



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

San Juan de Pasto, agosto de 2022



El futuro
es de todos

Minenergía

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 Timana

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – JULIO DE 2022	17
1.1 Red de Vigilancia	17
1.2 Sismología	24
1.3 Deformación	27
1.3.1 Inclínometría Electrónica	27
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	28
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM	30
1.3.4 D_InSAR	30
1.4 Electromagnetismo	30
1.5 Geoquímica	35
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	35
1.5.2 Pluviómetros	37
1.6 Actividad Superficial	37
1.7 Conclusiones	40
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – JULIO DE 2022	40
2.1 Red de Vigilancia	40
2.2 Sismología	43
2.3 Deformación	47
2.3.1 Inclínometría Electrónica	47
2.3.2 D_InSAR	48
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 ₂)	49
2.6 Actividad Superficial	50
2.7 Conclusiones	52
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - JULIO DE 2022	53
3.1 Ubicación Geográfica	53
3.2 Red de Vigilancia	53
3.3 Sismología	56
3.4 Deformación	62
3.4.1 Inclínometría Electrónica	62
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	64
3.4.3 D_InSAR	73

3.5	Electromagnetismo	73
3.6	Geoquímica	78
3.6.1	Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	78
3.6.2	Muestreo de aguas en fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	78
3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	81
3.7	Actividad Superficial	81
3.8	Conclusiones	81
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – JULIO DE 2022	82
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas	83
4.1.1	Red de Vigilancia	83
4.1.2	Sismología	85
4.1.3	Deformación	87
4.1.4	Geoquímica	94
4.1.5	Actividad Superficial	94
4.1.6	Conclusiones	94
4.2	Actividad del Volcán Azufral	95
4.2.1	Red de Vigilancia	95
4.2.2	Sismología	98
4.2.3	Deformación	100
4.2.4	Electromagnetismo	104
4.2.5	Geoquímica	108
4.2.6	Actividad Superficial	110
4.2.7	Conclusiones	112
5.	VOLCANES MONOGENÉTICOS DEL PUTUMAYO – JULIO DE 2022	112
5.1	Red de Vigilancia	112
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en julio de 2022	20
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 julio de 2022	20
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 julio de 2022	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en julio de 2022	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante junio y julio 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	24
Figura 6. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante junio y julio del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	25
Figura 7. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, julio 2022	26
Figura 8. Sismograma, espectro en frecuencia y espectrograma del evento TOR de julio del 2022 en la componente vertical de la estación Urcunina del volcán Galeras	26
Figura 9. Componentes de inclinación Este y Norte (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura	27
Figura 10. 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 julio de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	28
Figura 11. 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	29
Figura 12. 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 julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	29
Figura 13. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras	30

Figura 14. 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 abril a julio de 2022	32
Figura 15. 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 julio de 2022	33
Figura 16. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras	34
Figura 17. Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde) y DEF (roja) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)	34
Figura 18. 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)	35
Figura 19. 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)	36
Figura 20. 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)	37
Figura 21. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 3 de julio de 2022 a las 5:35 p.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 11 de julio de 2022 a las 8:56 a.m., (derecha)	38
Figura 22. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de julio de 2022 a las 8:58 a.m., (izquierda) y para el día 14 de julio de 2022 a las 6:00 p.m., (derecha)	38
Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 15 de julio de 2022 a las 5:37 p.m., (izquierda) y para el día 19 de julio de 2022 a las 2:14 p.m., (derecha)	39
Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 24 de julio de 2022 a las 6:39 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 25 de julio 2022 a las 6:03 a.m., (derecha)	39
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 28 de julio de 2022 a las 11:05 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 29 de julio 2022 a las 12:03 p.m., (derecha)	39
Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 30 de julio de 2022 a las 6:29 p.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 31 de julio 2022 a las 6:42 a.m., (derecha)	40

Figura 27. 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 julio de 2022	42
Figura 28. 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 julio de 2022	42
Figura 29. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en julio de 2022	43
Figura 30. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante junio y julio del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado	44
Figura 31. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante junio y julio del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	44
Figura 32. Sismos localizados en el CVC, julio 2022	45
Figura 33. Sismogramas, espectros y espectrogramas en frecuencia de 5 eventos TOR de julio del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC	46
Figura 34. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura	47
Figura 35. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal	48
Figura 36. Estimación cualitativa de SO_2 obtenido con la aplicación TROPOMI para los últimos 15 días de julio, 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
Figura 37. Estimación de SO_2 obtenida con la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desde agosto de 2018 hasta julio de 2022 y el número de eventos sísmicos desde enero de 2018 a julio de 2022	50
Figura 38. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja para el día 1 de julio de 2022 a las 6:10 a.m., (izquierda) y desde Boliche para el día 7 de julio de 2022 a las 7:06 a.m., (derecha)	51
Figura 39. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 14 de julio de 2022 a las 2:20 a.m., (izquierda) y desde Boliche para el día 15 de julio de 2022 a las 6:15 p.m., (derecha)	51
Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 16 de	

julio de 2022 a las 11:44 a.m., (izquierda) y para el día 24 de julio de 2022 a las 4:52 p.m., (derecha)	51
Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja para el día 28 de julio de 2022 a las 6:54 p.m., (izquierda) y desde Boliche para el 29 de julio de 2022 a las 8:21 a.m., (derecha)	52
Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 30 de julio de 2022 a las 3:41 p.m., (izquierda) y para el día 31 de julio de 2022 a las 10:16 a.m., (derecha)	52
Figura 43. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	53
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 julio de 2022	54
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 julio de 2022	56
Figura 46. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado	57
Figura 47. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado	57
Figura 48. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, julio del 2022	59
Figura 49. Izquierda, localizaciones de sismos VT con ML entre 2 y 2.9; derecha, localizaciones de sismos VT con ML entre 3.0 y 5.7, registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, julio del 2022	59
Figura 50. Izquierda, colapso de vivienda en Túquerres (Fuente: Facebook Ultima Hora Pasto); centro y derecha daños en edificaciones de la ciudad de Tulcán (Fuente: Metro Noticias Ecuador)	61
Figura 51. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 15 de octubre de 2021 y el 31 de julio de 2022	63
Figura 52. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2021 y el 31 de julio de 2022	63
Figura 53. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles.	

Derecha: para el periodo comprendido entre 1 de julio de 2019 y el 31 de julio de 2022. Izquierda: 1 de enero a 31 de julio de 2022	64
Figura 54. 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)	64
Figura 55. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022	66
Figura 56. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLS instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022	67
Figura 57. 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 29 de julio de 2022	68
Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLW instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022	69
Figura 59. 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, se toma COEC como estación de referencia por encontrarse fuera del edificio volcánico	70
Figura 60. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS en la zona volcánica, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	71
Figura 61. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS tomando como referencia la estación COEC ubicada fuera del edificio volcánico, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	72
Figura 62. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro	73
Figura 63. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVChCN: MOR (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre abril a julio de 2022	75
Figura 64. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVChCN: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para julio de 2022	76

Figura 65. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en la estación de monitoreo magnético de MOR del CVChCN y en la estación de referencia KOU	77
Figura 66. Variaciones del CMT-F, en las estaciones MOR (azul) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)	77
Figura 67. Mapa de localización de manantiales termales muestreados los días 28 al 31 de julio de 2022 perteneciente a la zona de influencia del volcán Chiles en el sector colombiano y ecuatoriano	78
Figura 68. Muestreo de aguas y gases en fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Chiles. A) toma de muestras de gases en fuente termal burbujeante: Lagunas Negras B), toma de muestras de gases en campo fumarólico Aguas Hediondas y C) medición de temperatura en campo termal El Hondón (sector ecuatoriano)	79
Figura 69. variación de la temperatura en las fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Chiles- sector colombiano	80
Figura 70. Fotografía aérea tomada con dron del campo termal el Hondón (Foto: M. Almeida/IG-EPN)	81
Figura 71. 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	83
Figura 72. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de julio de 2022	85
Figura 73. 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 julio de 2022	85
Figura 74. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante junio y julio del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado	86
Figura 75. Energía diaria liberada de sismos volcánicos por tipo, registrados durante junio y julio del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado	87
Figura 76. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) de los inclinómetros electrónicos Petroglifo y Altamira, instalados en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022	88
Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura	89
Figura 78. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) 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 julio de 2022	89
Figura 79. 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 30 de julio de 2022	90
Figura 80. 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 30 de julio de 2022	91
Figura 81. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana – 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	92
Figura 82. 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 julio de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	93
Figura 83. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas	94
Figura 84. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de julio de 2022	96
Figura 85. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de julio de 2022	96
Figura 86. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante julio de 2022	97
Figura 87. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado	98
Figura 88. Energía diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado	99
Figura 89. Localizaciones de sismos VT en Azufral, julio del 2022	100
Figura 90. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de julio de 2022	101
Figura 91. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna y Roca instaladas en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 30 de julio de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	102

Figura 92. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufra, 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	103
Figura 93. 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 julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	103
Figura 94. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del volcán Azufra	104
Figura 95. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azufra: LOB (naranja), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre abril a julio de 2022	106
Figura 96. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azufra: LOB (naranja) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para julio de 2022	107
Figura 97. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en la estación de monitoreo magnético LOB, del volcán Azufra y en la estación de referencia KOU	108
Figura 98. Variaciones del CMT-F, en las estaciones LOB (naranja) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)	108
Figura 99. Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	109
Figura 100. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufra. Abril – julio de 2022 (región sombreada: Julio)	110
Figura 101. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas para el 1 de julio de 2022 a las 7:40 a.m., (izquierda) y para el 15 de julio de 2022 a las 7:35 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	111
Figura 102. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas para el 23 de julio de 2022 a las 4:40 p.m., (izquierda) y para el 24 de julio de 2022 a las 3:10 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	111
Figura 103. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en sismología, geofísica y fuentes termales en el Putumayo para el mes de julio de 2022	113
Figura 104. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes monogenéticos durante julio de 2022	114

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de julio de 2022	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en julio de 2022	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en julio de 2022	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en julio de 2022	22
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	23
Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	23
Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, junio y julio 2022	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, junio y julio 2022	25
Tabla 9. Sismos con ML de 1.4 y 2.1, volcán Galeras, julio 2022	25
Tabla 10. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Lavas - Volcán Galeras Junio - Julio de 2022	35
Tabla 11. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Lirios - junio - julio de 2022	36
Tabla 12. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Parques -junio - Julio de 2022	37
Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en julio de 2022	41
Tabla 14. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, junio y julio del 2022	43
Tabla 15. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, junio y julio del 2022	44
Tabla 16. Sismos con ML entre 1.6 y 1.8 en el CVC, julio 2022	45
Tabla 17. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	54
Tabla 18 Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro	55
Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio del 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	56
Tabla 20 . Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022	58
Tabla 21. Sismos VT con ML mayor o igual a 3.0, Chiles - Cerro Negro, julio del 2022	60
Tabla 22. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en julio de 2022	84

Tabla 23. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	86
Tabla 24. Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio del 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	86
Tabla 25. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de julio de 2022	97
Tabla 26. Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, junio y julio del 2022	98
Tabla 27. Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, junio y julio del 2022	98
Tabla 28. Sismos con ML entre 1.5 y 2.1, volcán Azufral, julio 2022	99
Tabla 29. Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral junio - julio de 2022	109
Tabla 30. Datos parámetros estación climatológica La Roca – Julio de 2022	110
Tabla 31. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de los volcanes monogenéticos ubicados en el Departamento del Putumayo para el mes de julio de 2022	113

RESUMEN

Para el mes de julio y en comparación con el periodo anterior, para Galeras se presentó descenso en la ocurrencia sísmica, pasando de 153 a 96 eventos, 89 de ellos asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 29 de julio, con 9 eventos de tipo VT. De igual forma, para el mes de julio, la energía liberada por la sismicidad disminuyó 30% del valor registrado en junio, pasando de 2.20×10^{13} ergios a 1.54×10^{13} ergios. La mayoría de los eventos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias entre 0.5 y 19 km, con profundidades entre 1 y 14 km, con ML máxima de 2.1 Richter, evento registrado el 29 de julio, a las 5:23 a.m.

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico de Cumbal disminuyó en un 41% en comparación con el mes de junio de 2022. Con un total para este periodo de 1491 eventos, donde el 90% está asociado con fractura al interior del volcán, seguida por la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con el 7% del total. El pico de ocurrencia se registró el primero de julio con 103 eventos. La mayoría de la sismicidad se localiza en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, La Plazuela y Mundo Nuevo, siguiendo un alineamiento SE a NW paralelo a un trazo de falla; en distancias entre 0 y 10 km. La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 4 eventos VT con ML entre 1.6 y 1.8 Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en julio mostró incrementó, cercano al 26% lo reportado en el mes de junio de 2022, pasando de 52109 a 65825 eventos, esto debido a un enjambre sísmico de eventos VT que comenzó el 27 de mayo y que se encuentra en curso a julio 31. Los eventos VT con 64707 sismos representan el 98 % del total, seguido por los eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos con 984 sismos. Para el periodo evaluado, el pico de ocurrencia sísmica se presentó el 22 de julio, con 4241 eventos. El total de sismos de fractura registrado entre el 27 de mayo y el 31 de julio, durante el desarrollo del enjambre sísmico es de 120487. De igual forma se observó incremento en la energía liberada de 3 veces el valor reportado en junio de 2022. La gran mayoría de los sismos se ubicaron en dos fuentes, la primera en el cuadrante sur suroccidental del volcán Chiles, en distancias entre cero y 6 km, con profundidades menores de 6 km y ML máxima de 3.5 Richter; la segunda fuente se ubicó hacia el sur suroriente del volcán Chiles, en distancias entre 4 y 18 km, con profundidades entre 6 y 14 km, con respecto a la cima de Chiles y ML máxima de 5.7 Richter. La gran mayoría de eventos son de baja energía, destacándose el registro de 164 eventos que alcanzaron una magnitud local entre 2.0 y 5.7 en la escala de Richter, 19 de ellos con ML entre 3 y 5.7, los cuales se reportaron como sentidos en la zona de influencia volcánica en Ecuador y Colombia (Tufiño y Resguardos de Chiles, Panán,

Cumbal y Mayasquer). El sismo más energético del mes ocurrió el julio 25, a las 08:33 hora local (08:33 am), se ubicó a 15 km al suroriente de la cima de Chiles, con profundidad de 7 km y magnitud local de 5.7 Richter; se reportó sentido en los municipios de Cumbal, Guachucal, Túquerres, Ipiales y Pasto en Colombia y en las poblaciones de Tulcán, Maldonado, El Ángel, San Gabriel, Montúfar, Espejo y Tufiño en Ecuador, causó daños en construcciones tanto en Colombia como en Ecuador.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas para julio, mostraron niveles bajos en el número de sismos con un total de 3 eventos asociados con fractura de roca, fue posible localizar el evento ocurrido el día 16 de julio a las 09:05 hora local (09:05 am), a 5 km al sur suroccidente de la cima de Las Ánimas, con profundidad de 2 km con respecto a su cima (4300 m) y con magnitud local de 0.5 Richter.

