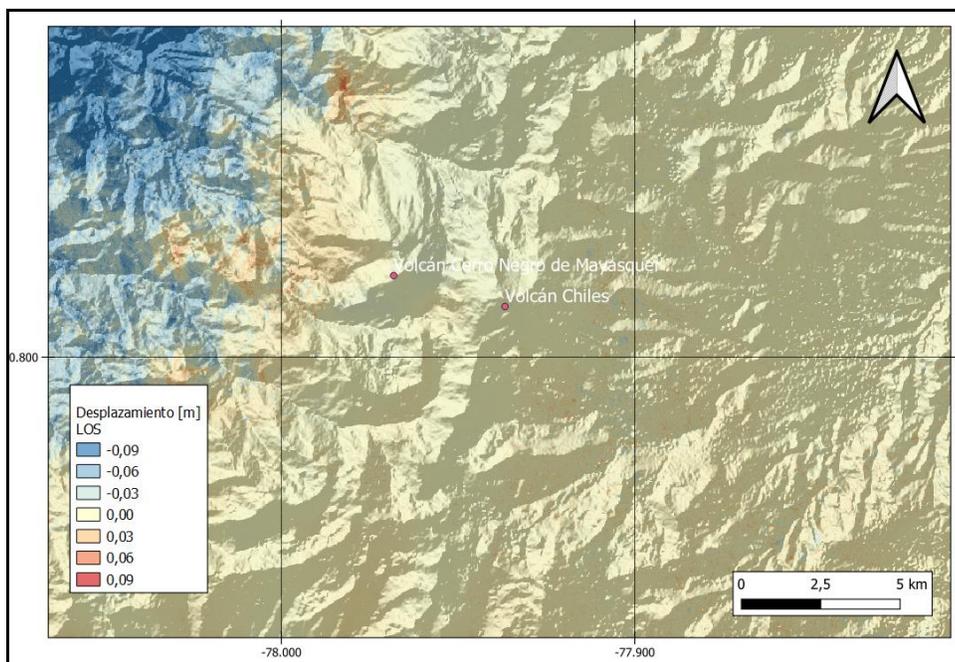
**Figura 56.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie del complejo Chiles – Cerro Negro, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base



**Figura 57.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS en la zona volcánica Chiles – Cerro Negro, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

### 3.4.3 D\_InSAR

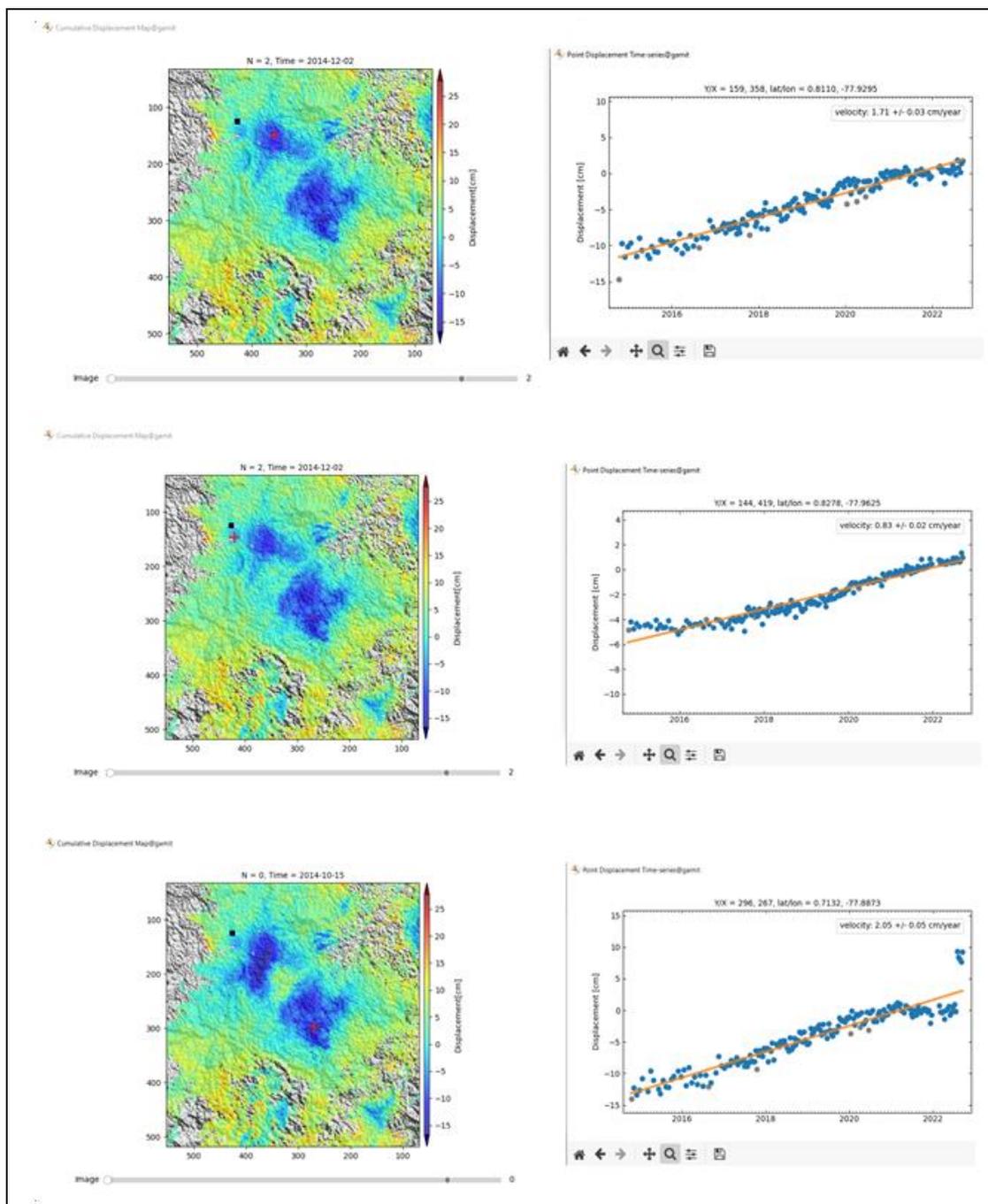
En la Figura 58, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Chiles y Cerro Negro obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente.



**Figura 58.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro

### 3.4.4 Series Temporales de Deformación con MintPy

En la Figura 59 se presentan las series temporales obtenidas con el procesamiento de imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, con el software ISCE y el apilamiento con MintPY para la zona del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, diferenciando tres zonas de deformación, una en Cerro Negro, otra en el volcán Chiles y finalmente en la zona de Potrerillos.



**Figura 59.** Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente (Agencia Espacial Europea (ESA)), con el software ISCE y el apilamiento con MintPY para el área del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo entre el 15 de octubre de 2014 y el 15 de septiembre de 2022, diferenciando tres zonas: el volcán Chiles (superior), volcán Cerro Negro (centro) y Potrerillos (inferior)

### 3.5 Electromagnetismo

En agosto de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del Complejo volcánico Chiles- Cerro Negro (CVCCN), se realizó a partir de la información registrada en la estación magnética Morro (MOR). La estación cuenta con un sensor magnético triaxial tipo Fluxgate, que permite calcular el campo magnético total de la Tierra (CMT-F), en el sitio donde la estación se ha instalado.

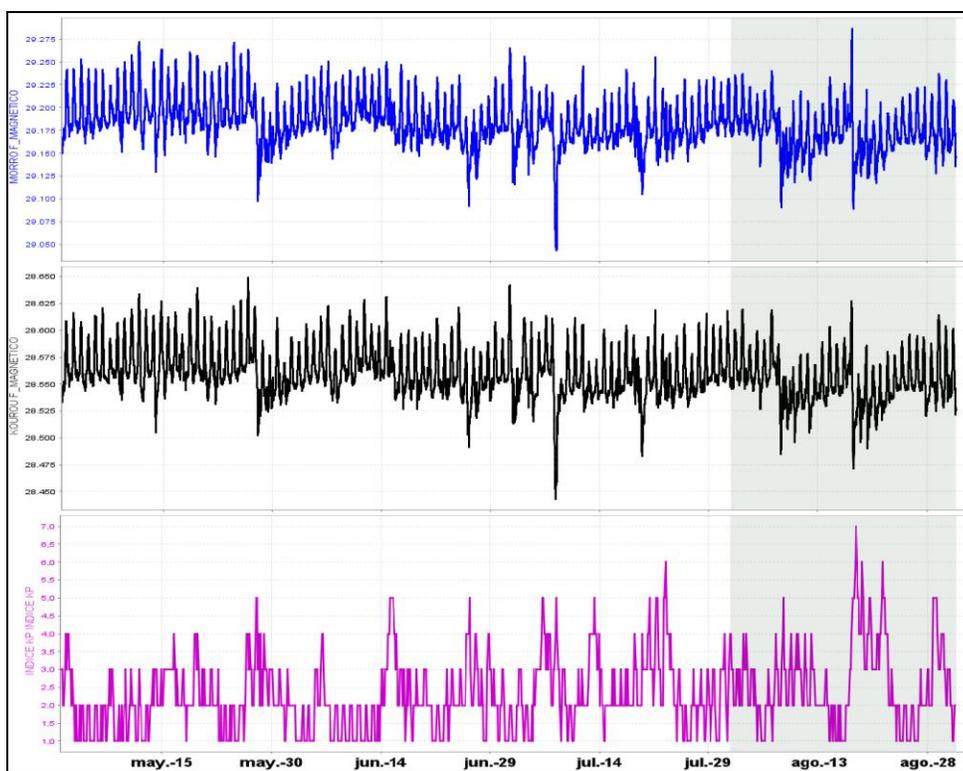
Como parte del estudio electromagnético, es necesario descartar señales generadas por efectos externos como tormentas geomagnéticas y tormentas solares para lo cual se debe contar con una estación de referencia. En los volcanes de Nariño se ha seleccionado la estación magnética de referencia de Kourou (KOU) (Figura 60), que pertenece a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. La estación de KOU está ubicada en Guayana Francesa y cuenta con datos abiertos y en tiempo real, que permite realizar comparación y análisis con los datos magnéticos registrados en las estaciones que el OVS-Pasto ha instalado para este propósito.

Adicionalmente, como parte del análisis de los registros electromagnéticos, se toman en cuenta las alertas del clima espacial, asociados con fenómenos de erupciones de masa del núcleo del sol, las cuales generan fenómenos magnéticos que se propagan hasta la tierra y dependiendo de su intensidad pueden ocasionar incluso problemas eléctricos, de comunicaciones o afectaciones en la salud. Estas alertas se miden con el índice Kp que está en una escala entre 1 y 9. Cada índice describe la intensidad de las perturbaciones ambientales y los efectos físicos en la Tierra para tres tipos de eventos: tormentas geomagnéticas, tormentas de radiación solar y apagones de radio. El OVSP toma las alertas generadas por el sistema de alertas del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC, por sus siglas en inglés - Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés - National Oceanic and Atmospheric Administration).

En el OVSP se consultan tanto los pronósticos de los índices Kp como las alertas asociadas con este tipo de tormentas que afectan el clima espacial y que son reportados por el SWPC. Esta información nos permite identificar si se han presentado tormentas espaciales e identificarlas en los registros de las estaciones de monitoreo magnético en el CVCCN, para descartar la posibilidad que se puedan interpretar este tipo de fenómenos como generados por efectos volcánicos. En general, las tormentas geomagnéticas que mayor interferencia generan en los registros de la estación de monitoreo del CVCCN son aquellas que tienen un índice Kp  $\geq 4$  y, especialmente

aquellos cuyo frente de onda impactan directamente con el hemisferio de la Tierra correspondiente a la zona de estudio del CVCCN.