En julio de 2022, la sismicidad del volcán Azufral disminuyó su ocurrencia pasando de 77 a 25 sismos, en su totalidad asociados con fractura de roca, el pico de ocurrencia sísmica se registró el primero de julio con 4 eventos de tipo VT. La mayoría de los sismos se localizaron de forma dispersa, se destaca que 4 eventos se agrupan hacia el sur suroccidente, en distancias promedio a 7 km. Los sismos localizados son de baja energía, en julio se destacan 3 eventos VT con ML entre 1.5 y 2.1 Richter. El sismo más energético del mes se registró el 4 de julio, a las 10:58 hora local (10:58 am), a 7 km al sur suroccidente del domo Mallama, con profundidad de 13 km con respecto a la cima (4200 m).

INTRODUCCIÓN

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

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – JULIO DE 2022

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de julio 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 (SO₂) (Figura 3, Tabla 4).
- Un sensor de CO₂ - 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 92 % (Figura 4).

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

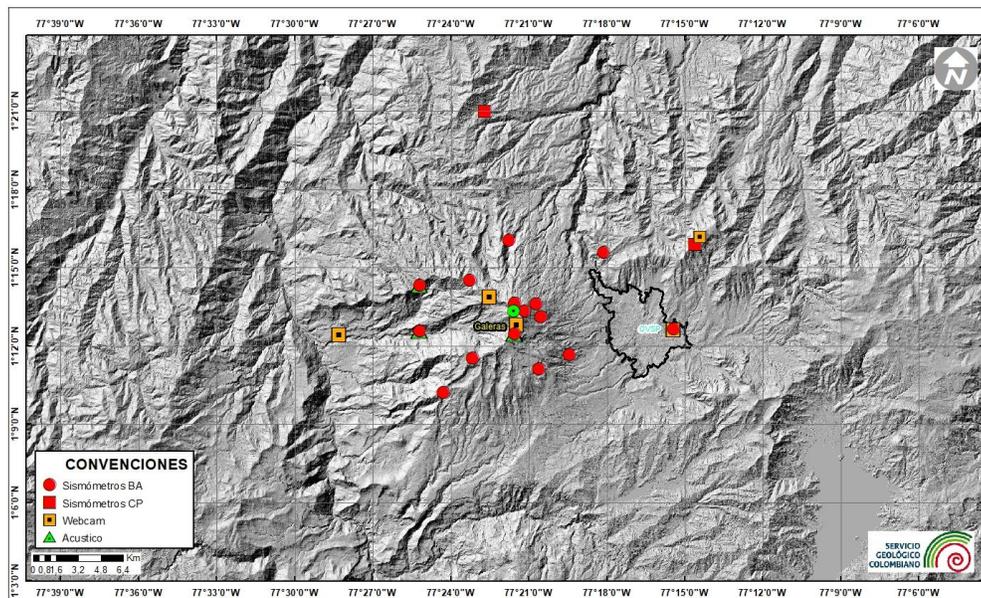


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en julio de 2022

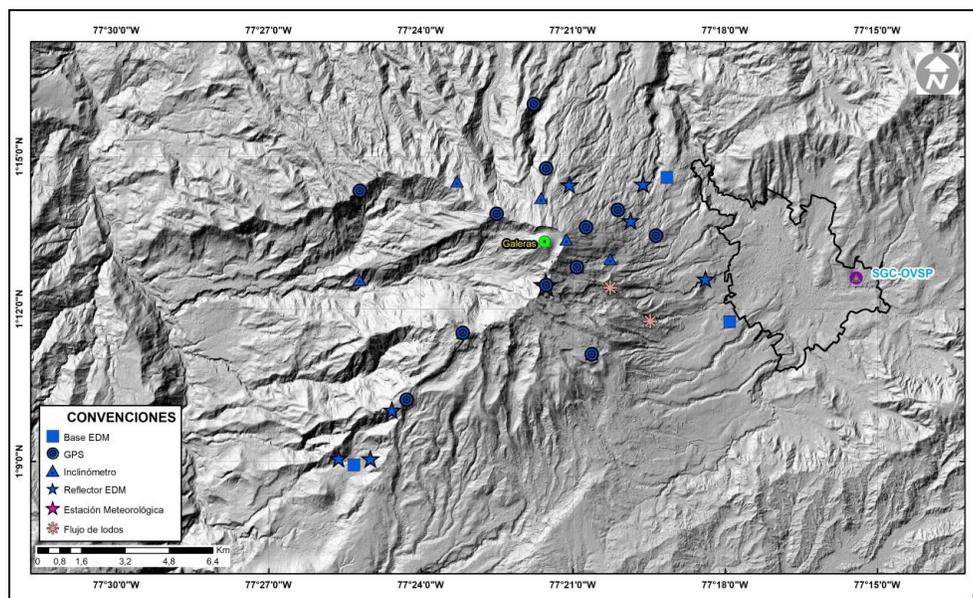


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en julio de 2022

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

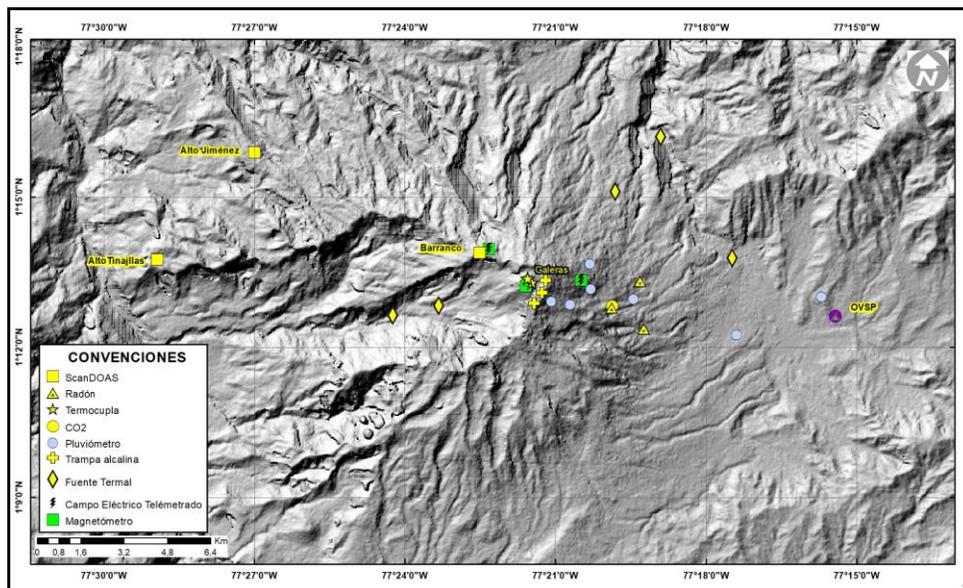


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en julio de 2022

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

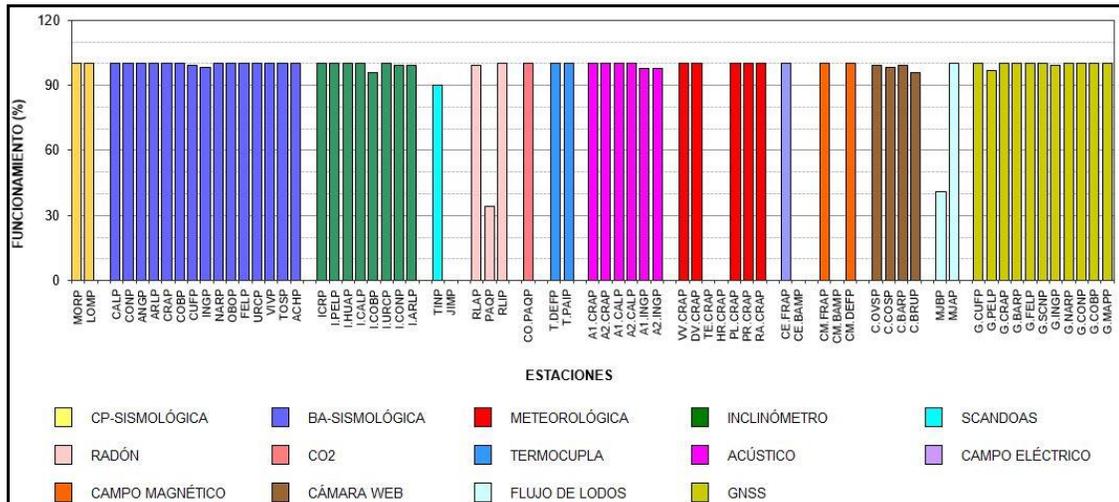


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras en julio de 2022

1.2 Sismología

En julio 2022, la ocurrencia sísmica disminuyó un 37% en comparación con junio, pasando de 153 a 96 eventos, 89 de ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), que representan el 93%, 5 asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LPS), que representan el 5% y 2 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente sostenida (TRE) que representan el 2% restante. El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 29 de julio, con 9 eventos de tipo VT (Tabla 7, Figura 5).

Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, junio y julio 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	145	7	1	0	153
Julio 2022	89	5	2	0	96

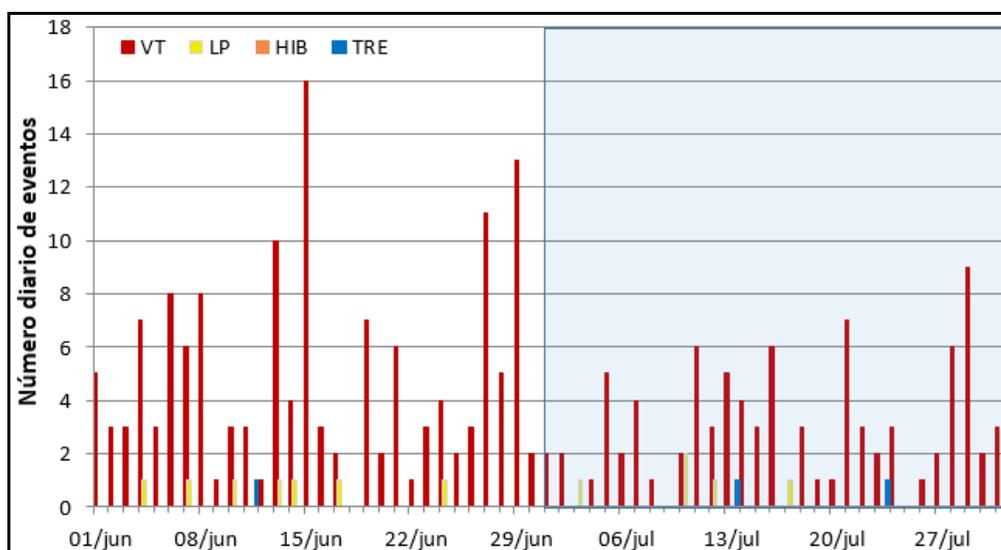


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante junio y julio 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

La energía liberada por la sismicidad disminuyó 30%, pasando de 2.20×10^{13} ergios a 1.54×10^{13} ergios. El mayor aporte energético provino de los eventos asociados con fractura de roca VT, con 1.50×10^{13} ergios que corresponden al 97%, seguida de los eventos de tipo LP con 4.06×10^{11} ergios, que corresponde al 3%, la energía del tremor con 2.41×10^{10} ergios, es muy baja en comparación con los otros tipos de eventos (Tabla 8 y Figura 6). El pico de energía se registró el 29 de julio con 1.01×10^{13} ergios, debida a 9 eventos de tipo VT.

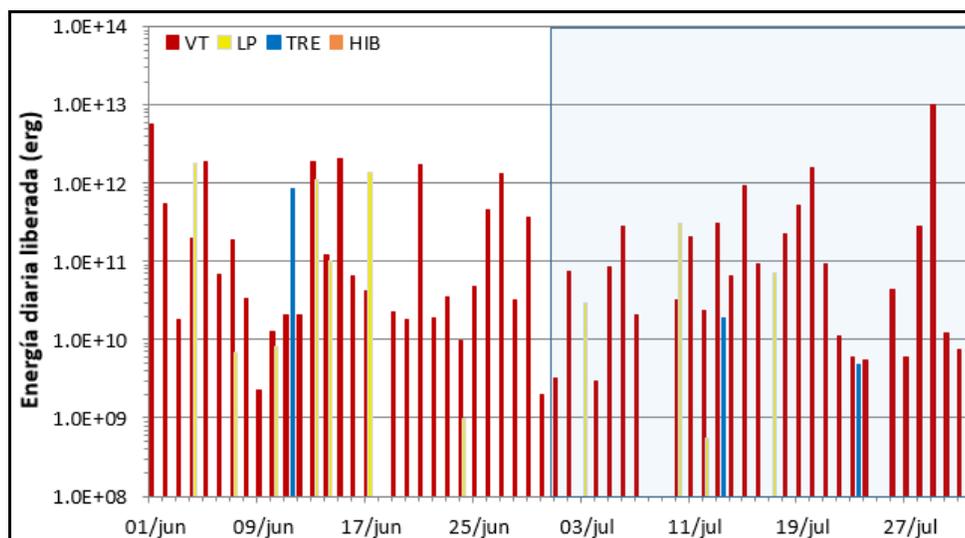


Figura 6. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante junio y julio del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, junio y julio 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Jun 2022	1.68E+13	4.38E+12	8.59E+11	0.00E+00	2.20E+13
Jul 2022	1.50E+13	4.06E+11	2.41E+10	0.00E+00	1.54E+13

Se localizaron 42 sismos VT, que se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en distancias entre 0.5 y 19 km, con profundidades entre 1 y 14 km con respecto a su cima (4200 m) y magnitud local máxima de 2.1 Richter (Figura 7). El evento de mayor energía se registró el 29 de julio a las 05:23 hora local (05:23 am), se ubicó a 10 km al noreste del cono activo de Galeras, con profundidad de 5 km y magnitud local de 2.1 Richter, no se reportó sentido (Figura 7). La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan los dos eventos VT de mayor energía con ML de 1.4 y 2.1 Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características.