Entre mayo y agosto de 2022 este tipo de fenómenos se han presentado de manera recurrente; sin embargo, los que más efectos de interferencia han generado sobre los registros de las estaciones de monitoreo magnético de Chiles son aquellas con valores Kp de hasta 6; ocurridos el 18 y 20 de agosto, con índice Kp=7 y 6 respectivamente. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos tanto en amplitud, como en frecuencia (Figura 60).

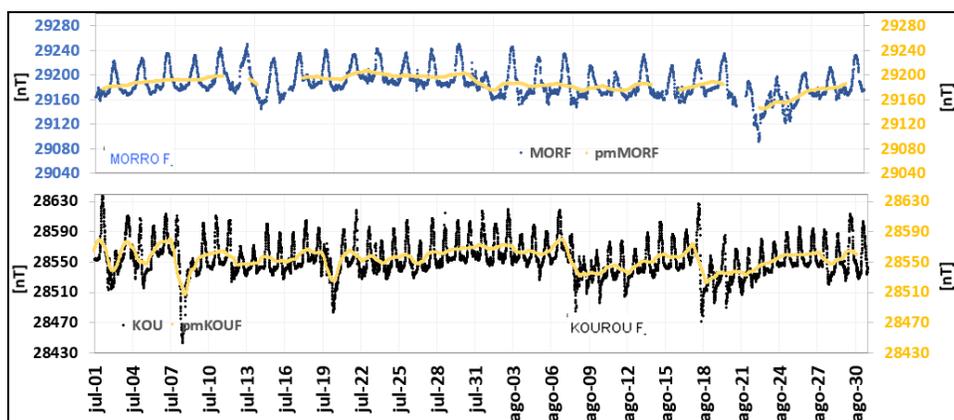


**Figura 60.** CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVCCN: MOR (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo y agosto de 2022

Entre mayo y agosto de 2022, el campo magnético terrestre total (CMT-F), registrado en la estación MOR mostró una tendencia relativamente estable, hasta finales de agosto con un CMT-F promedio para el registro de alrededor de 29.175 nT (Figura 60). La variación diaria de la serie temporal fue de aproximadamente 75 nT. La estación de referencia KOU tuvo un CMT-F promedio de alrededor de 28.550 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 60). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 4 se identifican variaciones en

las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia, y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior (Figura 60).

Tomando el promedio móvil de las series de tiempo, para disminuir los efectos de las variaciones seculares periódicas diarias, se evidencia que, en general, las variaciones máximas fueron de hasta 15 nT para MOR y de hasta 10 nT para KOU, para los días cuando las tormentas geomagnéticas tuvieron índices Kp menores de 4; mientras que, para aquellos días con fuerte actividad solar, la afectación de estos fenómenos sobre las series temporales generaron variaciones de hasta 60 nT para MOR y de hasta 65 nT para KOU, evidenciando que los efectos asociados con la actividad volcánica están por debajo de los 14 nT (Figura 61), lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (Figura 61).



**Figura 61.** Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para los meses de julio y agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

En el periodo de agosto de 2022, el valor del CMT-F en MOR fue de alrededor de 29.175 nT, con variaciones de amplitud día-noche, en promedio de 60 nT; en tanto que en la estación de referencia KOU el valor del CMT-F fue de alrededor de 28.570 nT, con variaciones de amplitud día-noche de alrededor de 60 nT (Figura 61).

### 3.6 Geoquímica

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

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

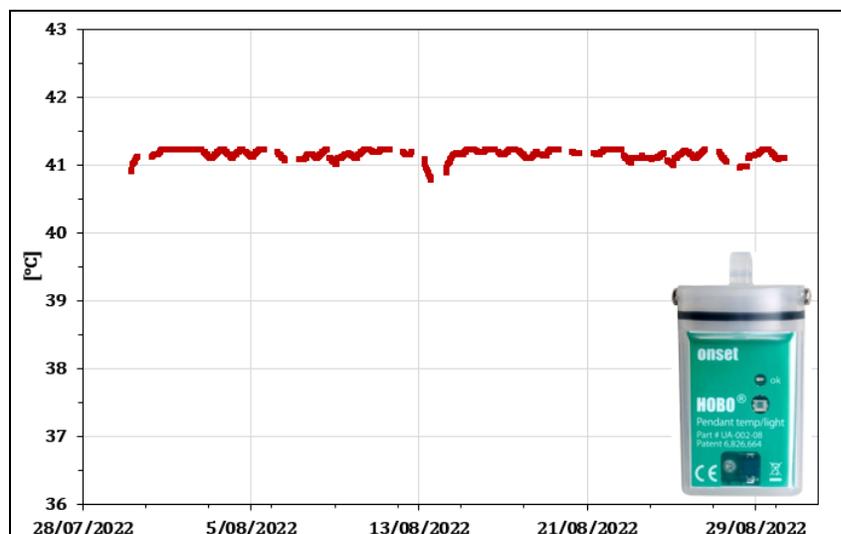
#### 3.6.2 Muestreo de aguas en fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

En el mes de agosto se realizó el muestreo en cuatro fuentes termales ubicadas en área de influencia del Volcán Chiles, las cuales fueron: Baño Grande, La Cristalina, El Infiernillo y El Rincón Más Bello (Figura 44 de vigilancia), a continuación, se muestra algunas fotografías de los trabajos realizados (Figura 62).



**Figura 62.** Imágenes de algunos trabajos de campo: A) Medición de temperatura en manantial termal La Cristalina, B) Medición de temperatura en manantial termal El Rincón Más Bello y C) Medición de gas difuso, dióxido de carbono en el manantial El Infiernillo

En los parámetros fisicoquímicos no se observó cambios relevantes, se presenta bastante estabilidad en los mismos, en dos manantiales (Rincón Más Bello y Baño Grande), se cambian continuamente unos sensores de temperatura, en los cuales se corrobora la estabilidad en este parámetro, a manera de ejemplo, a continuación, se muestra el registro en la termal Baño Grande (Piscina del cabildo indígena de Chiles) (Figura 63).



**Figura 63.** Registro de temperatura en fuente termal Baño Grande (Piscina del Cabildo indígena de Chiles), se muestra también el datalogger con los cuales se realiza este tipo de medición

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

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

### 3.7 Actividad Superficial

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

### 3.8 Conclusiones

- En los parámetros fisicoquímicos medidos in situ en los 4 manantiales se observa estabilidad en su comportamiento.
- En agosto de 2022 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró un descenso en ocurrencia como en la energía liberada, con predominio de los sismos asociados con fractura de roca al

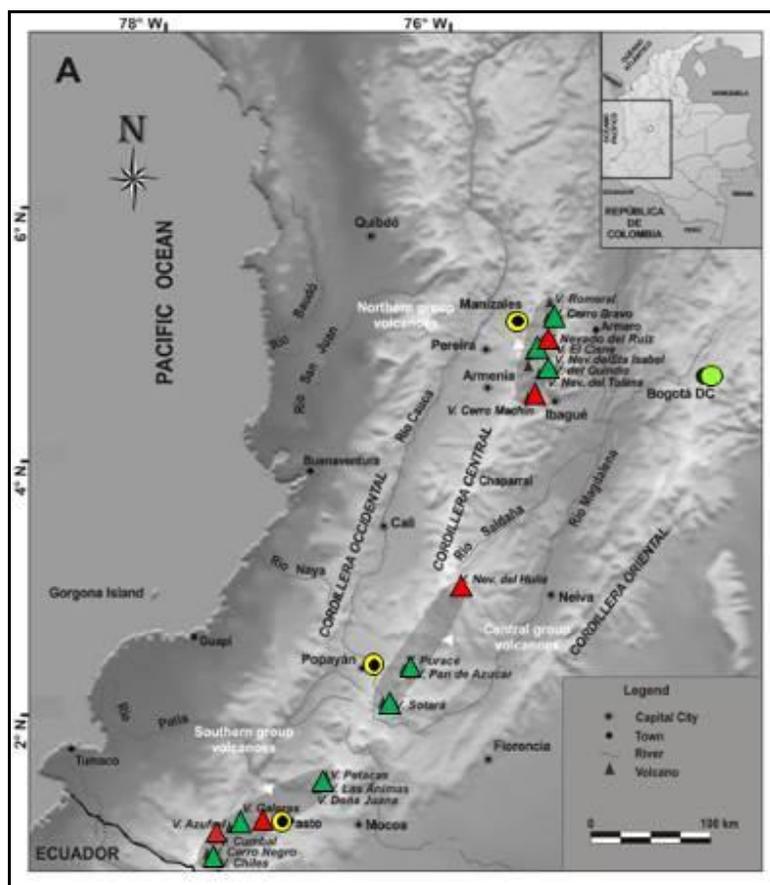
interior del volcán (VT). Se destaca que continúa el registro de eventos asociados a movimiento de fluidos.

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

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

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 64).



**Figura 64.** Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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

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

##### 4.1.1 Red de Vigilancia

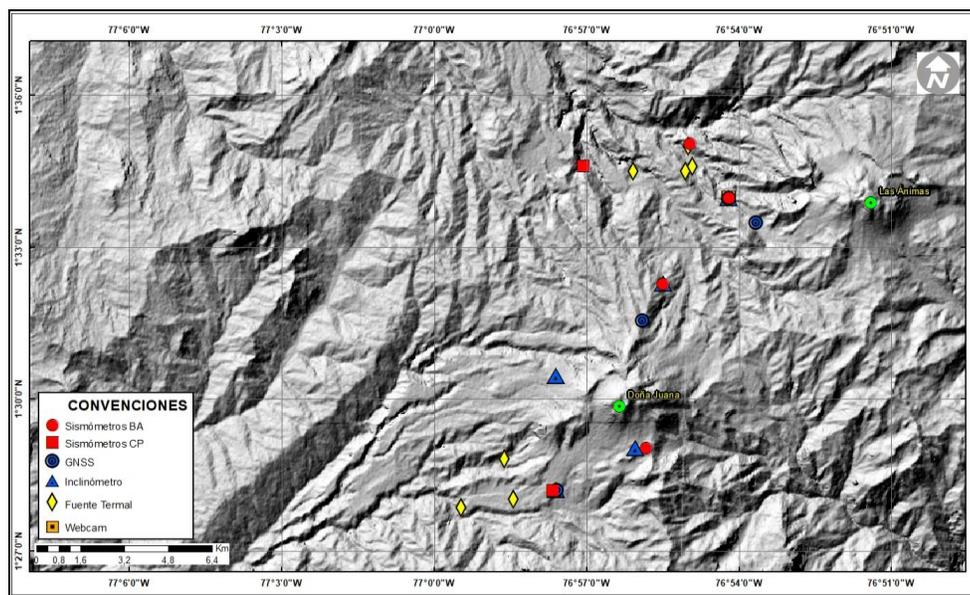
La red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas está distribuida de la siguiente manera: sobre la superficie del volcán Las Ánimas, tres estaciones sísmicas, en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos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

un GNSS Permanente). En el volcán Doña Juana se tiene instalado tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales, tres inclinómetros electrónicos, dos localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparamétrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 20, Figura 65). Adicionalmente, se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 65).

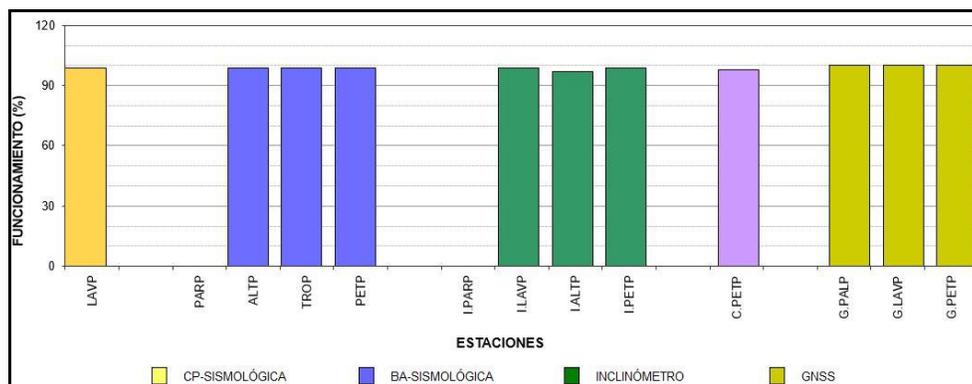
En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instaladas para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 84% (Figura 66).