Tabla 9. Sismos con ML de 1.4 y 2.1, volcán Galeras, julio 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
15/07/2022	12:53:27	1.2472	-77.3063	7	1.4
29/07/2022	05:23:51	1.2800	-77.2860	5	2.1

En la Figura 8 se muestran el sismograma, el espectro en frecuencia y el espectrograma de un evento de baja energía, asociado con tránsito de fluidos de fuente transitoria,

con características de Tornillo, registrado el 3 de julio a las 15:45 hora local (3:45 pm); el espectro en frecuencia en la componente vertical de la estación Urcunina, presenta un pico dominante en 1.9 Hz y otros picos en 3.3 Hz, 4.3 Hz, 6.3 Hz y 8.5 Hz (Figura 8). Las características de estos eventos indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados con el sistema hidrotermal del volcán Galeras.

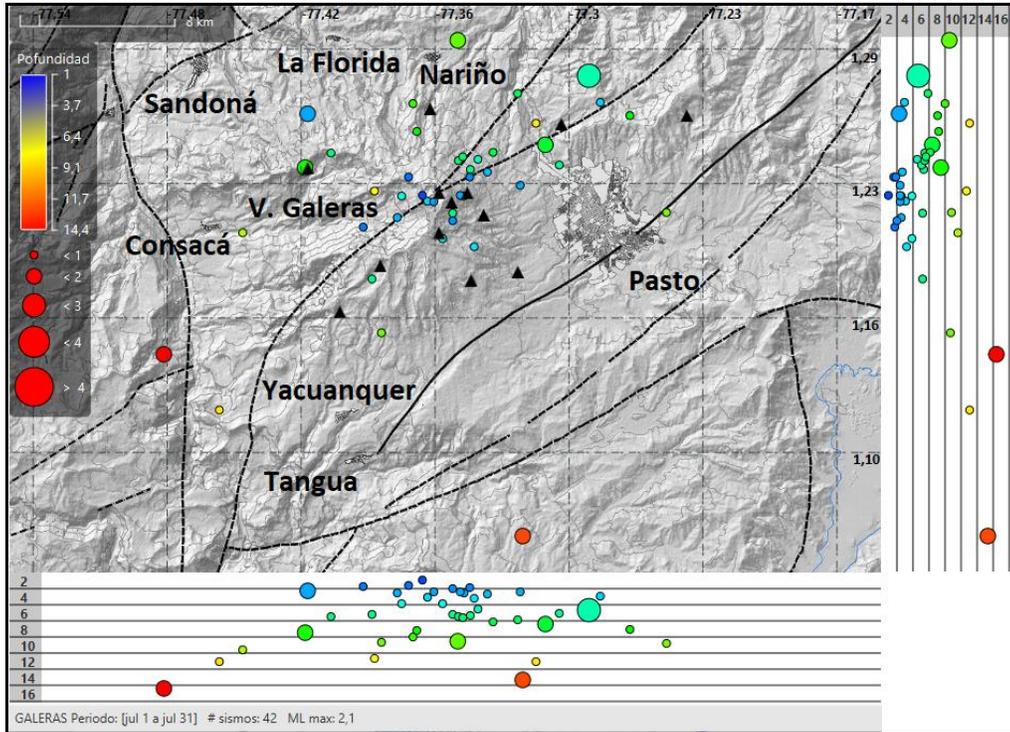


Figura 7. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, julio 2022

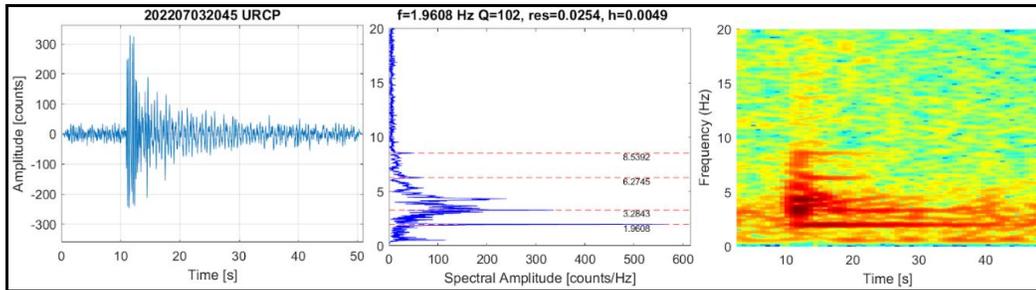


Figura 8. Sismograma, espectro en frecuencia y espectrograma del evento TOR de julio del 2022 en la componente vertical de la estación Urcunina del volcán Galeras

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 los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Cobanegra, Arlés y Cóndor, muestran tendencias estables, con variaciones que pueden estar asociadas con las variaciones de temperatura ambiente, en la Figura 9 se indica el comportamiento de las componentes Norte y Este de la estación Cobanegra una vez filtrada la temperatura. En el inclinómetro Huairatola entre marzo y mayo de 2022, se observó un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación, acumulando cerca de 30 μrad en la componente Tangencial y 35 μrad en la Radial (Figura 11). Las componentes Este de los inclinómetros Calabozo y Urcunina tienen comportamientos que no son adecuados por lo que pueden estar asociados con daños en el sensor.

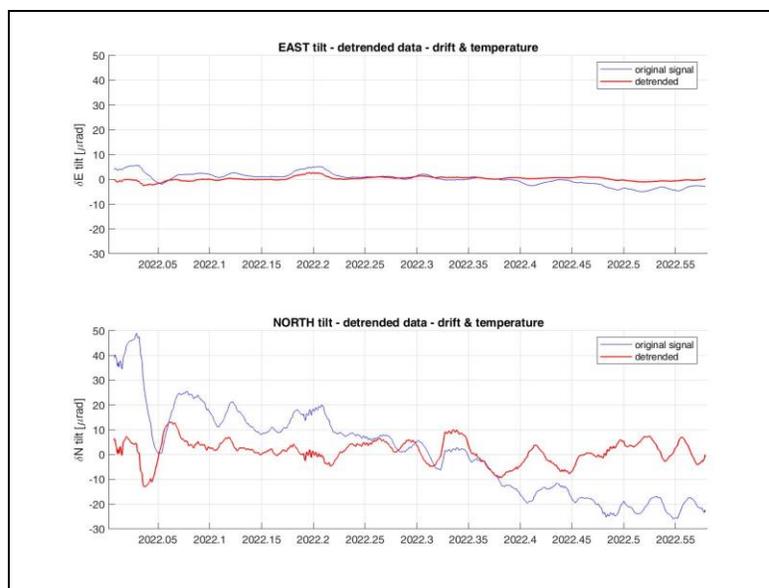


Figura 9. Componentes de inclinación Este y Norte (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura

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, Cándor 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 11, a manera de ejemplo, se presenta el comportamiento de las estaciones GNSS de Cobanegra y Cráter.

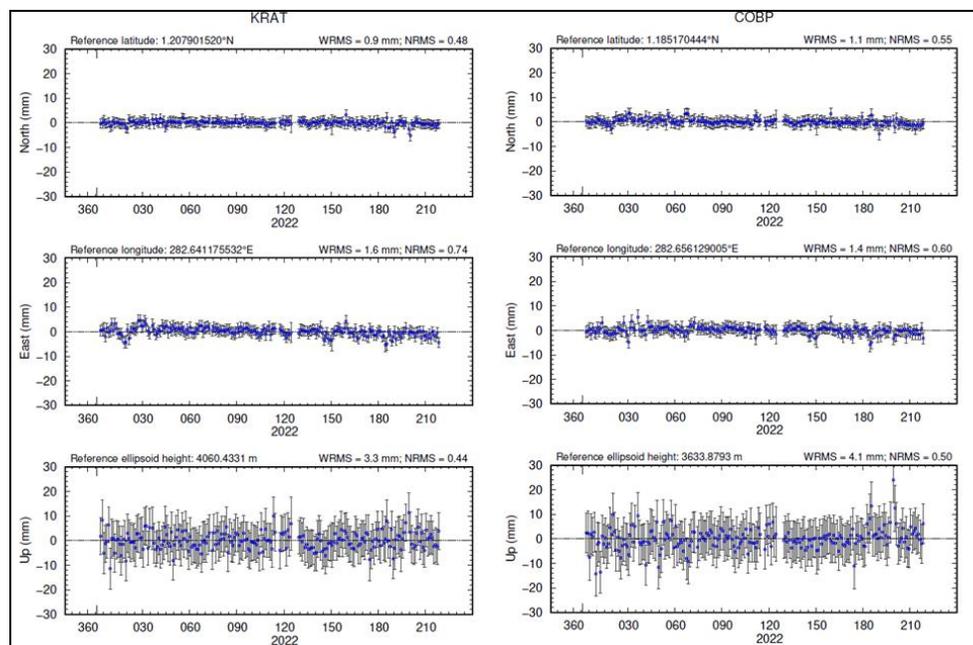


Figura 10. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

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 11, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 12, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

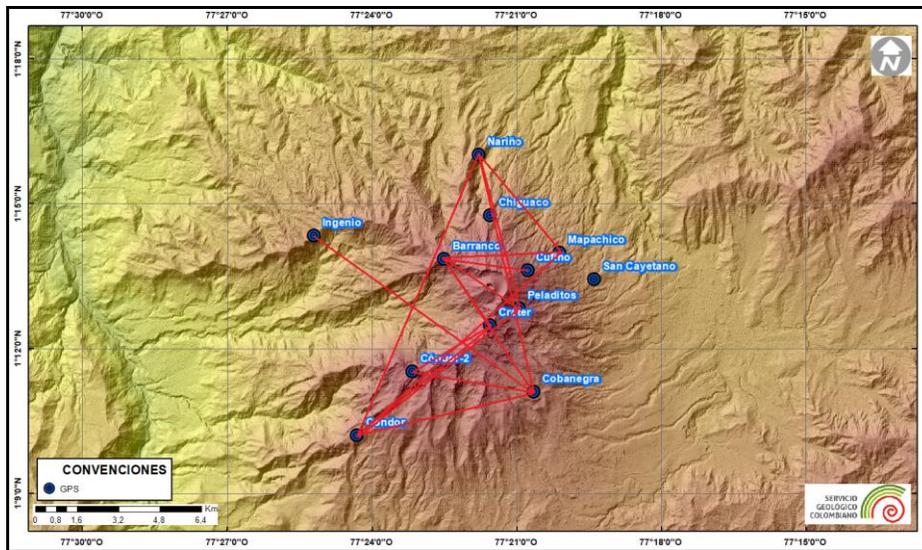


Figura 11. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

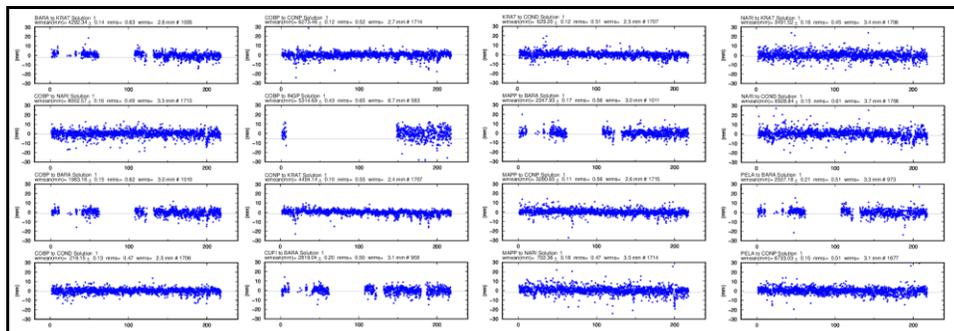


Figura 12. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

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 13, 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.

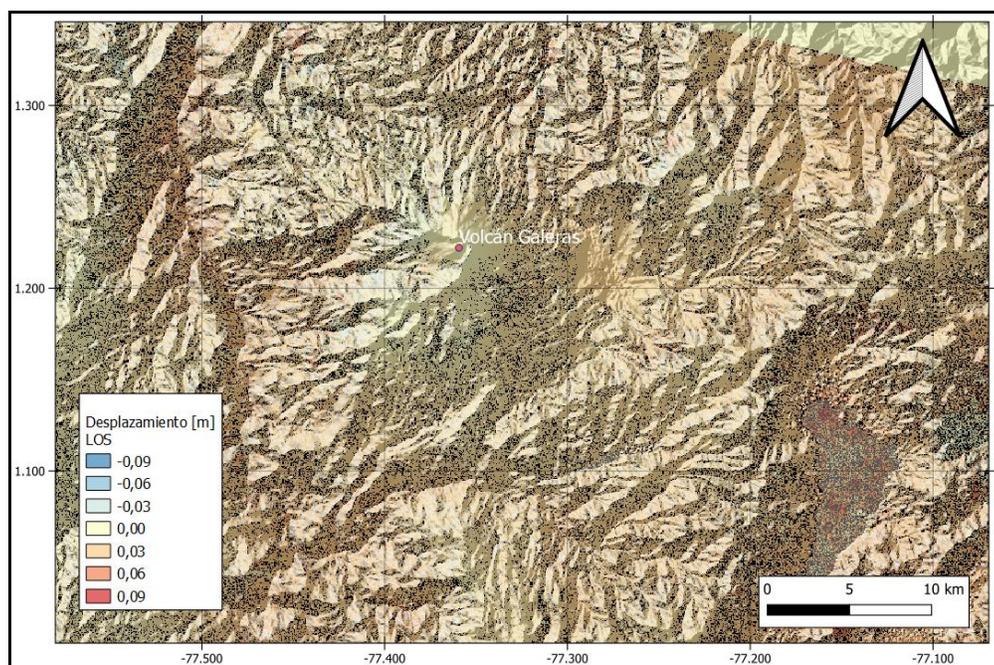


Figura 13. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras

1.4 Electromagnetismo

En julio 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) y Deformes (DEF). 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 14), 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, asociadas 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 abril y julio 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 entre el 14 y 15 de abril, con $Kp=6$; entre el 27 y el 29 de mayo, con $Kp=5$; en la primera mitad de julio de 2022, con $Kp=5$ y entre el 18 y 23 de julio de 2022, con $Kp=6$. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos tanto en amplitud como en frecuencia (Figura 14).