**Tabla 20.** Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en agosto de 2022

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



**Figura 65.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de agosto de 2022



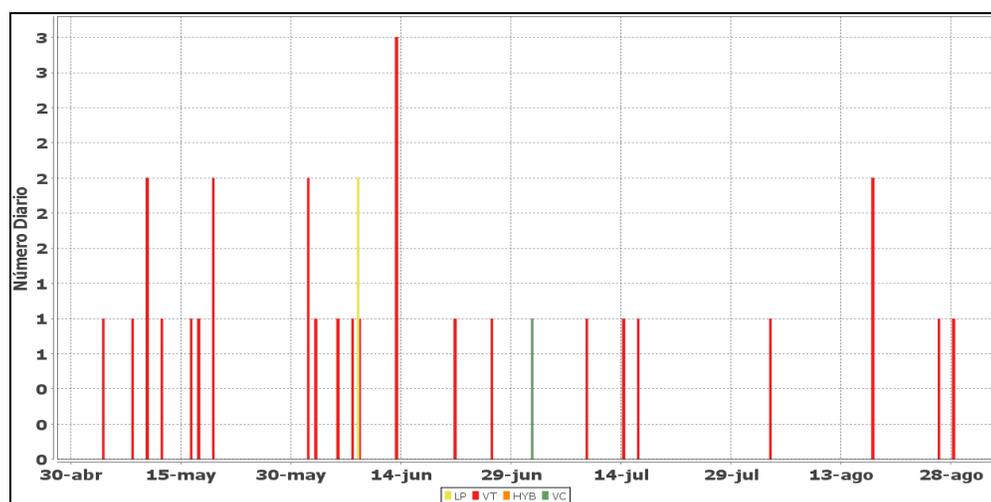
**Figura 66.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en agosto de 2022

#### 4.1.2 Sismología

La sismicidad en agosto de 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas registró un total de 5 eventos, asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 21, Figura 67), los cuales liberaron una energía de  $1.69 \times 10^{12}$  ergios, aumentando en 2.2 veces respecto al mes anterior (Tabla 22, Figura 68).

**Tabla 21.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre mayo y agosto de 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

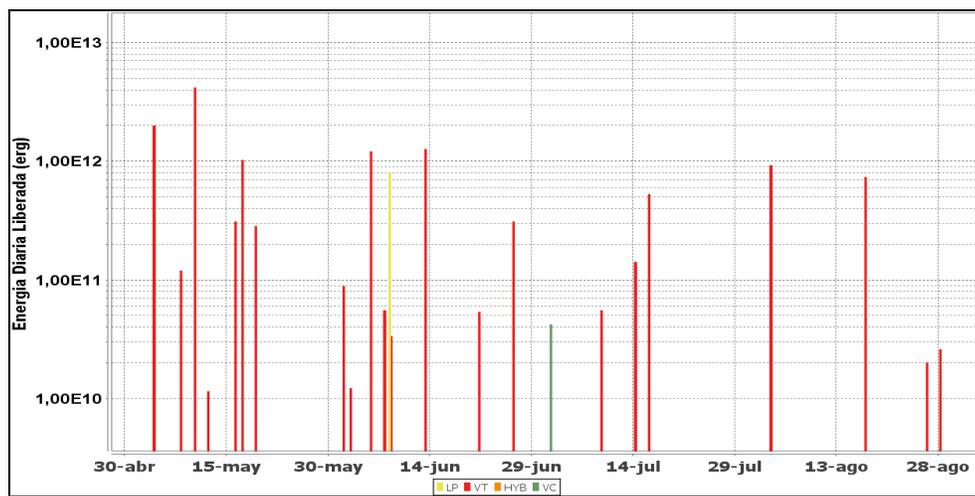
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	HYB	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	9	0	0	0	9
2022-06-01-2022-06-30	11	2	0	0	13
2022-07-01-2022-07-31	3	0	0	1	4
2022-08-01-2022-08-31	5	0	0	0	5



**Figura 67.** Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022

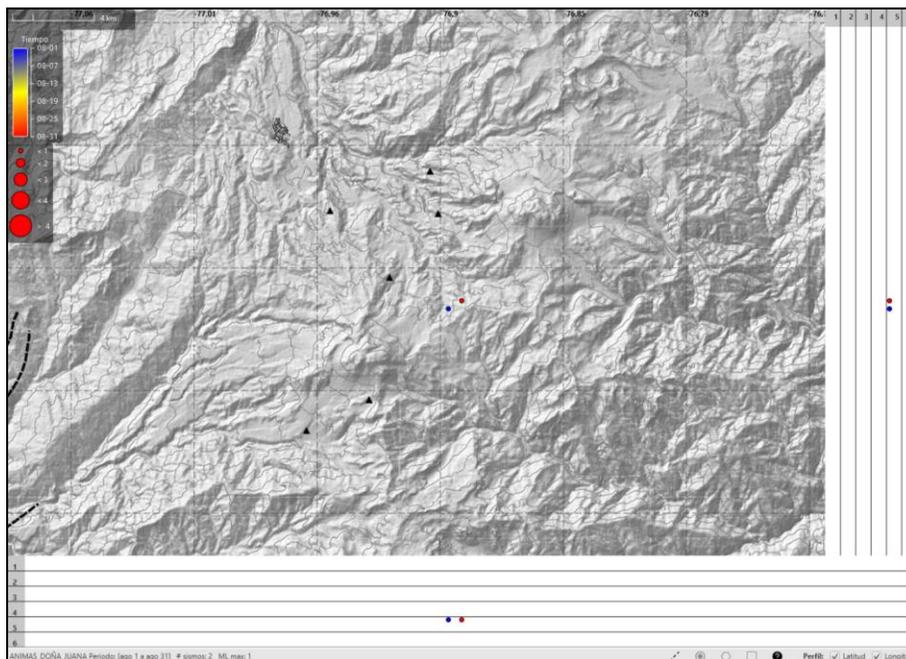
**Tabla 22.** Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento				
	VT	LPS	HYB	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	7.90E+12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.90E+12
2022-06-01-2022-06-30	3.01E+12	7.96E+11	0.00E+00	0.00E+00	3.81E+12
2022-07-01-2022-07-31	7.22E+11	0.00E+00	0.00E+00	4.21E+10	7.64E+11
2022-08-01-2022-08-31	1.69E+12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.69E+12



**Figura 68.** Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre mayo y agosto de 2022. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

En este periodo fue posible localizar dos sismos que fueron ubicados en una zona intermedia entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, con profundidades de 4 km respecto a la cima de Las Ánimas (nivel de referencia en 4300 m.s.n.m.) y con magnitud local máxima de 1.0 (Figura 69).



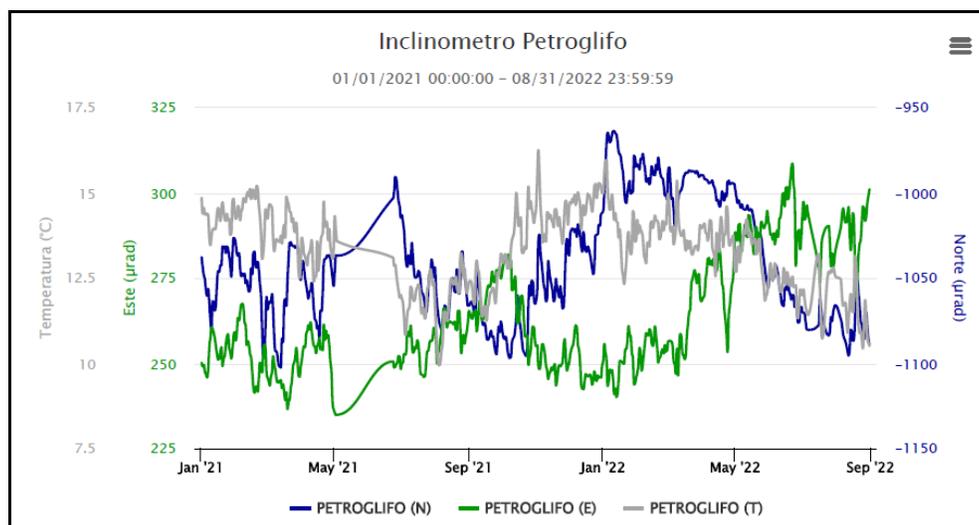
**Figura 69.** Localizaciones de VT registrados en agosto de 2022 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

### 4.1.3 Deformación

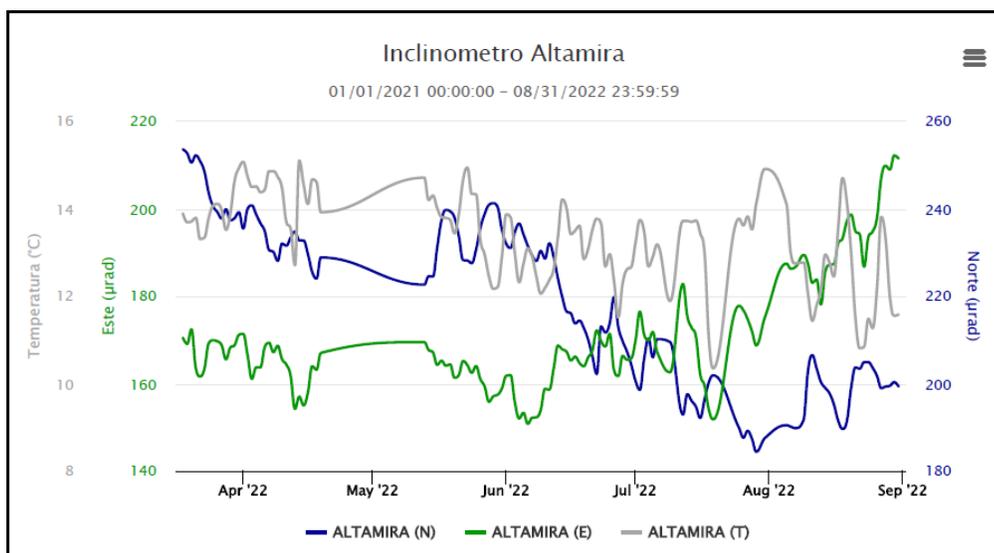
#### 4.1.3.1 Inclinometría Electrónica

En la Figura 70, se muestra el registro del inclinómetro Petroglifo, la componente de inclinación Norte presenta una tendencia descendente, acumulando cerca de 95  $\mu\text{rad}$  desde marzo de 2022, mientras que la componente Este mostró ascenso de 60  $\mu\text{rad}$  hasta el 22 de junio de 2022, posteriormente tiende a estabilizarse.

Continua el comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro electrónico Altamira, registrando 59  $\mu\text{rad}$  desde el 19 de julio de 2022, la componente Norte, luego de mostrar una tendencia descendente en su registro, tiende a estabilizarse desde el 29 de julio de 2022 (Figura 71).