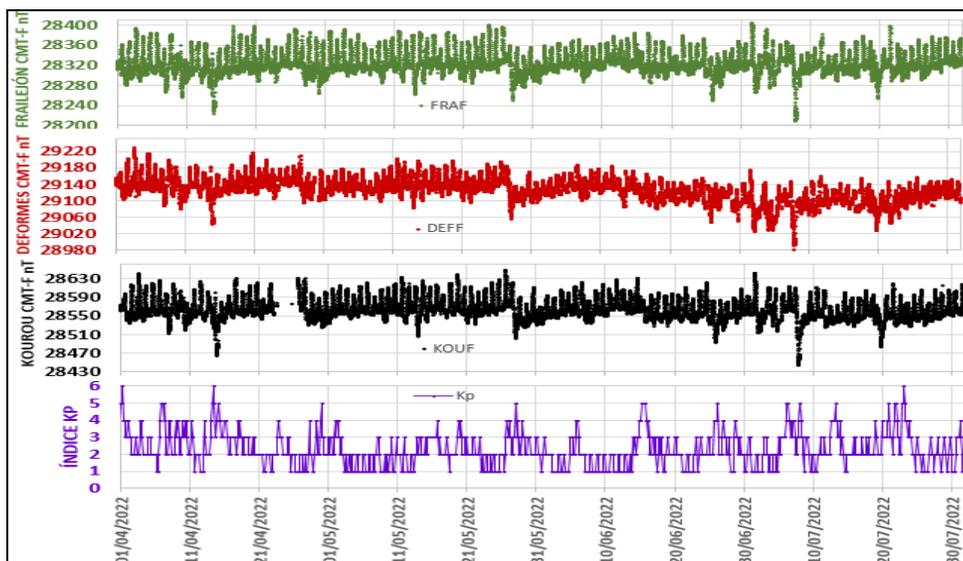


Figura 14. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre abril a julio de 2022

Entre abril y julio 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 28.310 nT, y variación diaria de alrededor de 70 nT. DEF, inicialmente tuvo un comportamiento estable, pero posterior al 26 de mayo de 2022 registró un comportamiento anómalo, casi oscilante, hasta finales de julio de 2022. En DEF el CMT-F promedio fue de alrededor de 29.125 nT, y variación diaria de alrededor de 70 nT. La estación de referencia KOU tuvo un CMT-F promedio de alrededor de 28.570 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 14). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 4 (Figura 15) se identifican variaciones en las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia (Figura 14), y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior. Se resalta la tormenta de finales de mayo (27 y 28 de mayo 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 14).

En julio de 2022, el comportamiento de las series de las estaciones FRA, DEF y KOU mostraron las mayores variaciones entre el 7 y 8 de julio; y entre el 19 y 21 de julio de 2022, fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas de índice Kp de 5 y de 6, respectivamente (Figura 15). La tormenta geomagnética ocurrida entre el 7 y 8 de julio de 2022 generó una perturbación de los registros magnéticos de alrededor de 20 horas y un pulso de amplitud promedio en las estaciones de 160 nT, incluyendo la estación de

referencia KOU. El segundo pulso más relevante de las tormentas geomagnéticas se inició el 18 de julio, de 2022, cuando el valor fue incrementando de índice $K_p=3$ a $K_p=4$, que se mantuvo hasta el 21 de julio, cuando cambió a índice $K_p=5$ y el 23 de julio llegó a un valor máximo de $K_p=6$; cayendo posteriormente a $K_p=3$. Esta segunda tormenta del mes afectó los registros de todas las estaciones de monitoreo magnético, mostrando los mayores efectos de afectación en frecuencia, para el 19 de julio de 2022 y la máxima amplitud de perturbación el 21 de julio, con un máximo promedio de 80 nT. El 23 de julio, que es cuando el índice K_p llega a su máximo valor de 6, 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 15).

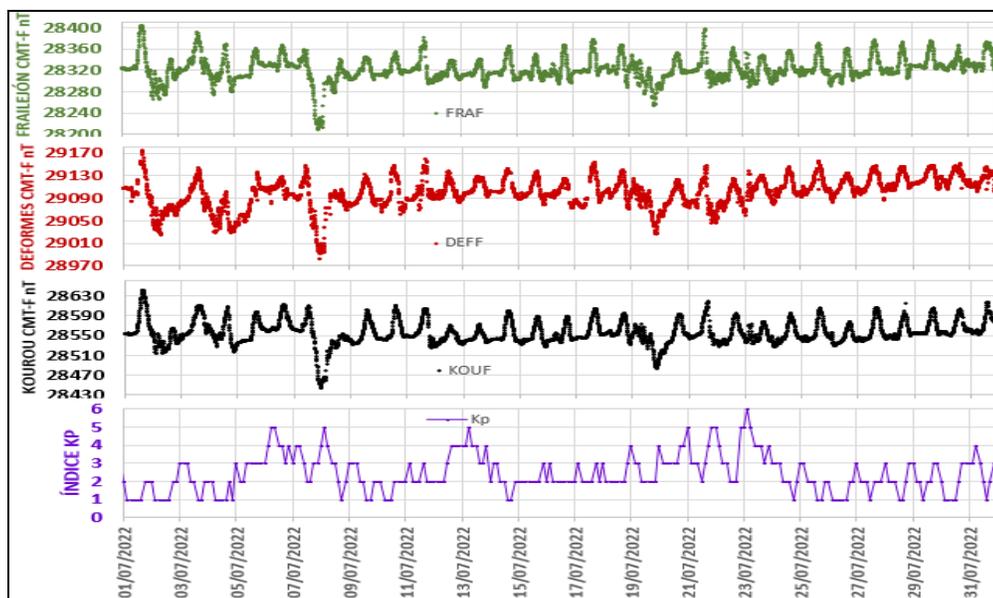


Figura 15. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice K_p (magenta); para julio de 2022

En julio de 2022, el valor del CMT-F en FRA fue de alrededor de 28.315 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 55 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 15).

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 geomagnético, 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 16).

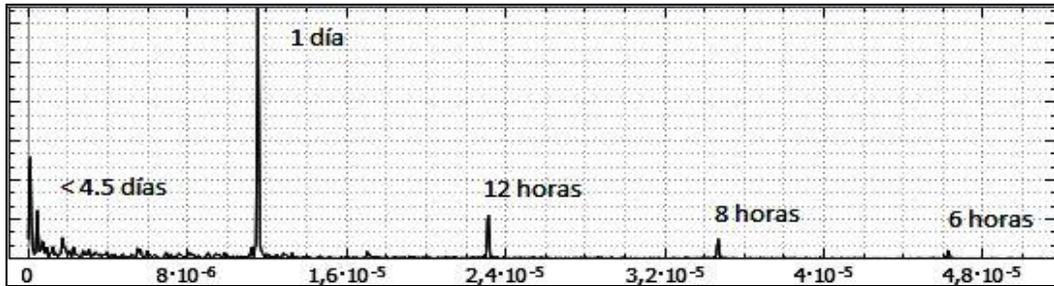


Figura 16. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras

Corrigiendo los registros magnéticos de cada estación, para remover las variaciones seculares y poner los valores en términos de variación del CMT-F; así como también para remover el campo teórico; se obtuvieron series temporales más limpias que permiten identificar las variaciones locales del CMT-F. Aún cuando, en algunos casos, no es posible remover totalmente los efectos de las tormentas geomagnéticas externas; sin embargo, se puede identificar que las variaciones locales, cuando las condiciones de clima espacial no muestran perturbaciones grandes, presentan variaciones bajas del CMT-F, como en el caso de FRA, que tiene variaciones diarias promedio menores a 15 nT y DEF que tiene variaciones diarias promedio menores de 10 nT, evidenciando desde esta área del monitoreo volcánico estabilidad en los registros (Figura 17).

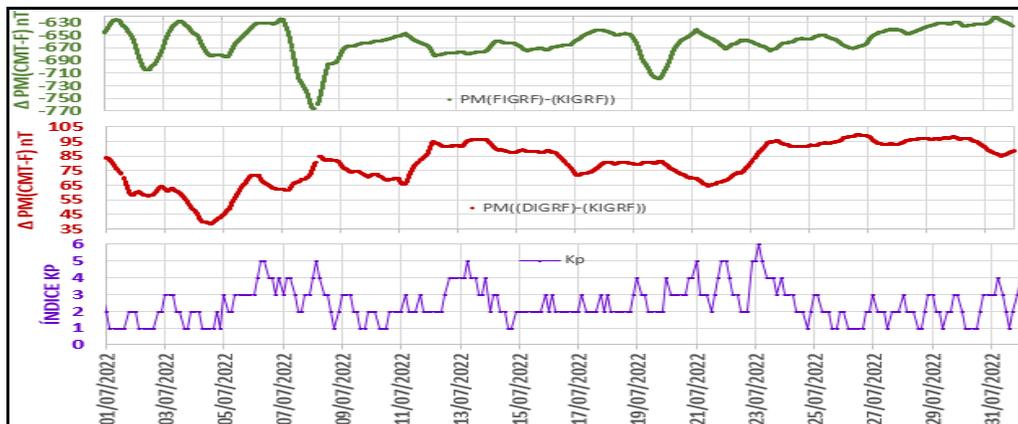


Figura 17. Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde) y DEF (roja) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

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

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

En la Figura 18 y Tabla 10 se presenta la información correspondiente a la estación Lavas, a pesar de la dispersión que se registra, con el promedio móvil representado por la línea de color negro es posible evidenciar estabilidad en el registro.

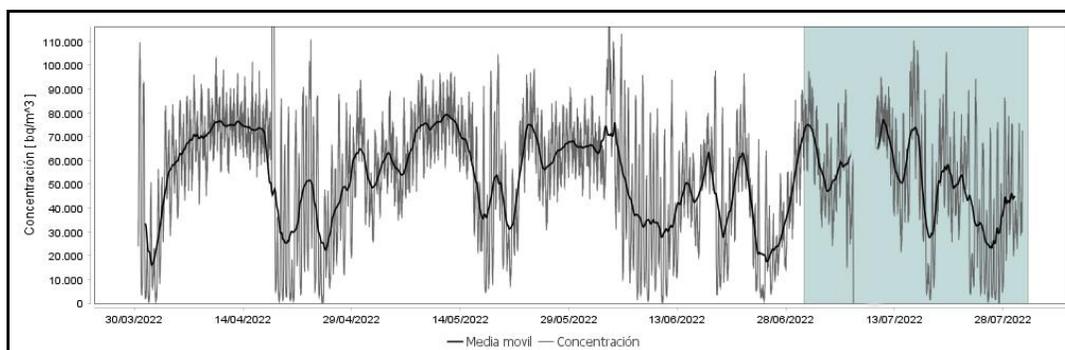


Figura 18. Concentración radón difuso en suelo- estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 10. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³ - estación Lavas - Volcán Galeras Junio - Julio de 2022

Valor	Junio	Julio
Mínimo	1041	25569
Promedio	51148	43891
Máximo	109983	60719

En la Figura 19 y Tabla 11, se presenta la información correspondiente a la estación Lirios, la media móvil, representada en la línea de coloración negra, en general permite evidenciar estabilidad en los valores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

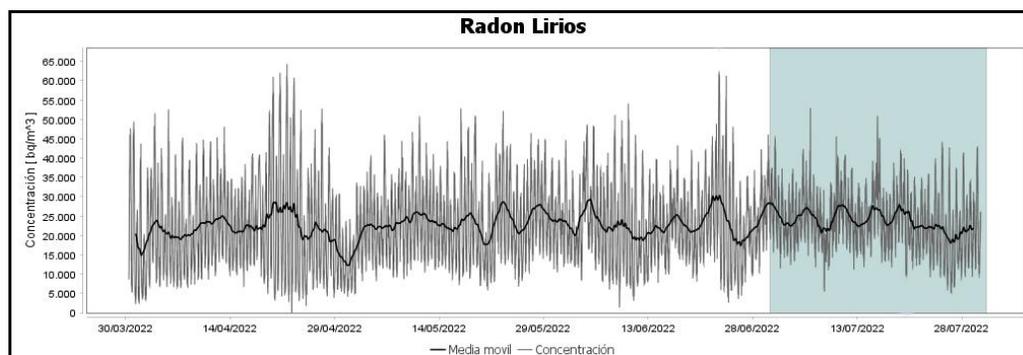


Figura 19. Concentración radón difuso en suelo - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 11. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³- estación Lirios - junio - julio de 2022

Valor	Junio	Julio
Mínimo	2730.9	5342.0
Promedio	23007.7	23648.7
Máximo	67358.1	48862.0

La Figura 20 y Tabla 12, muestra la información correspondiente a la estación Parques, desde abril del presente año se observa una tendencia levemente ascendente, este comportamiento se ha observado en otros periodos sin estar relacionados con actividad del volcán Galeras, sino más bien con factores ambientales.

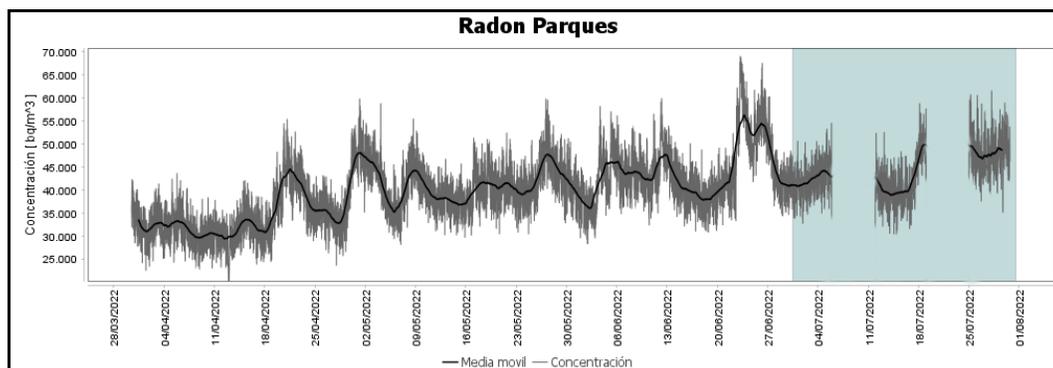


Figura 20. Concentración radón difuso en suelo- estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 12. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³- estación Parques -junio - Julio de 2022

Valor	Junio	Julio
Mínimo	28229	25569
Promedio	43837	43891
Máximo	68509	60719

1.5.1.2 Estación Térmica Deformes

No se realizó en este periodo ninguna actividad.