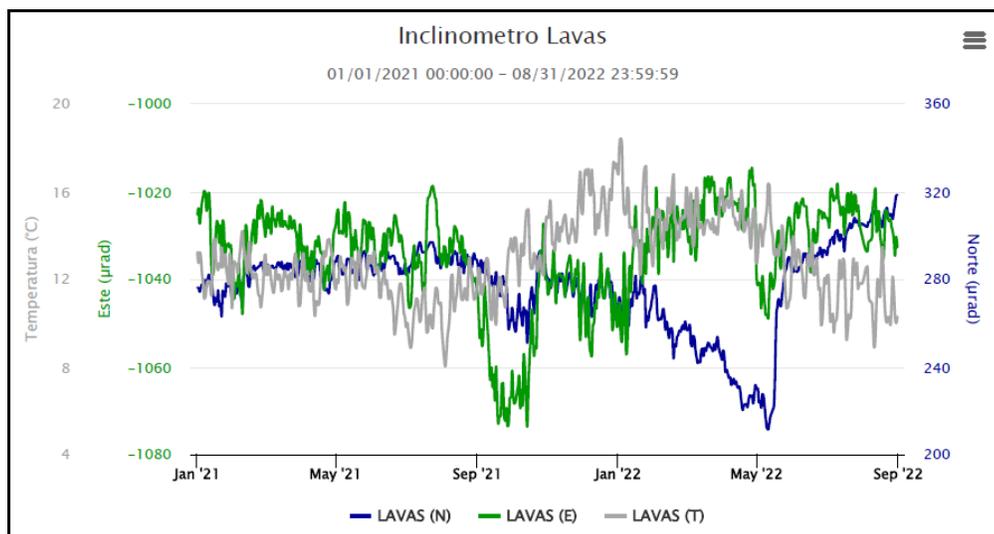
**Figura 70.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022



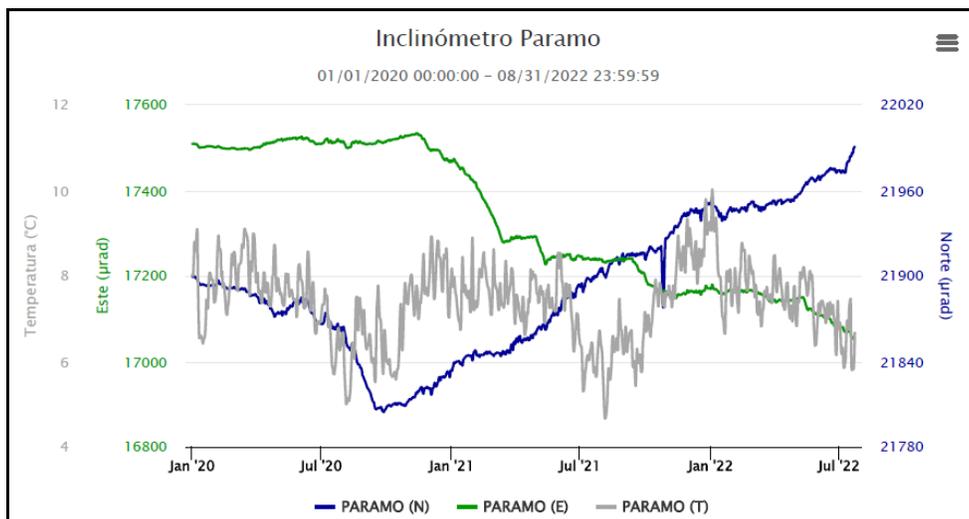
**Figura 71.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Las Ánimas y Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 18 de marzo de 2022 y el 31 de agosto de 2022

En el volcán Doña Juana continua el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte de la estación Lavas, con una variación de  $107 \mu\text{rad}$  desde el 10 de mayo de 2022, es importante mencionar que el mayor cambio de pendiente se presentó entre el 10 y el 30 de mayo de 2022 (Figura 72), se observa estabilidad en la componente Este.

En el inclinómetro Páramo, persisten las tendencias, ascendente en la componente Norte, alcanzando cerca de  $183 \mu\text{rad}$  desde septiembre de 2020, y descendente, en la componente Este, registrando  $480 \mu\text{rad}$  desde noviembre de 2020 (Figura 73).



**Figura 72.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022

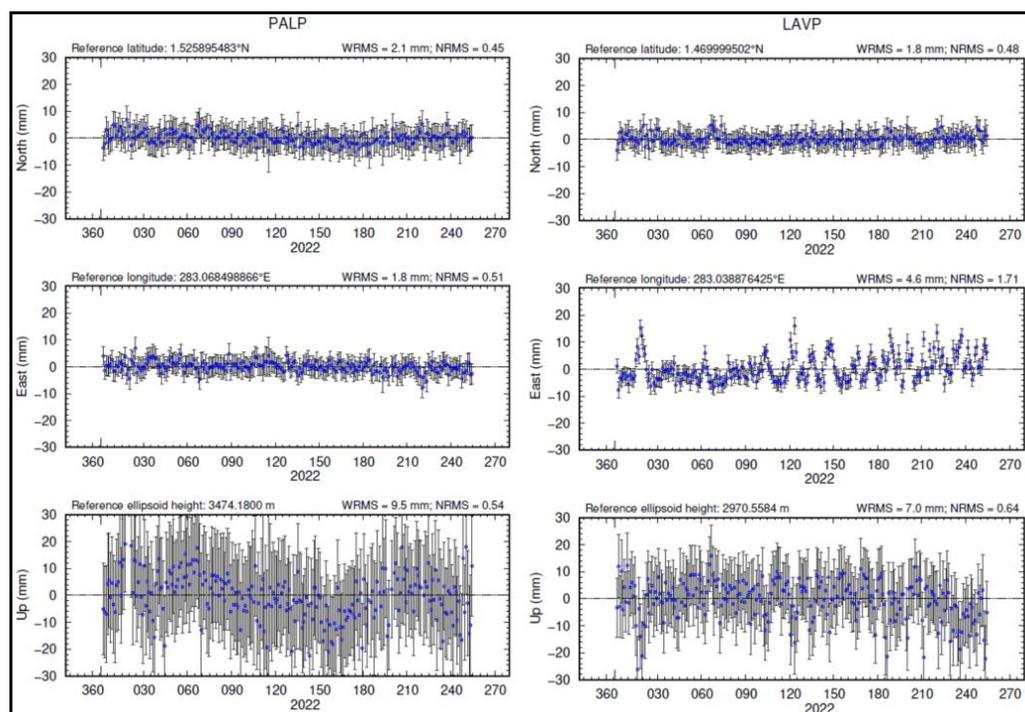


**Figura 73.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de agosto de 2022

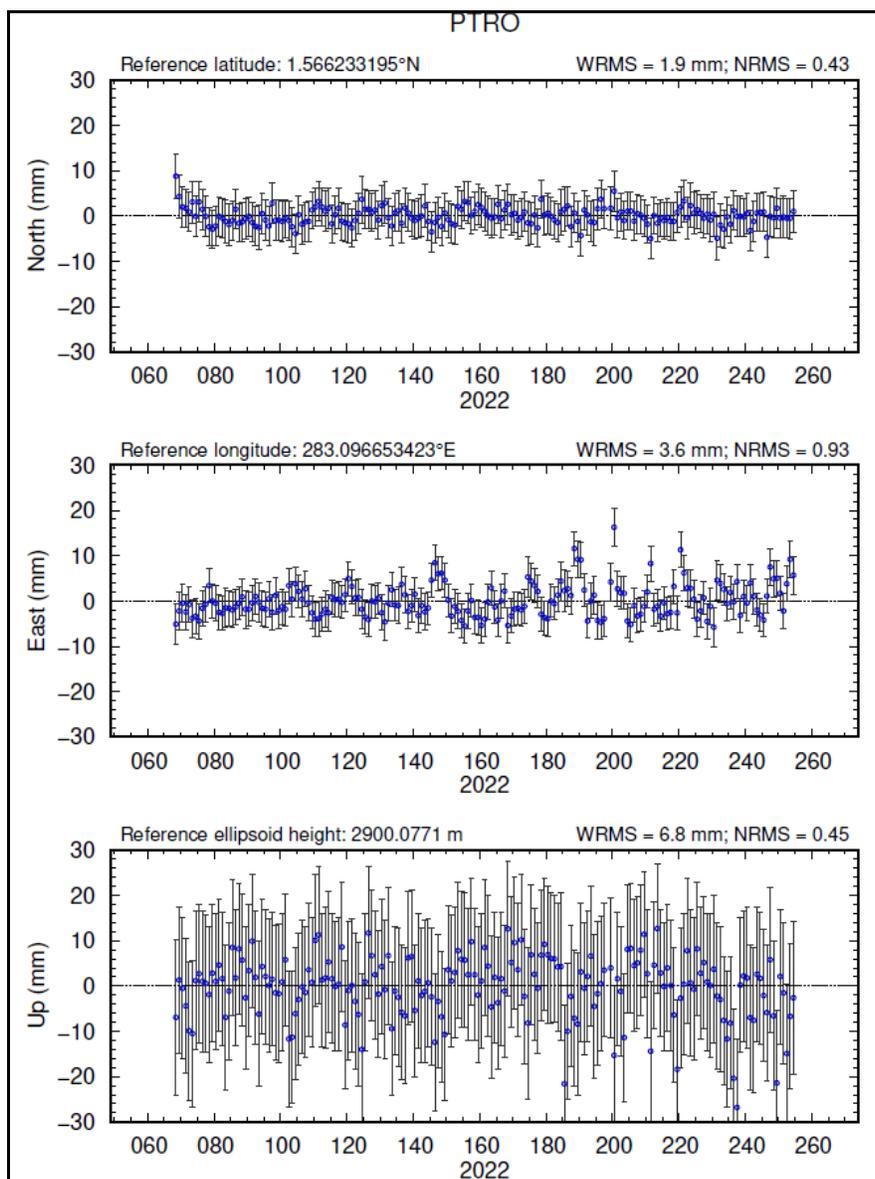
#### 4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites. En las Figuras 74 y 75 se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas, La Palma y Petroglifo, observando estabilidad en los registros.



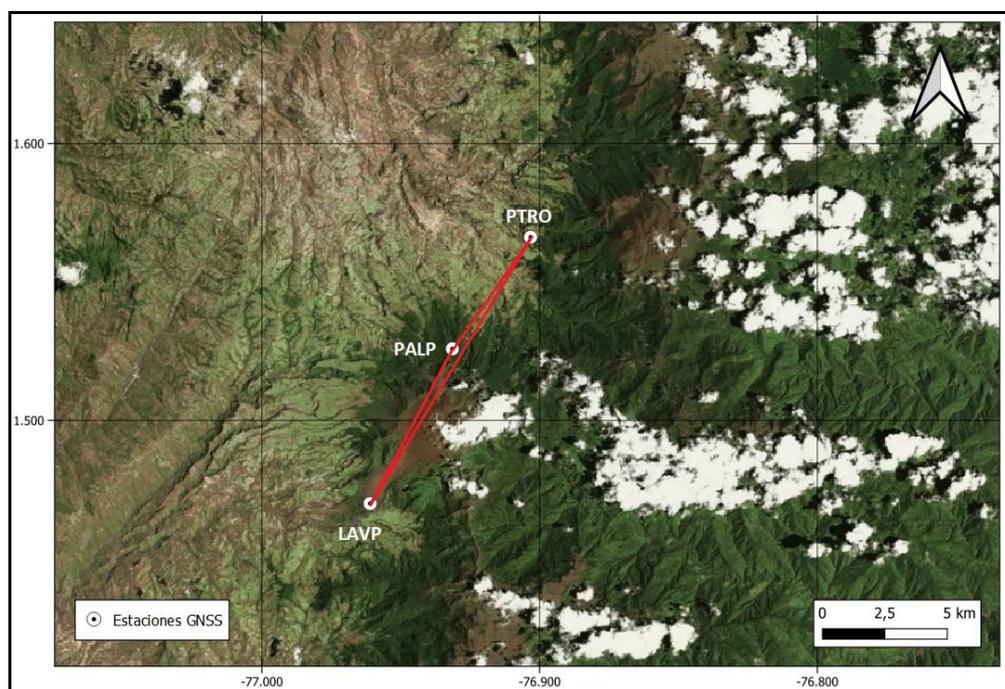
**Figura 74.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS La Palma y Lavas, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022