1.5.1.3 Muestreo de aguas en fuentes Termales

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

1.5.2 Pluviómetros

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

1.6 Actividad Superficial

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

Durante los días 3, 11, 14, 15, 19, 24, 25, 28, 29 y 31 de julio del 2022, se observó emisión de gases principalmente a través de las cámaras web ubicadas en 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 21 a 26 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 21. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 3 de julio de 2022 a las 5:35 p.m., (izquierda) y desde Barranco para el día 11 de julio de 2022 a las 8:56 a.m., (derecha)



Figura 22. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de julio de 2022 a las 8:58 a.m., (izquierda) y para el día 14 de julio de 2022 a las 6:00 p.m., (derecha)



Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 15 de julio de 2022 a las 5:37 p.m., (izquierda) y para el día 19 de julio de 2022 a las 2:14 p.m., (derecha)



Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 24 de julio de 2022 a las 6:39 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 25 de julio 2022 a las 6:03 a.m., (derecha)



Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 28 de julio de 2022 a las 11:05 a.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 29 de julio 2022 a las 12:03 p.m., (derecha)



Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 30 de julio de 2022 a las 6:29 p.m., (izquierda) y desde Bruma para el día 31 de julio 2022 a las 6:42 a.m., (derecha)

1.7 Conclusiones

- El gas radón emitido y registrado en julio de 2022 se encuentra dentro de las líneas base registradas para las tres estaciones instaladas en zona de influencia del volcán Galeras.
- En julio del 2022 en el volcán Galeras se registró disminución en la ocurrencia y en la energía de los sismos, la mayoría de ellos asociados con fractura de material cortical, con ML máxima de 2.1 Richter, sin reportes de sismo sentido.

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

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – JULIO DE 2022

2.1 Red de Vigilancia

En julio 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 27, Tabla 13).
- Un sensor de presión acústica ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 27).

- 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 27).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 28, Tabla 13).

Para el periodo evaluado las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 91 % (Figura 29).

Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en julio 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
Limonos	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
Limonos	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

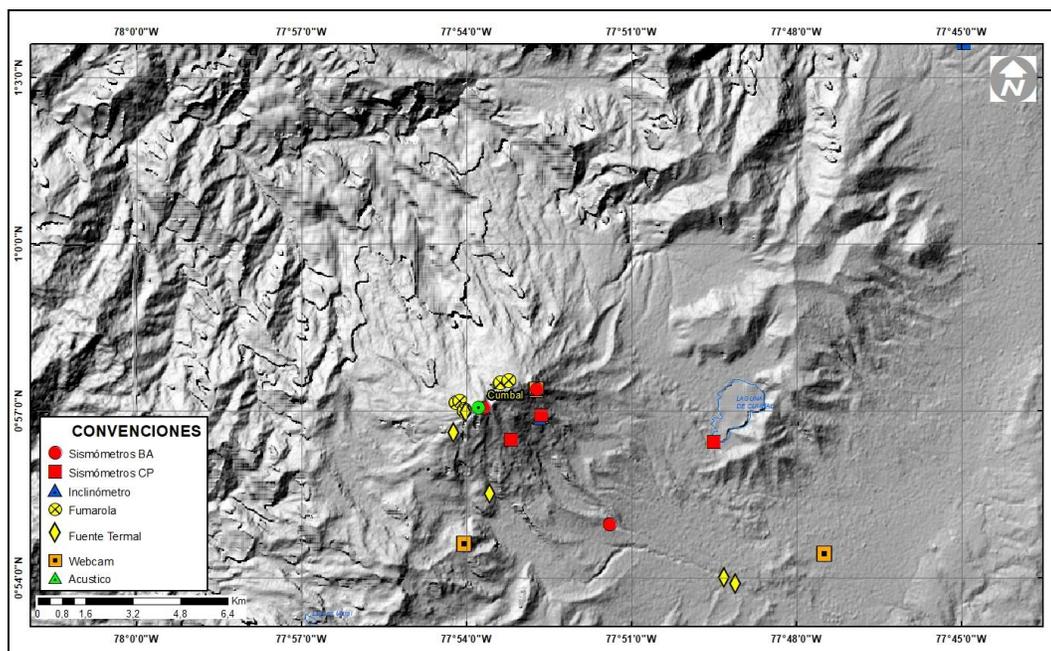


Figura 27. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de julio de 2022

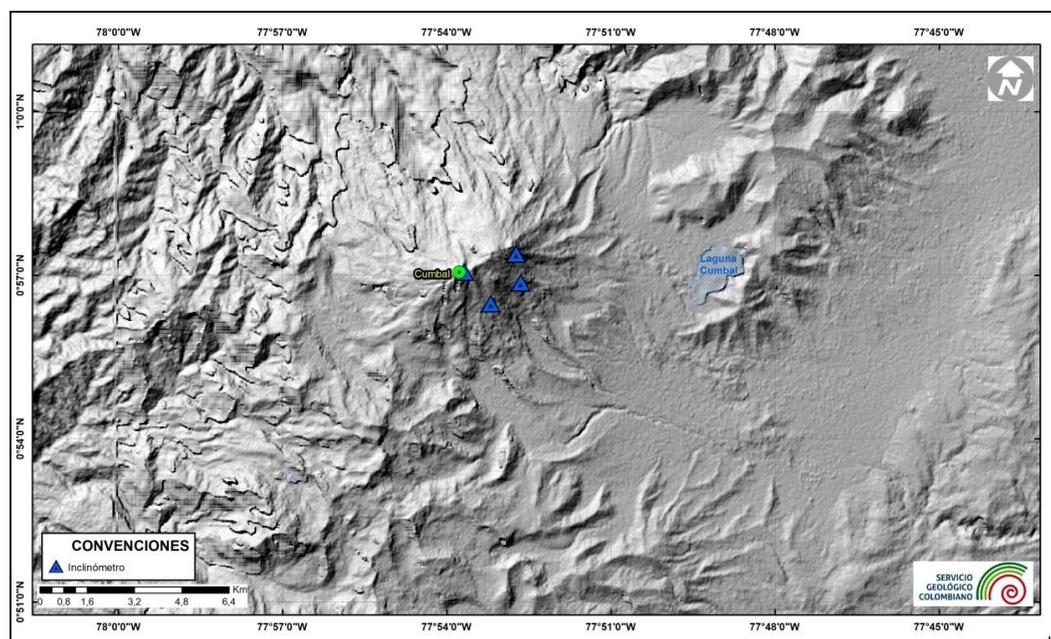


Figura 28. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de julio de 2022

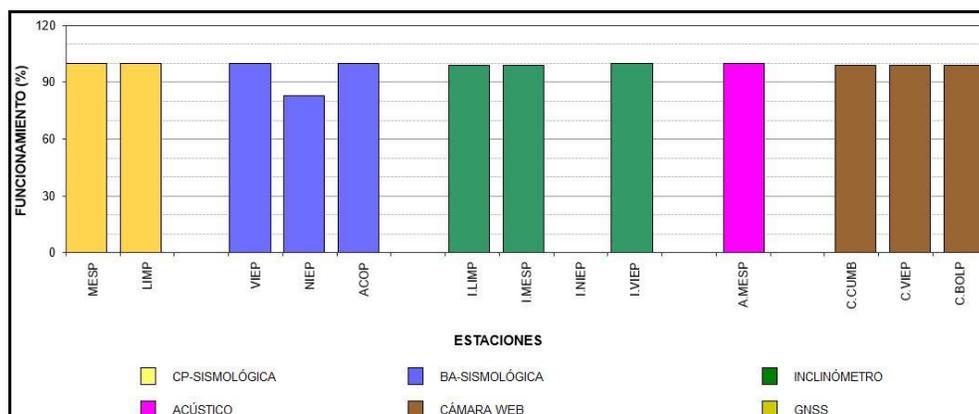


Figura 29. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en julio de 2022

2.2 Sismología

La ocurrencia sísmica en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), disminuyó 41% en julio del 2022, pasando de 2542 a 1491 eventos, con respecto al mes anterior. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca de material cortical (VT) con 1342 eventos, que equivalen al 90% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LP) con 102 eventos, que representan el 7%, seguida de 28 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 2% y finalmente 19 episodios de tremor (TRE), equivalentes al 1% (Tabla 14, Figura 30). El pico de ocurrencia se registró el primero de julio, con 103, la mayoría de tipo VT.

Tabla 14. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, junio y julio del 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	2259	219	22	42	2542
Julio 2022	1342	102	19	28	1491

La energía sísmica liberada disminuyó 48% su valor, pasando de 2.11×10^{09} ergios a 1.11×10^{09} ergios, correspondiendo un 91% a los eventos de tipo VT con 1.01×10^{09} ergios, un 6% a los eventos de tipo LP con 6.44×10^{07} ergios, un 2% a los eventos tipo TRE con 2.43×10^{07} ergios y finalmente un 1% correspondió a la energía de los eventos de tipo HIB con 1.20×10^{07} ergios. El pico energético se presentó el 18 de julio, con 1.39×10^{08} ergios (Tabla 15, Figura 31).

Tabla 15. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, junio y julio del 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	1.90E+09	1.70E+08	9.83E+06	2.89E+07	2.11E+09
Julio 2022	1.01E+09	6.44E+07	2.43E+07	1.20E+07	1.11E+09

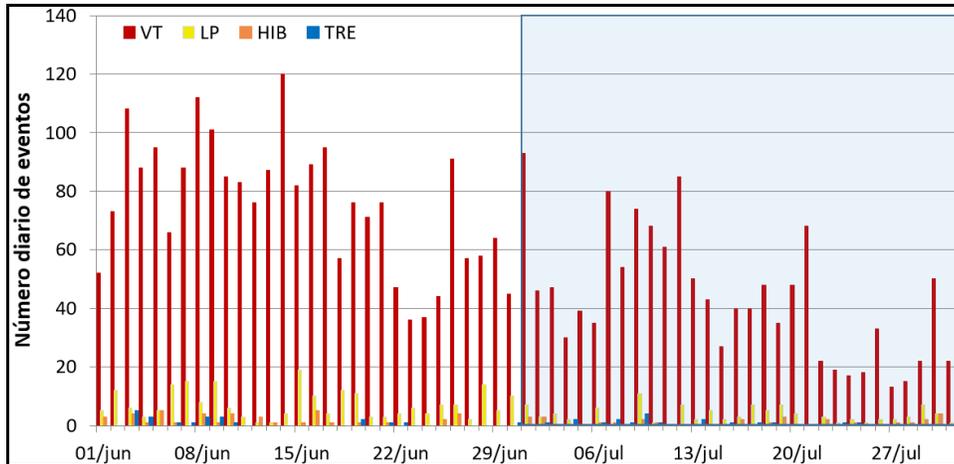


Figura 30. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante junio y julio del 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado

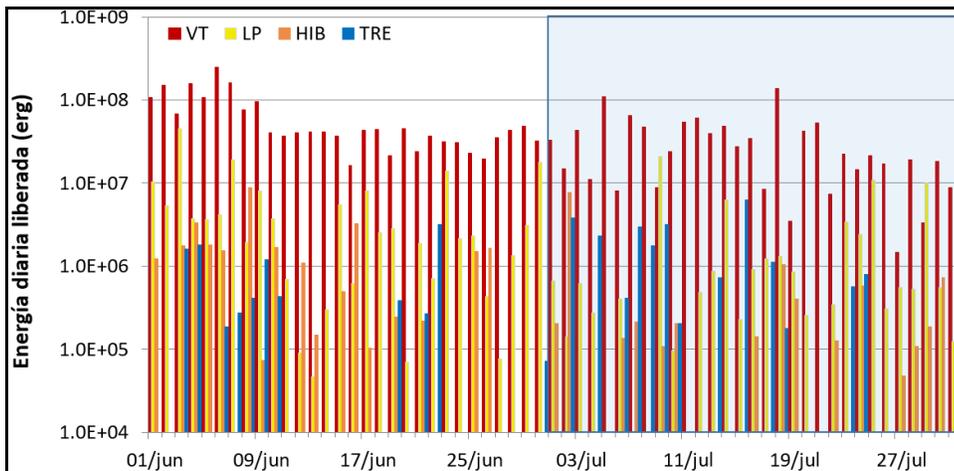


Figura 31. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante junio y julio del 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

Se localizaron 142 sismos de baja energía, los cuales se ubicaron en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, La Plazuela al noreste y Mundo Nuevo al suroccidente, siguiendo un alineamiento SE a NW paralelo a un trazo de falla (Figura 32), en distancias entre cero y 3.5 km y con profundidades menores de 3.0 km, con

respecto a la altura de La Plazuela (4700 m); otros pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia del complejo volcánico, en general en distancias entre 3 y 10 km, con profundidades entre 2.5 y 13 km con respecto a la altura de La Plazuela (4700 m). La magnitud local máxima fue de 1.8 Richter (Figura 32). La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 4 eventos VT con ML entre 1.6 y 1.8 Richter y en la Tabla 16 se consignan sus características de localización.

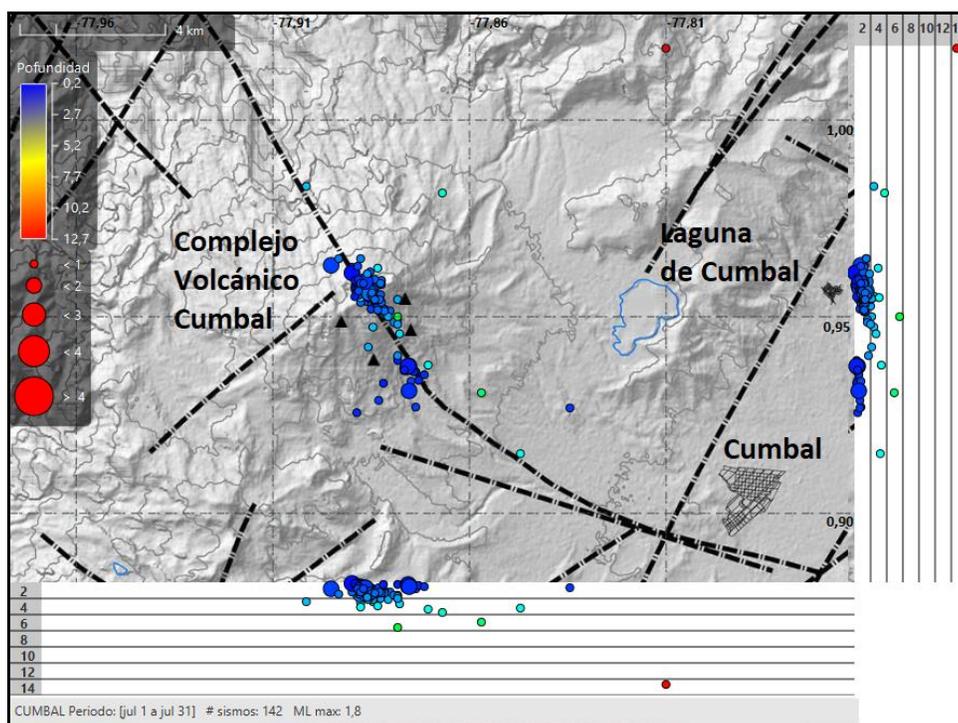


Figura 32. Sismos localizados en el CVC, julio 2022

Tabla 16. Sismos con ML entre 1.6 y 1.8 en el CVC, julio 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
05/07/2022	00:02:17	0.9633	-77.8955	1	1.6
08/07/2022	07:49:42	0.9583	-77.8885	1	1.8
18/07/2022	11:59:24	0.9382	-77.8762	1	1.7
21/07/2022	07:28:33	0.9592	-77.8872	1	1.6

Se registraron 7 eventos de tipo Tornillo (TOR) de baja energía en julio del 2022, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes, 5 de los cuales se muestran en la Figura 33, por presentar sismogramas con menos ruido en la componente vertical de la estación Limones del

CVC. Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de julio del 2022, presentaron picos dominantes en 3.1 Hz, 3.2 Hz, 2.1 Hz, 3.2 Hz y 3.5 Hz; también registraron otros picos de frecuencia no dominantes en 1.2 Hz, 1.9 Hz, 2.5 Hz, 3.7 Hz, 4.1 Hz, 6.2 Hz y 7.1 Hz (Figura 33).

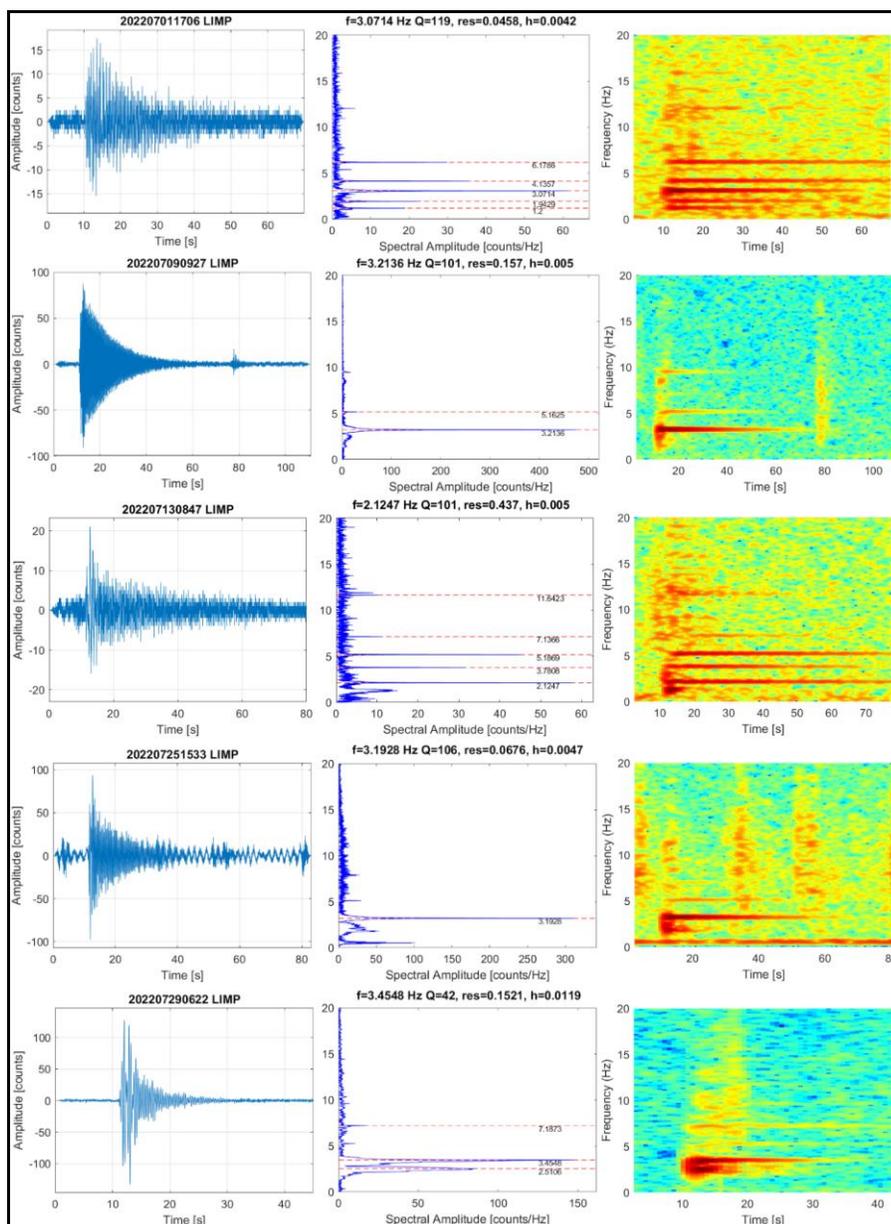


Figura 33. Sismogramas, espectros y espectrogramas en frecuencia de 5 eventos TOR de julio del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

2.3 Deformación

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

2.3.1 Inclinometría Electrónica

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

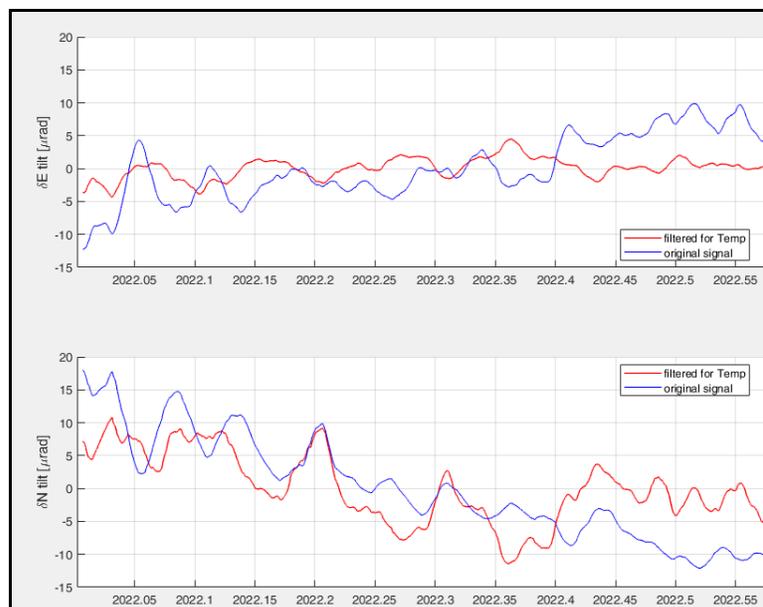


Figura 34. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura

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 órbita descendente. Haciendo uso de este procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

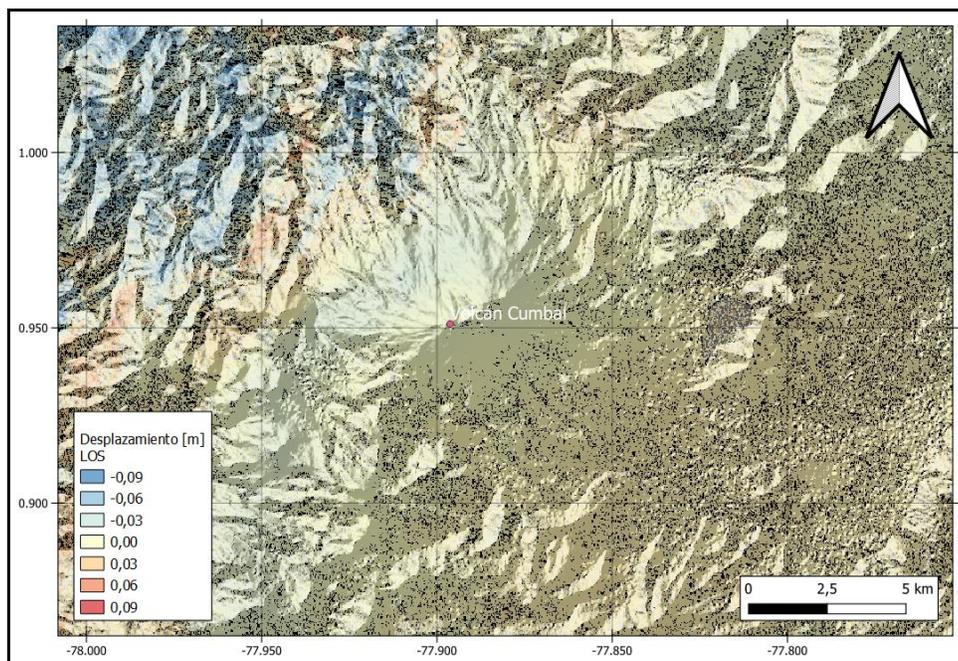


Figura 35. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal

2.4 Electromagnetismo

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

2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂)

El satélite Sentinel-5 Precursor (S-5P), lanzado en el año 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la calidad del aire, cuenta con el instrumento TROPOMI (Instrumento de Monitoreo TROPOsférico), el cual es un sensor multiespectral que registra concentraciones de ozono, metano, formaldehído, aerosol, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Google Earth Engine, 2018). Dado que permite realizar estimaciones de SO₂, 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 SO₂, 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 SO₂ 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 Julio, mostrando que no se detectaron emisiones de SO₂, en el rango de 0.08 a 0.2 unidades Dobson (DU).

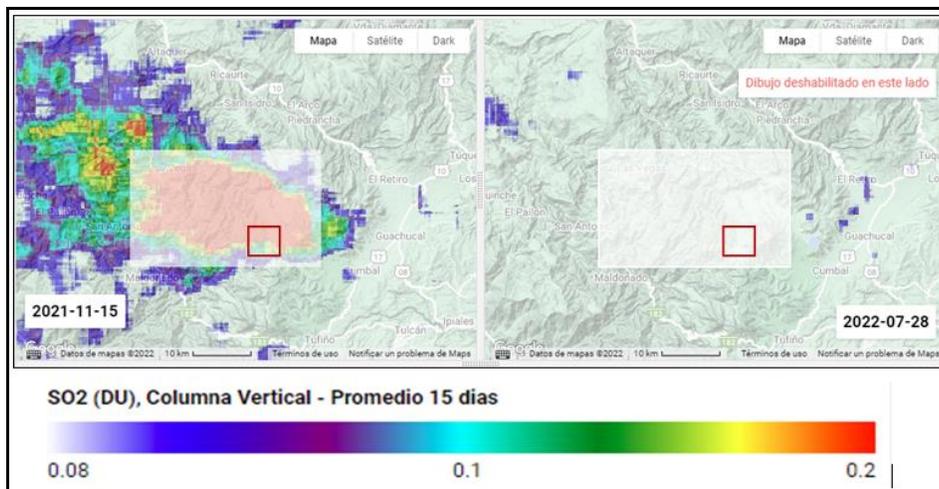


Figura 36. Estimación cualitativa de SO₂ obtenido con la aplicación TROPOMI para los últimos 15 días de julio, el cuadrado de color rojo indica la ubicación del CVC. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores

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 SO₂ 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, en el mes de julio se observa que estos eventos han disminuido y satelitalmente no se ha detectado SO_2 .

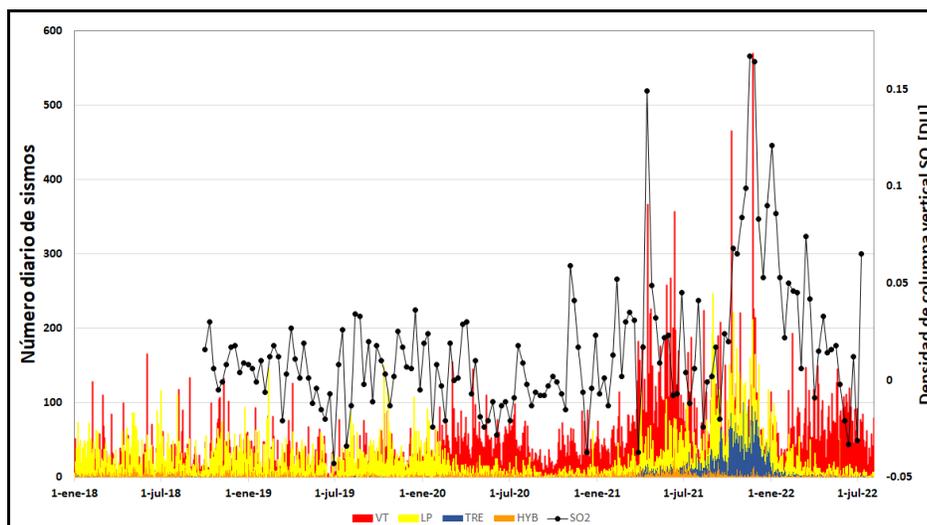


Figura 37. Estimación de SO_2 obtenida con la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desde agosto de 2018 hasta julio de 2022 y el número de eventos sísmicos desde enero de 2018 a julio de 2022

2.6 Actividad Superficial

Para los días 1, 7, 14, 15, 16, 24, 28, 29, 30 y 31 del mes de julio de 2022 con los registros de las cámaras web de Cumbal y del Boliche se observó emisiones de gases principalmente desde el campo fumarólico El Verde con pequeñas columnas de gas de color blanco y 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 la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja para el día 1 de julio de 2022 a las 6:10 a.m., (izquierda) y desde Boliche para el día 7 de julio de 2022 a las 7:06 a.m., (derecha)