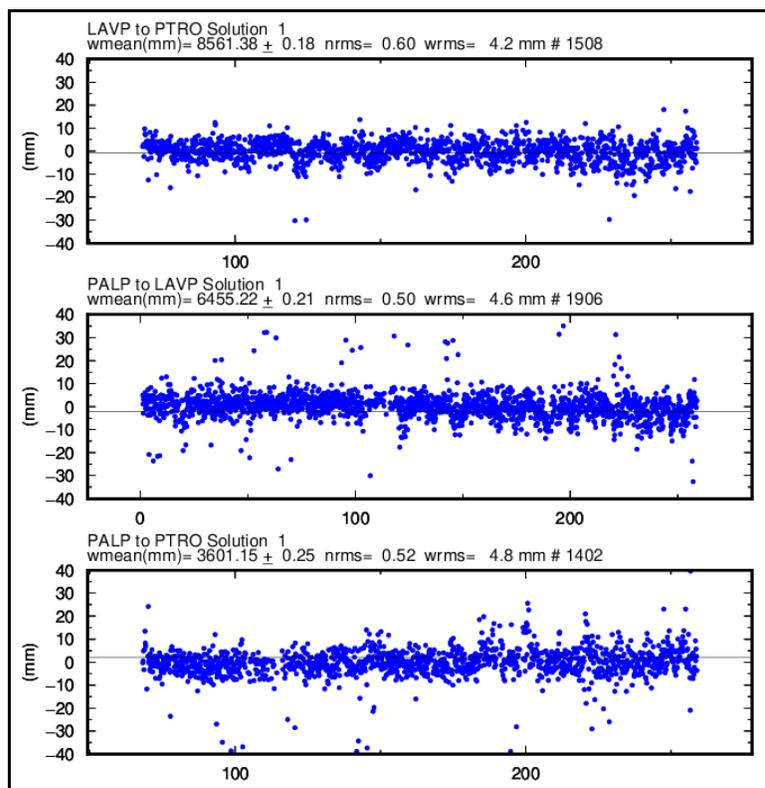
**Figura 75.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Petroglifo, instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 9 de marzo de 2022 y el 31 de agosto de 2022

## Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir, un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes y en Las Ánimas, una estación, en la Figura 76, se muestra su ubicación y en la Figura 77, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.



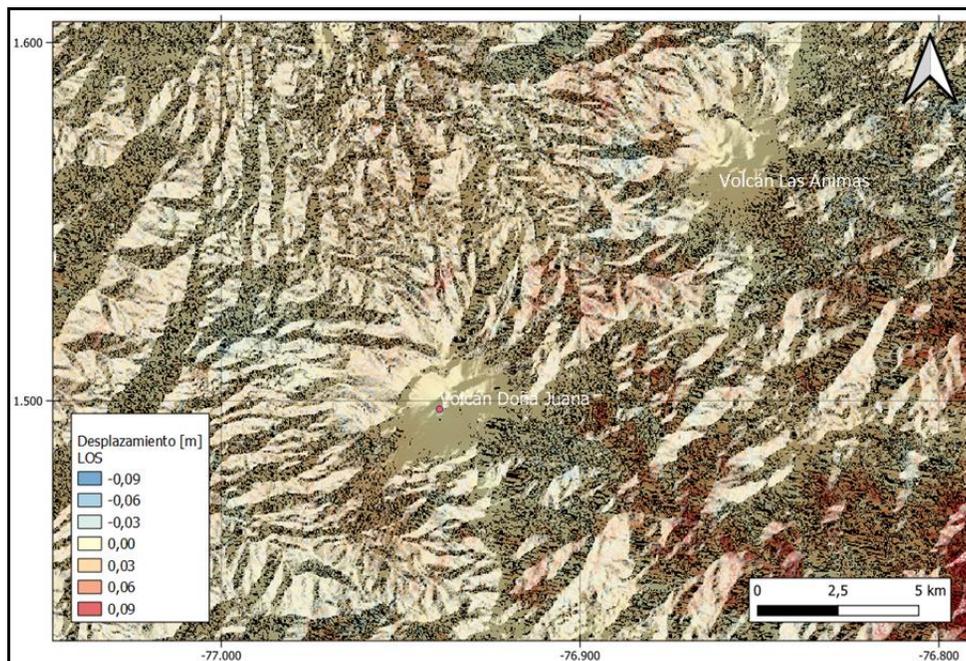
**Figura 76.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana y Las Ánimas, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base



**Figura 77.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

#### 4.2.2.3 D-InSAR

En la Figura 78, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Doña Juana y Las Ánimas obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de este procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 78.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas

#### 4.1.4 Geoquímica

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

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

#### 4.1.5 Actividad Superficial

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

#### 4.1.6 Conclusiones

- En agosto de 2022 se registró estabilidad en la ocurrencia sísmica con eventos de bajo nivel energético.

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

## **4.2 Actividad del Volcán AzufraI**

### **4.2.1 Red de Vigilancia**

En la Figura 79 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán AzufraI, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana, Lobo y Mallama, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico; adicionalmente se tienen dos cámaras web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 23 se consignan algunas de sus características.

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

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

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de AzufraI 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 80).

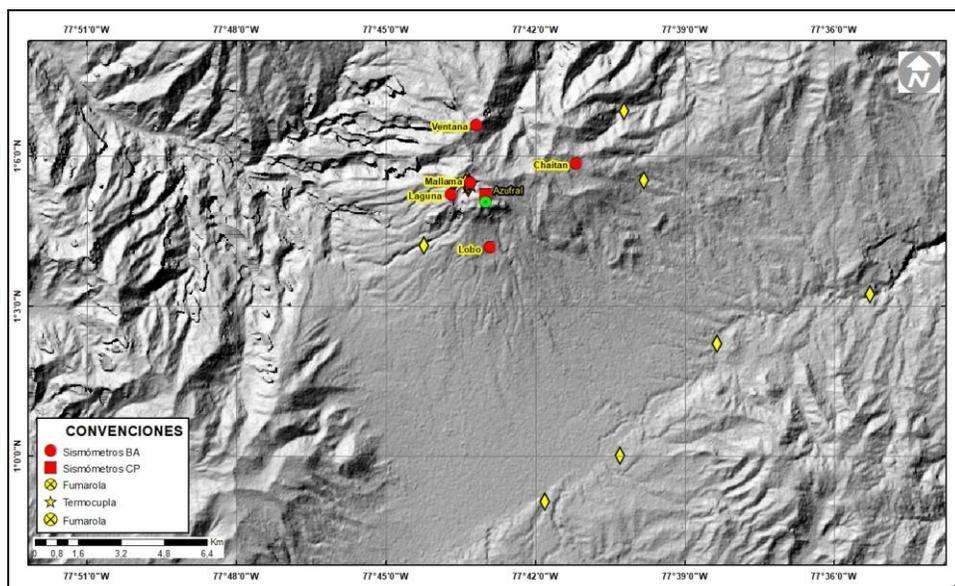


Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de agosto de 2022

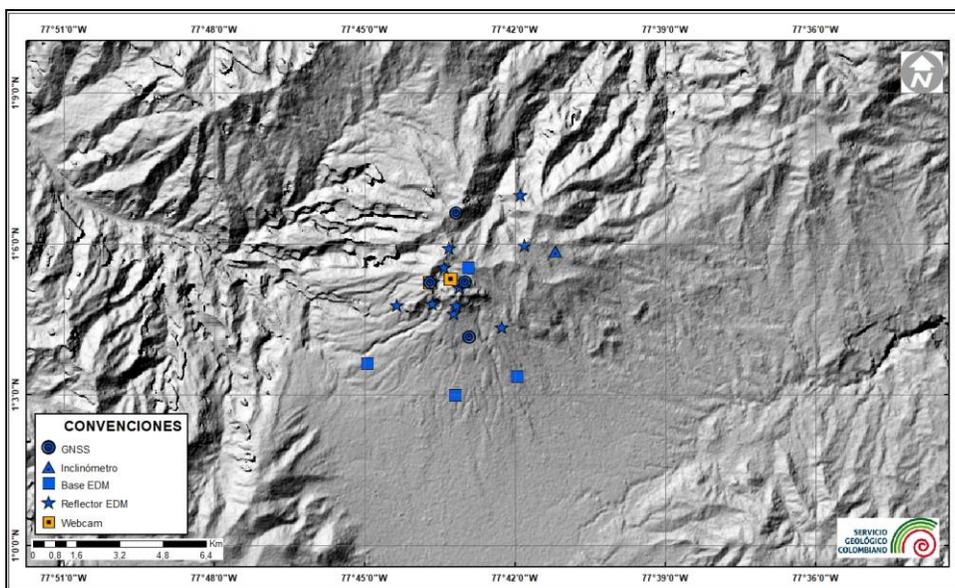
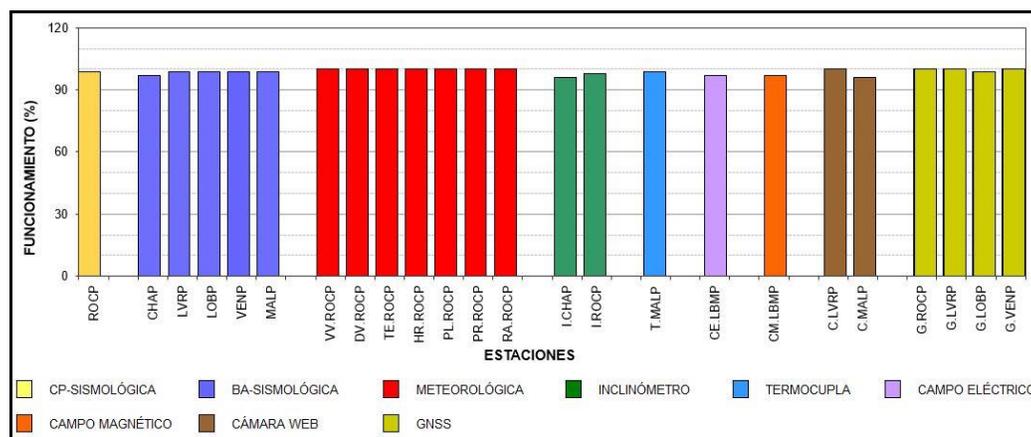


Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de agosto de 2022

**Tabla 23.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de agosto de 2022

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

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 99% para este mes (Figura 81).



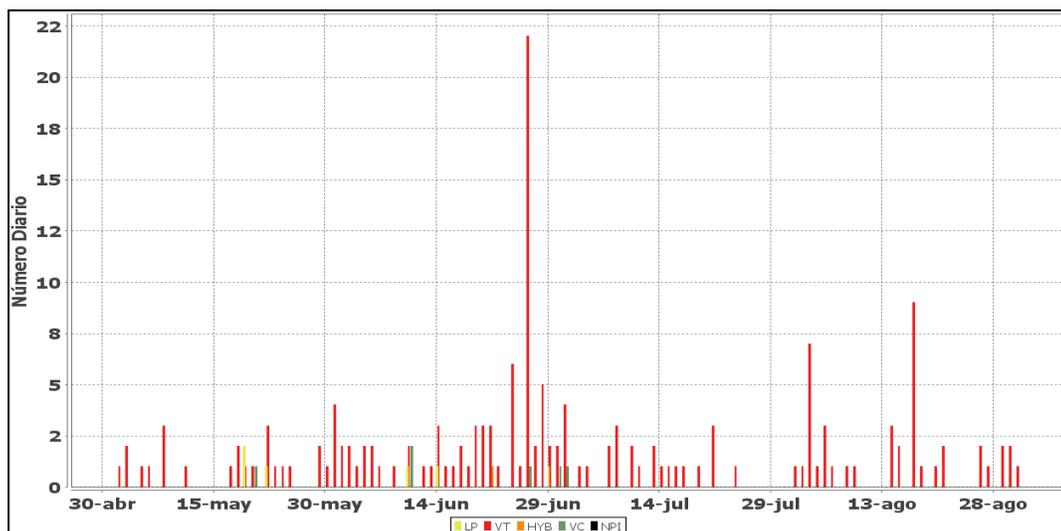
**Figura 81.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante agosto de 2022

#### 4.2.2 Sismología

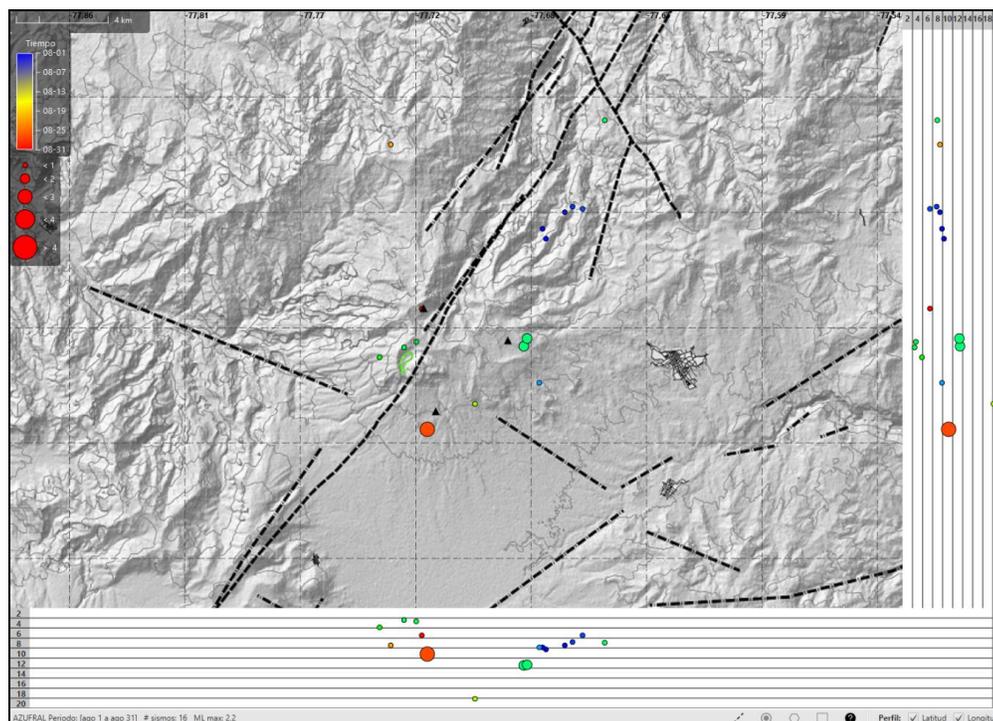
En agosto de 2022 y dentro de niveles bajos de actividad, la sismicidad de Azufraal aumentó en un 68% en comparación a lo registrado en julio, pasando de 26 a 42 eventos, asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) (Tabla 24, Figura 82). Se localizaron 16 sismos, los cuales se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, con distancias epicentrales menores de 14 km respecto a la Laguna cratérica, profundidades menores a 18 km con respecto a su cima (4000 m.s.n.m.) y magnitud local máxima de 2.2. La energía sísmica liberada por los eventos fue de  $4.58 \times 10^{12}$  ergios.

**Tabla 24.** Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufraal entre mayo y agosto de 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
2022-05-01-2022-05-31	27	3	0	0	1	31
2022-06-01-2022-06-30	73	3	0	1	4	80
2022-07-01-2022-07-31	25	0	0	0	1	26
2022-08-01-2022-08-31	42	0	0	0	0	42



**Figura 82.** Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufraal, entre mayo y agosto de 2022



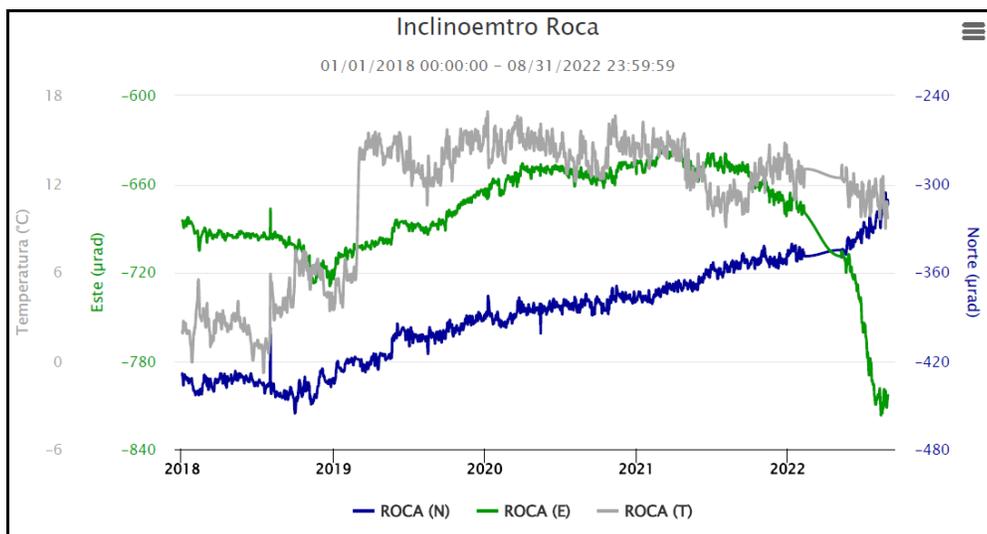
**Figura 83.** Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en agosto de 2022

## 4.2.3 Deformación

### 4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

La red de deformación del volcán Azufral cuenta con dos inclinómetros electrónicos y cuatro estaciones GNSS permanentes.

Continúa el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte de la estación Roca, registrando cerca de 132  $\mu\text{rad}$  desde noviembre de 2018 (Figura 84). La componente Este muestra una tendencia descendente que inicia a mediados de mayo de 2022, este cambio hasta el momento acumula cerca de 170  $\mu\text{rad}$ .

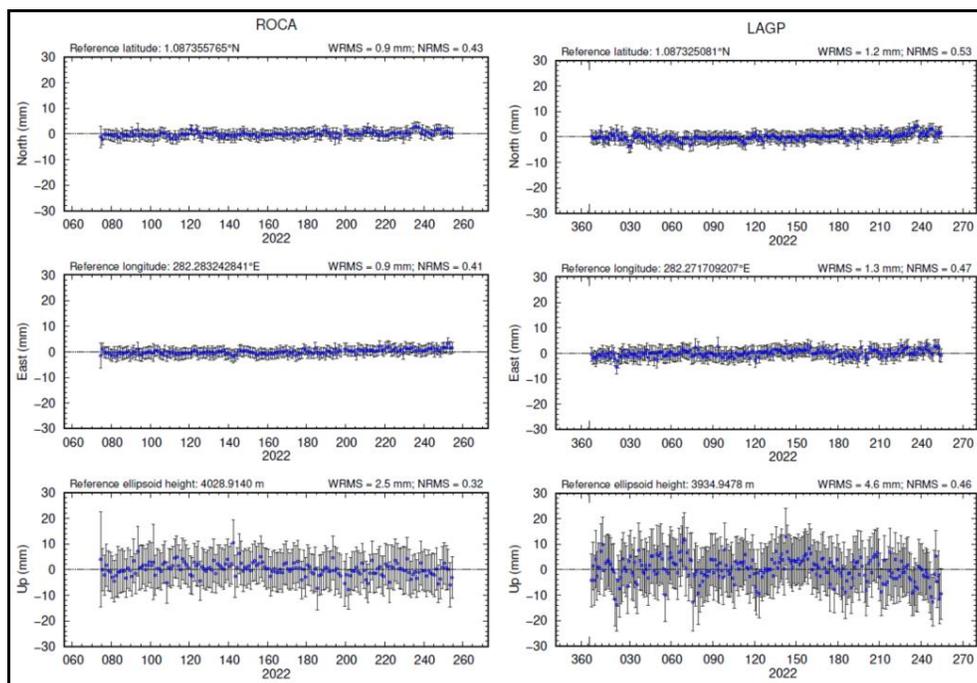


**Figura 84.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de agosto de 2022

#### 4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

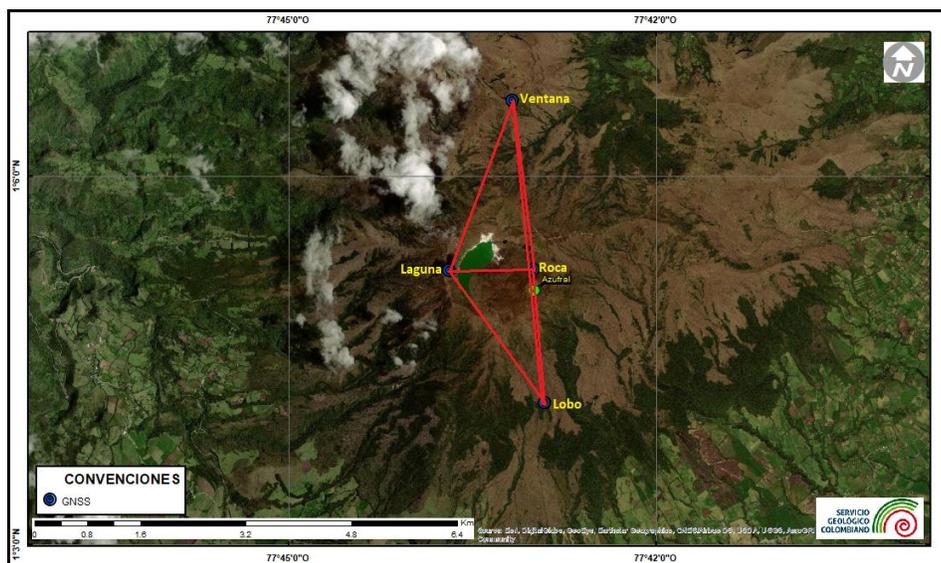
Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites. En la Figura 85, a manera de ejemplo se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Roca y Laguna instalados en Azufra.



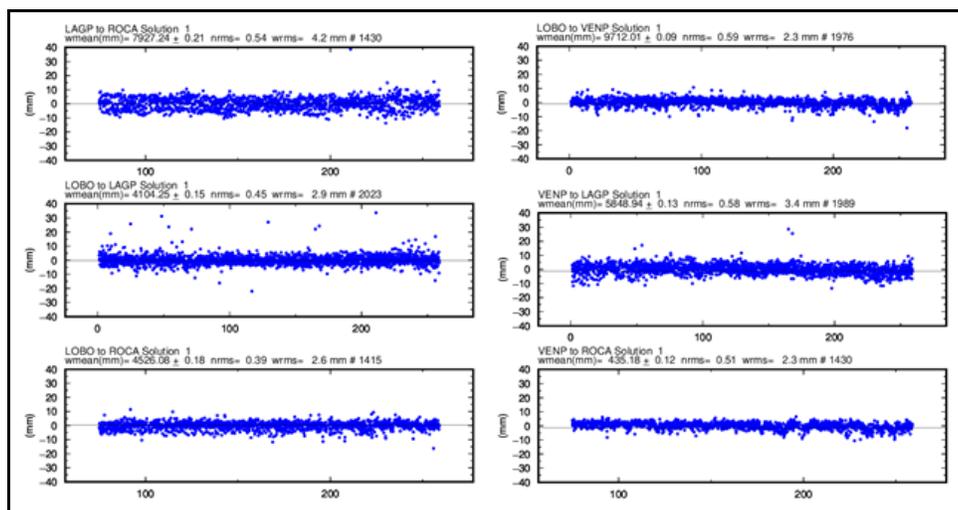
**Figura 85.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Roca y Laguna instaladas en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

### Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 86, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 87, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas líneas.