Figura 39. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 14 de julio de 2022 a las 2:20 a.m., (izquierda) y desde Boliche para el día 15 de julio de 2022 a las 6:15 p.m., (derecha)



Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 16 de julio de 2022 a las 11:44 a.m., (izquierda) y para el día 24 de julio de 2022 a las 4:52 p.m., (derecha)

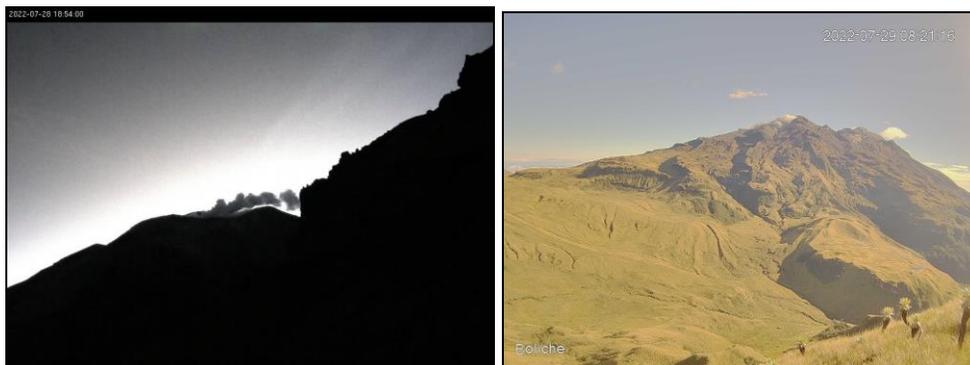


Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja para el día 28 de julio de 2022 a las 6:54 p.m., (izquierda) y desde Boliche para el 29 de julio de 2022 a las 8:21 a.m., (derecha)

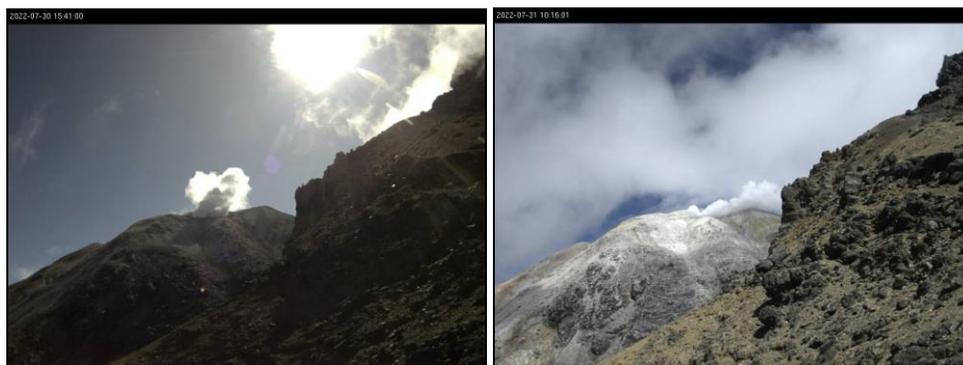


Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 30 de julio de 2022 a las 3:41 p.m., (izquierda) y para el día 31 de julio de 2022 a las 10:16 a.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

- Mediante la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días”, para el periodo evaluado no se detectaron emisiones de SO_2 .
- En julio del 2022, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), se observó disminución tanto en la ocurrencia como en la energía de los sismos, predominando la sismicidad asociada con fractura de material cortical con sismos de baja energía cuya ML máxima fue de 1.8 en la escala de Richter.

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

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - JULIO 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).

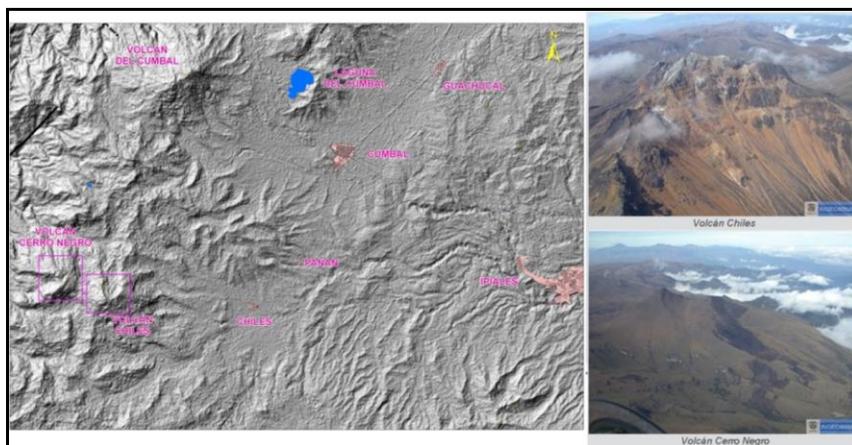


Figura 43. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 44, Tabla 17):

- 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 18).

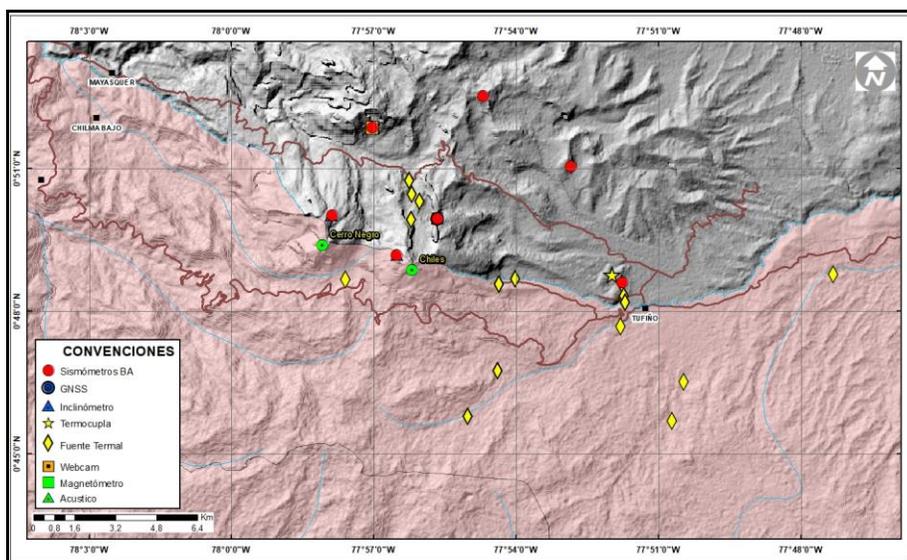


Figura 44. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de julio de 2022

Tabla 17. 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 18 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 100% (Figura 45).

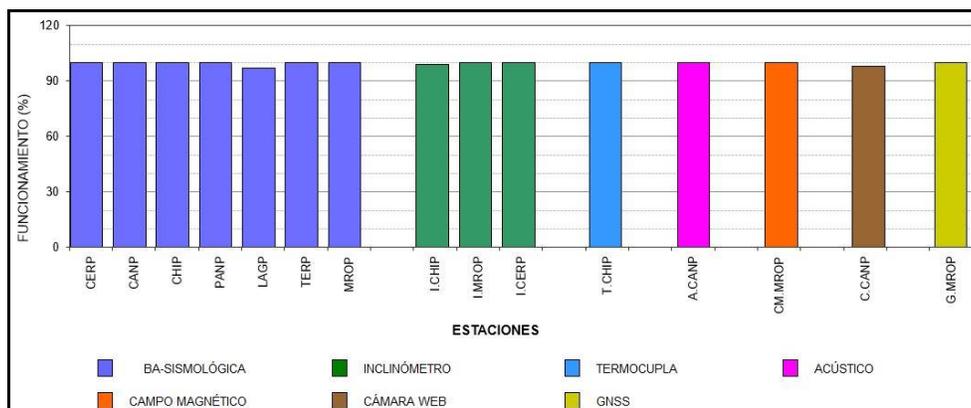


Figura 45. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en julio de 2022

3.3 Sismología

En la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en el mes de julio del 2022 se observó que la ocurrencia sísmica diaria incrementó su número 26%, pasando de 52109 a 65825 eventos, con respecto al mes anterior, esto debido a el enjambre sísmico de eventos de fractura VT, que comenzó el 27 de mayo y que se encuentra en curso a julio 31. La sismicidad asociada con fractura de material cortical (VT) representa el 98%, con 64707 eventos; adicionalmente se registraron 984 eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LP) que representan el 1.5%, 6 episodios de Tremor y 128 eventos de tipo híbrido, que sumados representan el 0.5% del número total de sismos (Tabla 19, Figura 46). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 22 de julio, con 4241 eventos (Figura 46). El total de sismos de fractura registrado entre el 27 de mayo y el 31 de julio, durante el desarrollo del enjambre sísmico es de 120487 (Figura 46).

Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio del 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	52082	21	3	3	52109
Julio 2022	64707	984	6	128	65825

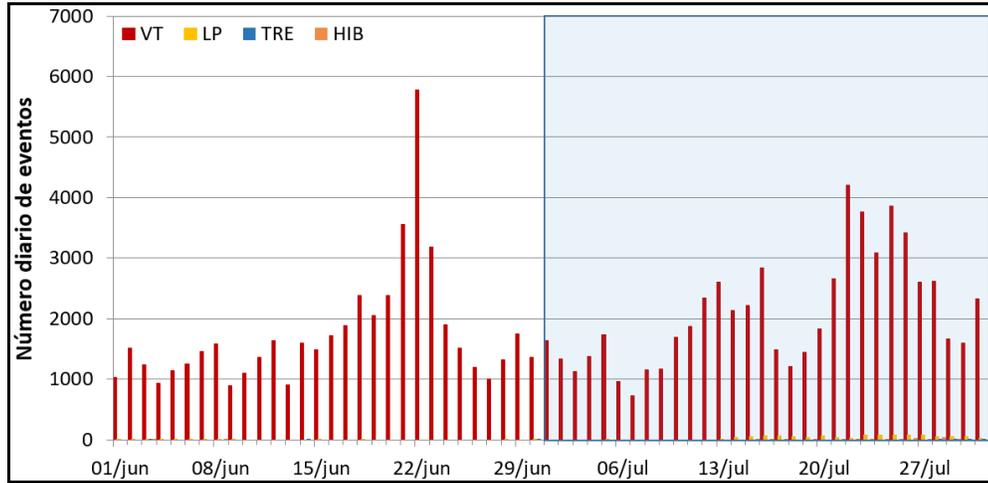


Figura 46. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado

La energía sísmica incrementó 3 veces su valor, al pasar de 6.66×10^{18} ergios a 2.02×10^{19} ergios, debido al registro de varios eventos energéticos que fueron sentidos. El 100% de la energía provino de los eventos VT, ya que en comparación la energía sumada de los otros tipos de eventos es muy baja (Tabla 20, Figura 47). El pico de energía se registró el día 25 de julio con 1.93×10^{19} ergios, debida al registro de un sismo con ML de 5.7 Richter. La energía liberada por los eventos de fractura entre el 27 de mayo y el 31 de julio, correspondiente al enjambre sísmico en curso, fue de 2.69×10^{19} erg.

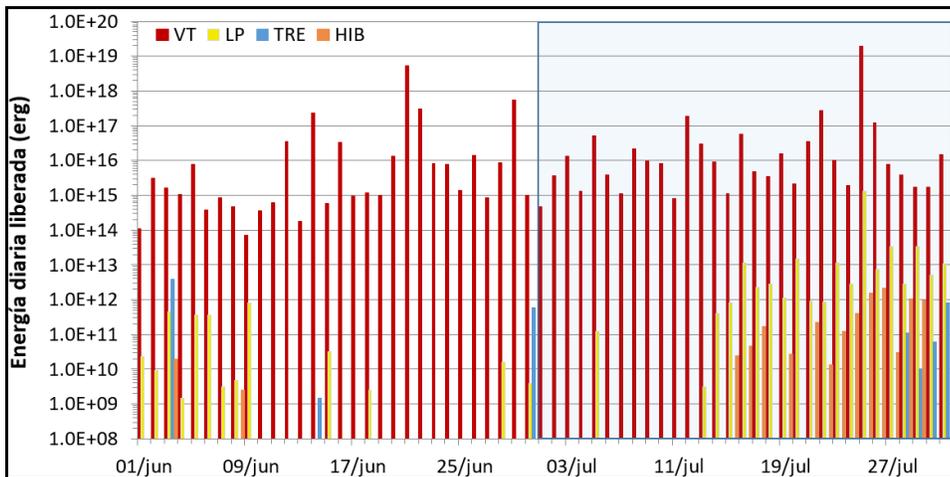


Figura 47. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 20 . Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, junio y julio del 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	6.66E+18	2.07E+12	4.39E+12	2.18E+10	6.66E+18
Julio 2022	2.02E+19	1.46E+15	9.89E+11	7.96E+12	2.02E+19

En el mes de julio se localizaron 9886 sismos (Figura 48), la gran mayoría ubicados en dos fuentes, la primera en el cuadrante sur suroccidental del volcán Chiles, en distancias entre cero y 6 km, con profundidades menores de 6 km, con respecto a la cima de Chiles (4700 m) y ML máxima de 3.5 Richter; la segunda fuente se ubicó hacia el sur suroriente del volcán Chiles, en distancias entre 4 y 18 km, con profundidades entre 6 y 14 km, con respecto a la cima de Chiles (4700 m) y ML máxima de 5.7 Richter; muy pocos sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia de los dos volcanes, en general en distancias entre 2 y 10 km, con profundidades entre 1 y 18 km con respecto a la cima de Chiles (4700 m) y ML máxima de 2.8 Richter. La gran mayoría de eventos son de baja energía, destacándose el registro de 164 eventos que alcanzaron una magnitud local entre 2.0 y 5.7 en la escala de Richter (Figuras 48 y 49), 145 de ellos con ML entre 2 y 2.9 y 19 de ellos con ML entre 3 y 5.7 (Figuras 48 y 49), los cuales se reportaron como sentidos en la zona de influencia volcánica en Ecuador y Colombia (Tufiño y Resguardos de Chiles, Panán, Cumbal y Mayasquer). El sismo más energético del mes ocurrió en julio 25, a las 08:33 hora local (08:33 am), se ubicó a 15 km al suroriente de la cima de Chiles, con profundidad de 7 km y magnitud local de 5.7 Richter; se reportó sentido en los municipios de Cumbal, Guachucal, Túquerres, Ipiales y Pasto en Colombia y en las poblaciones de Tulcán, Maldonado, El Ángel, San Gabriel, Montúfar, Espejo y Tufiño en Ecuador.