**Figura 86.** 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



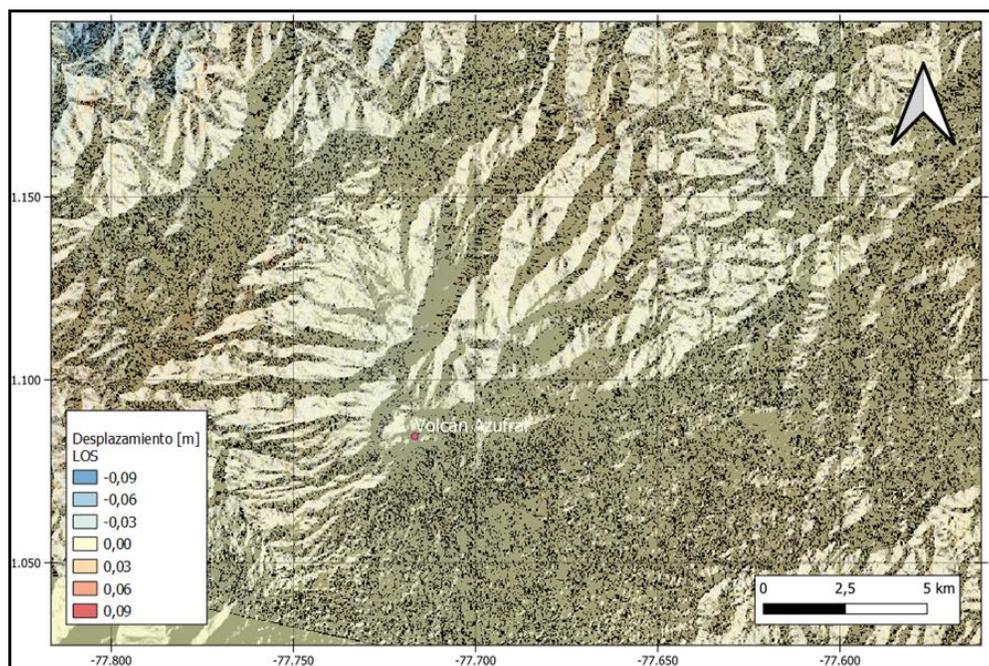
**Figura 87.** Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de agosto de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

#### 4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

#### 4.2.3.4 D\_InSAR

En la Figura 88, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Azufral obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de este procesamiento, no se observa ningún patrón de deformación.



**Figura 88.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 10 de agosto de 2022 y el 22 de agosto de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del volcán Azufral

#### 4.2.4 Electromagnetismo

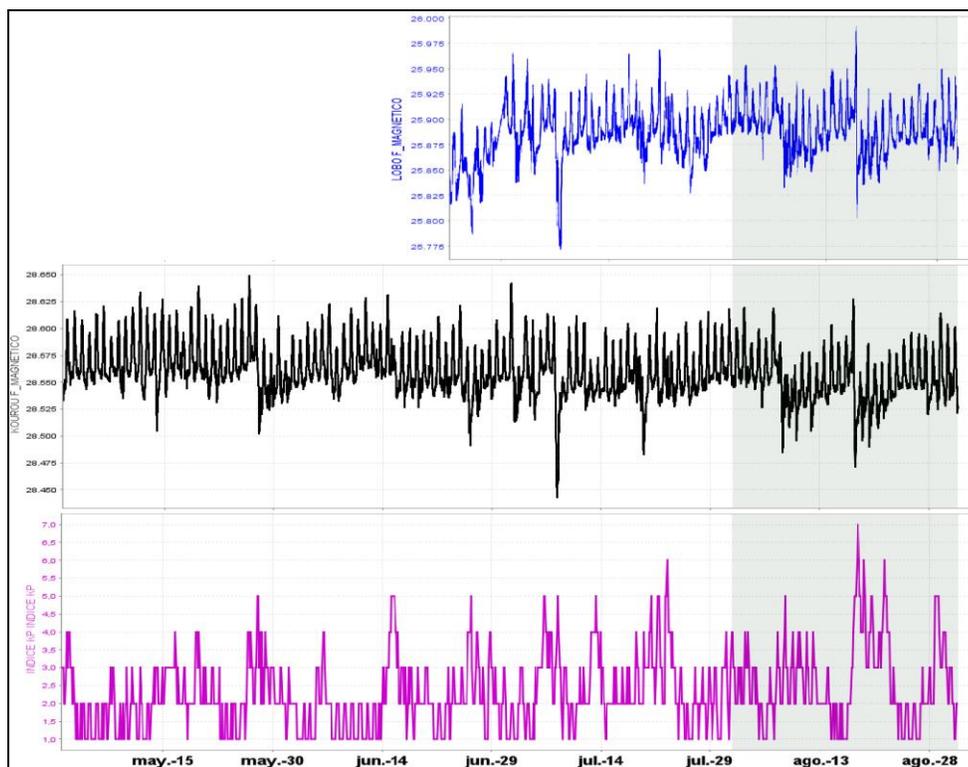
En agosto de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Azufral se realizó a partir de la información registrada en la estación magnética Lobo (LOB). La estación cuenta con un sensor magnético triaxial tipo Fluxgate, que permite calcular el campo magnético total de la Tierra (CMT-F) en el sitio donde la estación se ha instalado. La estación eléctrica que funcionaba en el mismo sector y que lleva por nombre Lobo Eléctrica tiene un mal funcionamiento desde el 19 de junio de 2022, por lo cual sus datos no se presentarán en este informe.

Como parte del estudio electromagnético, es necesario descartar señales generadas por efectos externos como tormentas geomagnéticas y tormentas solares para lo cual se debe contar con una estación de referencia. En los volcanes de Nariño se ha seleccionado la estación magnética de referencia de Kourou (KOU) (Figura 89), que pertenece a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. La estación de KOU está ubicada en Guayana Francesa y cuenta con datos abiertos y en tiempo real, que permite realizar comparación y análisis con los datos magnéticos registrados en las estaciones que el OVS-Pasto ha instalado para este propósito.

Adicionalmente, como parte del análisis de los registros electromagnéticos, se toman en cuenta las alertas del clima espacial, asociados con fenómenos de erupciones de masa del núcleo del sol, las cuales generan fenómenos magnéticos que se propagan hasta la tierra y dependiendo de su intensidad pueden ocasionar incluso problemas eléctricos, de comunicaciones o afectaciones en la salud. Estas alertas se miden con el índice Kp que está en una escala entre 1 y 9. Cada índice describe la intensidad de las perturbaciones ambientales y los efectos físicos en la Tierra para tres tipos de eventos: tormentas geomagnéticas, tormentas de radiación solar y apagones de radio. El OVSP toma las alertas generadas por el sistema de alertas del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC, por sus siglas en inglés - Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés - National Oceanic and Atmospheric Administration).

En el OVSP se consultan, tanto los pronósticos de los índices Kp, como las alertas asociadas con este tipo de tormentas que afectan el clima espacial y que son reportados por el SWPC. Esta información nos permite identificar si se han presentado tormentas espaciales e identificarlas en los registros de las estaciones de monitoreo magnético en el volcán Azufral, para descartar la posibilidad que se puedan interpretar este tipo de fenómenos como generados por efectos volcánicos. En general, las tormentas geomagnéticas que mayor interferencia generan en los registros de la estación de monitoreo del volcán Azufral son aquellas que tienen un índice Kp  $\geq 4$  y, especialmente aquellos cuyo frente de onda impactan directamente con el hemisferio de la Tierra correspondiente a la zona de estudio.

Entre mayo y agosto de 2022 este tipo de fenómenos se han presentado de manera recurrente; sin embargo, los que más efectos de interferencia han generado sobre los registros de las estaciones de monitoreo magnético de Azufral son aquellas con valores Kp de hasta 6; ocurridos el 18 y 20 de agosto, con índice Kp=7 y 6 respectivamente. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos tanto en amplitud como en frecuencia (Figura 89).

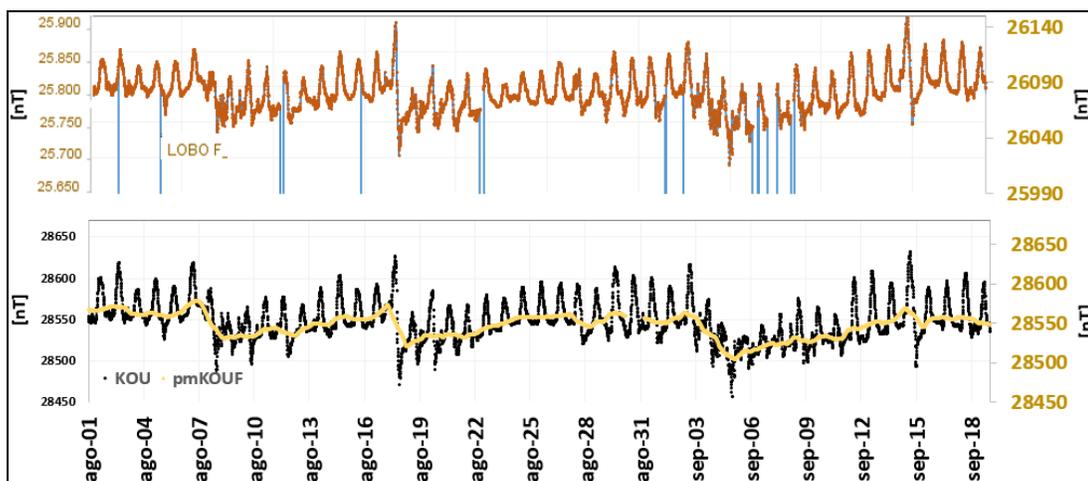


**Figura 89.** CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azufral: LOB (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre mayo y agosto de 2022

Desde finales de junio hasta julio de 2022, cuando volvió a funcionar el magnetómetro de la estación magnética LOB el campo magnético terrestre total (CMT-F), registrado en la estación LOB, mostró una tendencia ascendente, ya que este periodo está afectado por una tormenta geomagnética, con intensidad máxima Kp de 5, entre el 25 y 26 de junio de 2022. Posteriormente, en el mes de julio y hasta finales de agosto, el comportamiento es un poco estable afectado por los efectos de las tormentas de ese mes. El CMT-F promedio para el registro entre julio y agosto fue de alrededor de 25.875 nT (Figura 89). La variación diaria de la serie temporal fue de aproximadamente 75 nT. La estación de referencia KOU tuvo un CMT-F promedio de alrededor de 28.550 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 89). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 4 se identifican variaciones en las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia (Figura 89), y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior.

Tomando el promedio móvil de las series de tiempo, para disminuir los efectos de las variaciones seculares periódicas diarias, se evidencia que, en general, las variaciones

máximas fueron de hasta 15 nT para LOB y de hasta 10 nT para KOU, para los días cuando las tormentas geomagnéticas tuvieron índices Kp menores de 4; mientras que, para aquellos días con fuerte actividad solar, la afectación de estos fenómenos sobre las series temporales generaron variaciones de hasta 150 nT para LOB y de hasta 65 nT para KOU, evidenciando que los efectos asociados con la actividad volcánica están por debajo de los 14 nT (Figura 90), lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del volcán Azuftral (Figura 90).



**Figura 90.** Variaciones del CMT-F, en la estación LOB (café) y KOU (negra), para agosto de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

## 4.2.5 Geoquímica

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

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

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

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

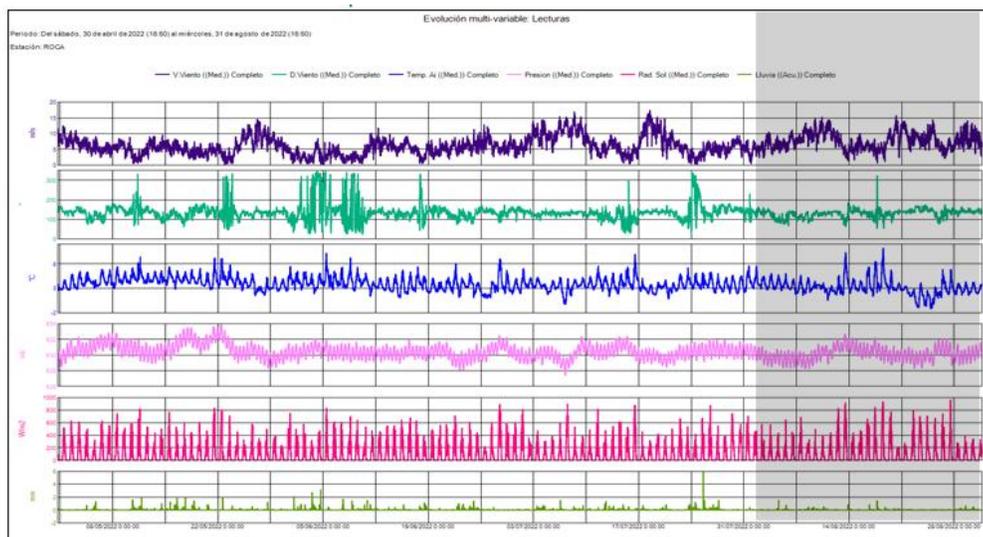
### 4.2.5.3 Estación térmica domo Mallama

Para el mes de agosto 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 Azuftral se obtienen datos de las variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica, radiación solar y lluvia acumulada, parámetros que pueden influenciar y por ende correlacionar con las variables estudiadas en cada una de las áreas de vigilancia volcánica.

En la Figura 91, se muestra la gráfica temporal de los datos registrados en la estación climatológica, con una tasa de muestreo de 10 min y en la Tabla 25, algunos valores de estadística básica para el mes evaluado. De manera general, las variables se encuentran dentro de la línea base del comportamiento.



**Figura 91.** Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azuftral. Mayo – agosto de 2022 (región sombreada: agosto)

**Tabla 25.** Datos parámetros estación climatológica La Roca – agosto de 2022

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (mm)
<b>Med.</b>	7.7	129.9	3.2	630.1	106.6	0.0
<b>Máx.</b>	15.7	322.6	11.2	632.7	961.1	1.5
<b>Mín.</b>	0.7	53.4	-1.2	628.3	0.1	0.0
<b>Acu.</b>	--	--	--	--	--	493.1

#### 4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables para los días 1, 2, 13, 16, 17, 18, 19, 23, 24 y 27 del mes de agosto de 2022, 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 desde el domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde.

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

En las Figuras 92 a 96 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufraal.



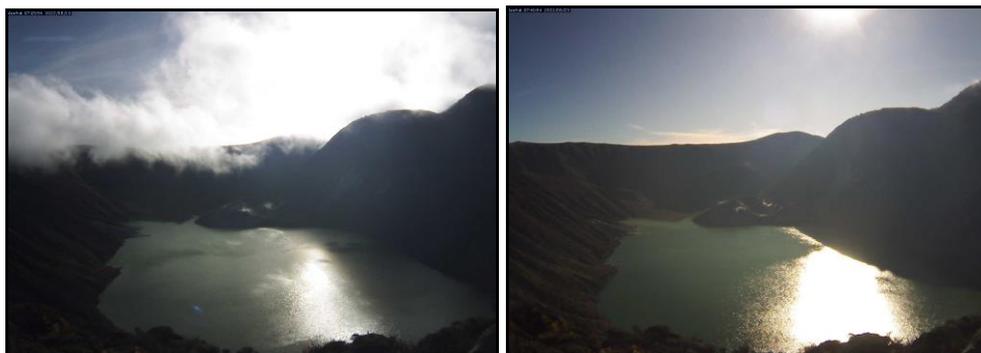
**Figura 92.** Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas para el 1 de agosto de 2022 a las 7:55 a.m., (izquierda) y para el 2 de agosto de 2022 a las 8:15 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 93.** Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registradas para el 13 de agosto de 2022 a las 8:10 a.m., (izquierda) y para el 16 de agosto de 2022 a las 7:30 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 94.** Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 17 de agosto de 2022 a las 7:10 a.m., (izquierda) y para el 18 de agosto de 2022 a las 7:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 95.** Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 19 de agosto de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y para el 23 de agosto de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



**Figura 96.** Imágenes de las emisiones de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 24 de agosto de 2022 a las 7:20 a.m., (izquierda) y para el 26 de agosto de 2022 a las 7:25 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

#### 4.2.7 Conclusiones

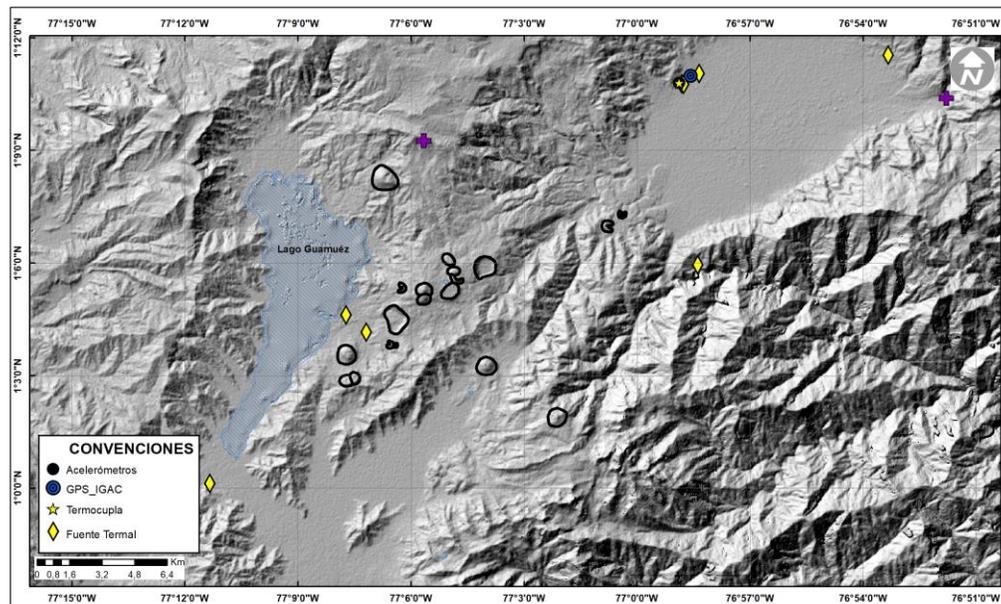
- En los parámetros de temperatura del Domo Mallama y las variables meteorológicas, se evidencia estabilidad, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.
- En agosto de 2022 la sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán Azufral presentó un leve incremento en la ocurrencia con eventos asociados con fractura de material cortical (VT) con magnitudes locales menores de 2.2.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante agosto de 2022 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 5. CAMPO VOLCÁNICO MONOGENÉTICO GUAMUEZ – SIBUNDOY (PUTUMAYO) – AGOSTO DE 2022

### 5.1 Red de Vigilancia

En la Figura 97 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical de los volcanes monogenéticos ubicados en el departamento del Putumayo estos son: un acelerómetro (Danta) y una termocupla con el mismo nombre. Además, se encuentran 8 estaciones termales (Figura 97) y una estación de GPS instalada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En la Tabla 26 se consignan sus características.



**Figura 97.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en sismología, geofísica y fuentes termales en el campo volcánico monogenético Guamuez para el mes de agosto de 2022

**Tabla 26.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia del campo volcánico monogenético Guamuez ubicados en el Departamento del Putumayo para el mes de agosto de 2022

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a la Corota (Km)	Ubicación respecto a la Corota	Altitud (msnm)
Danta	Digital	Acelerómetro	Triaxial	19.7	NNE	2101
Danta	Digital	Termocupla	Unidireccional	19.7	NNE	2101

En general, la red de monitoreo telemétrico en el campo volcánico monogenético Guamuez en el Departamento del Putumayo, alcanzó un porcentaje promedio de operación del 100% para este mes (Figura 98).

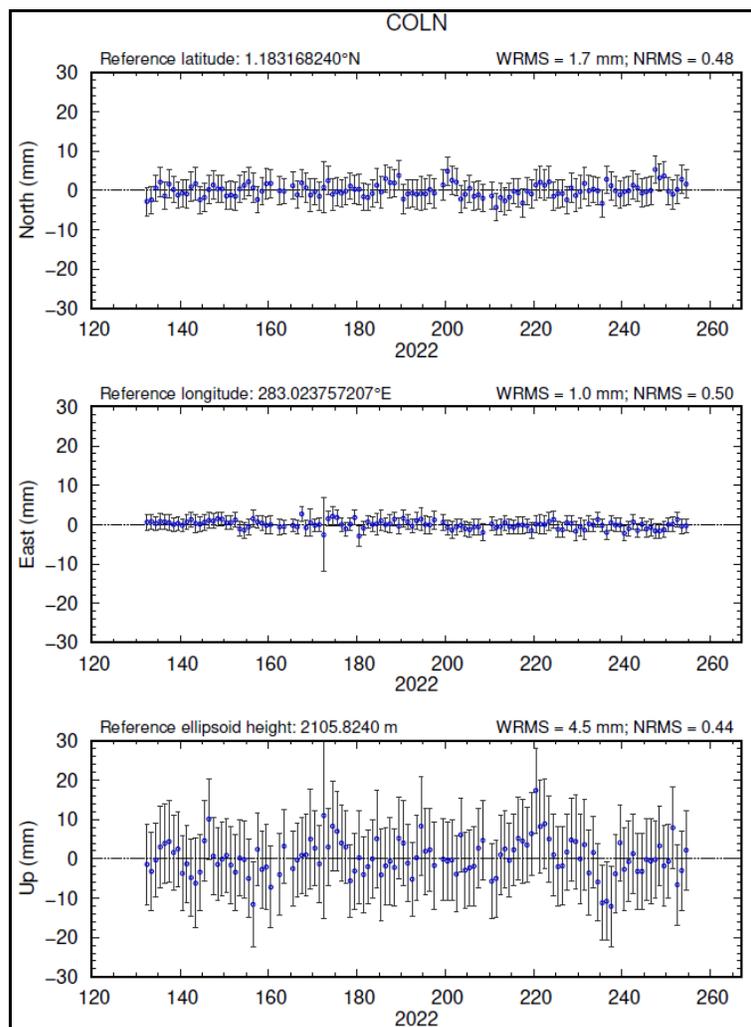


**Figura 98.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del campo volcánico monogenético Guamuez durante agosto de 2022

## 5.2 Estaciones GNSS Permanentes

En proximidades de la estación Danta y en esta zona volcánica por parte del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) se tiene instalada una estación GNSS Permanente en el Municipio de Colón, Departamento del Putumayo, estación materializada el 27 de abril de 2022.

Los datos de esta estación son de libre acceso, 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. Se observa estabilidad en las direcciones Norte, Este y Altura de esta estación (Figura 99).



**Figura 99.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Colón, instalada por el IGAC en el Municipio de Colón (Putumayo), para el periodo comprendido entre el 12 de mayo de 2022 y el 31 de agosto de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Servicio Geológico Colombiano – SGC (2022). 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 mayo, junio, julio y agosto de 2022. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.
- Información complementaria puede ser consultada en la página web del Servicio Geológico Colombiano en:

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

- Google Earth Engine. (2018). *Sentinel-5P Datasets in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google Developers*. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>
- Laverde, C. (2020). *Explorador TROPOMI Latinoamerica*. <https://claverde.users.earthengine.app/view/explorador-tropomi-latinoamerica#dataset=SO2;datatype=Near-real-time;center=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-77.87274494410033%2C0.9557638397447217%5D%7D;aoi=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-75.3%2C4.9%5D%7D;cloud=100;leftdate=2022-01-08;rightdate>
- <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-74.19790397936877,4.606824129536961,-74.05594002062873,4.715639657991442,4686&b=igac&u=0&t=25&servicio=8#>