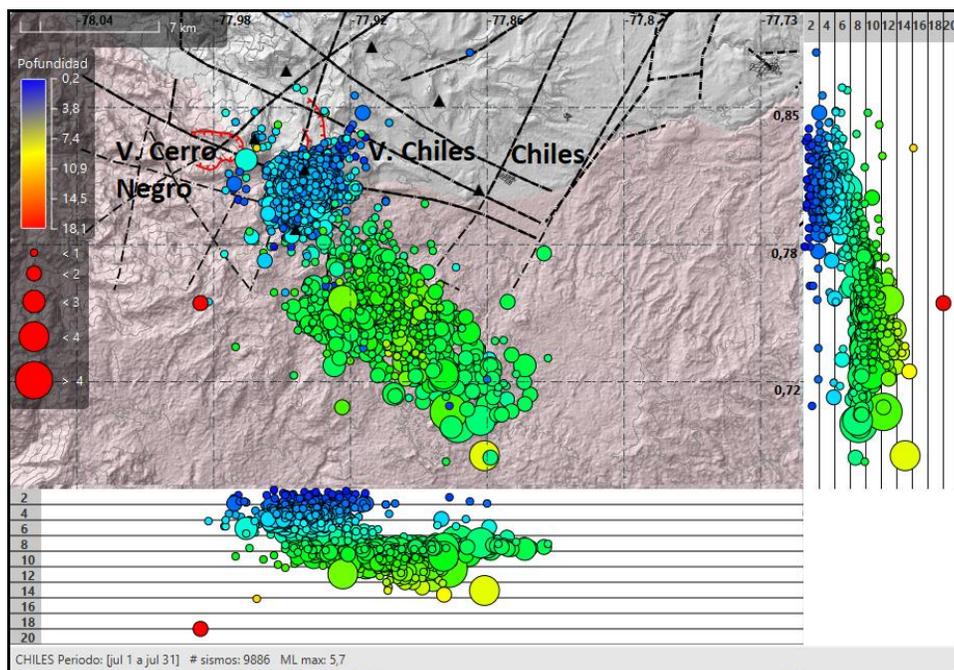


Figura 48. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, julio del 2022

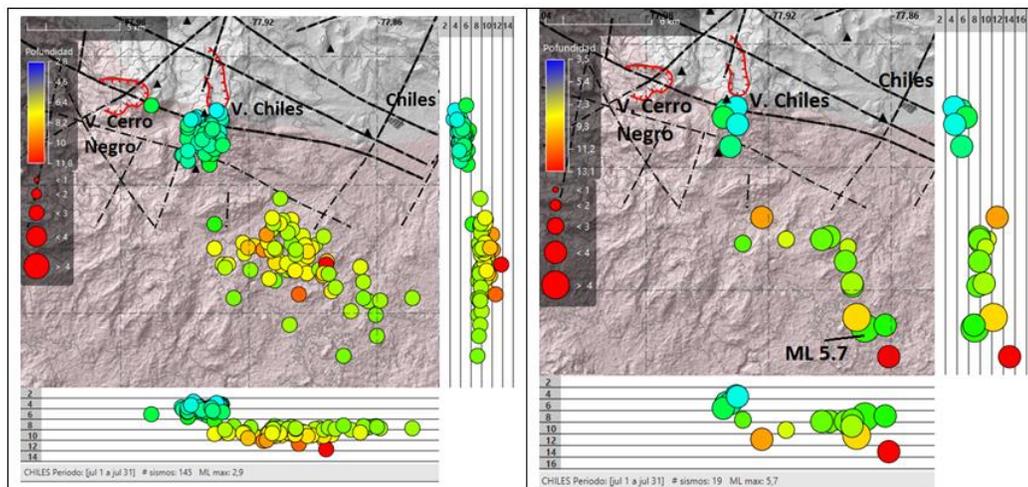


Figura 49. Izquierda, localizaciones de sismos VT con ML entre 2 y 2.9; derecha, localizaciones de sismos VT con ML entre 3.0 y 5.7, registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, julio del 2022

La mayoría de eventos son de baja energía, se resalta los 19 sismos con ML mayor de 3.0 Richter los cuales se reportaron sentidos y en la Tabla 21 se consignan sus características de localización.

Tabla 21. Sismos VT con ML mayor o igual a 3.0, Chiles - Cerro Negro, julio del 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
05/07/2022	01:00:49	0.8060	-77.9382	5	3.0
12/07/2022	18:01:17	0.8113	-77.9398	5	3.2
13/07/2022	12:53:35	0.8128	-77.9348	4	3.0
16/07/2022	10:38:41	0.7928	-77.9377	5	3.3
22/07/2022	08:16:56	0.8077	-77.9413	6	3.5
22/07/2022	17:46:27	0.8040	-77.9342	4	3.2
23/07/2022	22:47:15	0.7455	-77.9093	9	3.0
25/07/2022	08:33:27	0.7005	-77.8695	7	5.7
25/07/2022	08:38:17	0.7467	-77.8875	8	3.9
25/07/2022	08:46:35	0.7433	-77.9313	8	3.0
25/07/2022	09:41:55	0.6858	-77.8575	13	3.4
25/07/2022	09:57:57	0.7457	-77.8913	8	3.2
25/07/2022	19:45:08	0.7417	-77.8783	9	3.0
26/07/2022	05:24:24	0.7058	-77.8737	10	4.1
26/07/2022	15:30:35	0.7343	-77.8795	8	3.2
31/07/2022	07:00:02	0.7568	-77.9218	11	3.1
31/07/2022	08:09:05	0.7020	-77.8592	7	3.2
31/07/2022	08:14:33	0.7218	-77.8757	8	3.4
31/07/2022	10:06:08	0.7232	-77.8760	9	3.5

El Programa de Amenaza Sísmica (Earthquake Hazards Program) del (Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) publicó el momento tensor de la fase w del sismo (Mww) con los siguientes resultados:

M 5.7, 9 km al norte de San Gabriel, Ecuador; 2022-07-25 13:33:28 UTC; 0.678°N, 77.830°W; profundidad 3.0 km		
Momento	5.066e+17 N-m	
Magnitud	5.74 Mww	
Profundidad	11.5 km	
Porcentaje doble cupla	46%	
Duración media	1.95 s	
Catálogo	US	
Fuente de datos y contribuciones	US2	

Fuente: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000htbb/moment-tensor>

Planos Nodales			
Plano	Strike	Dip	Rake
NP1	243°	40°	180°
NP2	333°	90°	50°

Ejes Principales			
Eje	Valor	Buzamiento	Azimut
T	5.652e+17 N-m	33°	210°
N	-1.521e+17 N-m	40°	333°
P	-4.131e+17 N-m	33°	96°

Fuente: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000htbb/moment-tensor>

El sismo ocurrido el 25 de julio causó daños en construcciones tanto en Colombia como en Ecuador. Los consejos municipales de gestión del riesgo de Túquerres y Cumbal (Colombia) reportaron un colapso de vivienda en Túquerres (Figura 50), la ruptura de la planta de tratamiento de agua potable del resguardo de Panán y afectaciones en techos y fachadas del resguardo de Chiles, en el municipio de Cumbal.

Por su parte, el servicio integrado de seguridad ECU911 de la ciudad de Tulcán (Ecuador) reportó 20 casas y 2 postes con daños estructurales en Tulcán; 20 casas con daños estructurales en Montúfar y 6 casas con daños estructurales en Espejo (Figura 50).



Figura 50. Izquierda, colapso de vivienda en Túquerres (Fuente: Facebook Ultima Hora Pasto); centro y derecha daños en edificaciones de la ciudad de Tulcán (Fuente: Metro Noticias Ecuador)

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 51, se muestra el comportamiento del inclinómetro Cerro Negro. No se tiene certeza en las constantes que convierten los datos a microradianes, por lo que hasta no rectificar el valor en campo, se presenta el comportamiento relativo de este inclinómetro. Desde octubre de 2021 se observa una tendencia ascendente en la componente Este, que solo fue interrumpida por el evento del 21 de junio de 2022, el cual tuvo una Magnitud de 4.3 MW. Por su parte la componente Norte tiene una tendencia descendente, que fue afectada por el sismo de 5.7 Mw, registrado el 25 de julio de 2022.

Desde finales de octubre de 2021, aunque el inclinómetro Chiles presentaba variaciones muy altas en sus dos componentes se puede observar, una tendencia ascendente en la componente Norte que hasta la fecha de este informe acumula unos 550 μrad . Para la componente Este, el cambio más notorio se da desde finales de marzo de 2022, mostrando una tendencia descendente de unos 250 μrad , hasta el 21 de junio de 2022, cuando se presentó un evento de magnitud 4 MW, que causó una inflexión en la tendencia hasta el 25 de julio de 2022 cuando ocurrió el evento de 5.7 MW, que nuevamente afectó el registro de la componente (Figura 52).

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 μrad ; a partir de abril y hasta la fecha muestra un cambio más notable que hasta julio de 2022 acumula unos 25 μrad . Posterior al sismo del 25 de julio de 2022, esta componente tiene a estabilizarse. La componente Este desde octubre de 2021, muestra tendencia descendente en abril de 2022. Esta componente se vio afectada igualmente por el sismo del 25 de julio de 2022 (Figura 53).

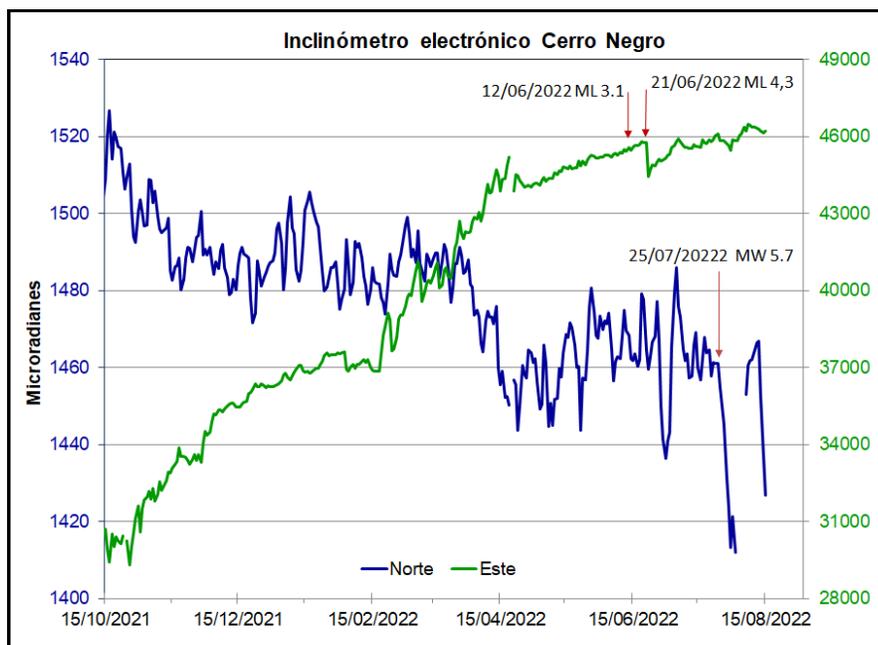


Figura 51. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 15 de octubre de 2021 y el 31 de julio de 2022

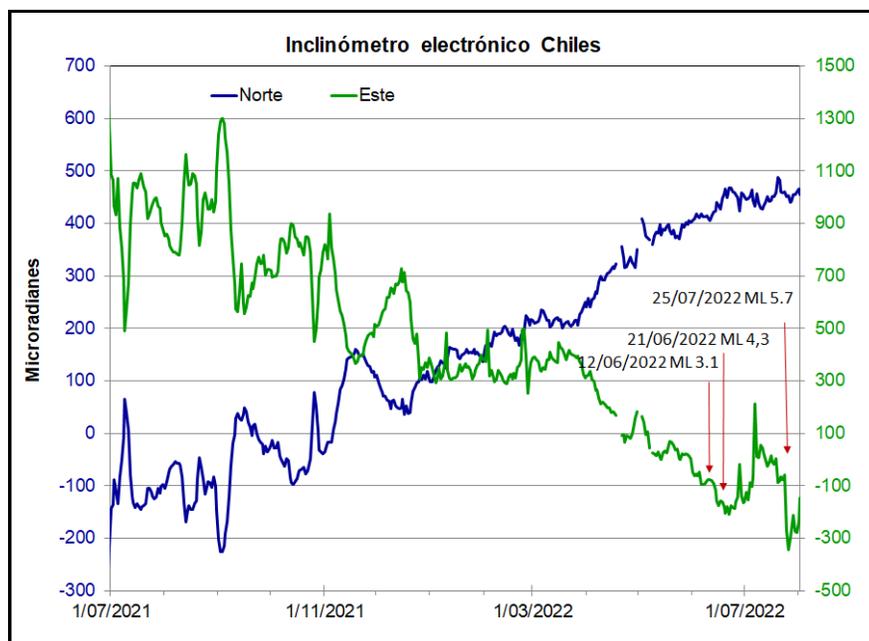


Figura 52. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2021 y el 31 de julio de 2022

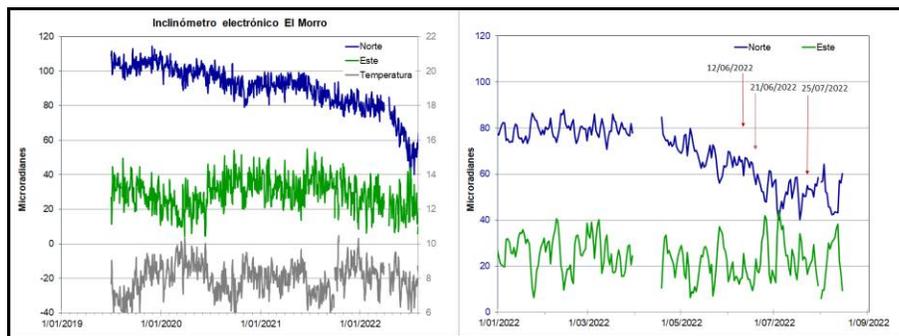


Figura 53. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles. Derecha: para el periodo comprendido entre 1 de julio de 2019 y el 31 de julio de 2022. Izquierda: 1 de enero a 31 de julio de 2022

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 54 se muestra su ubicación.

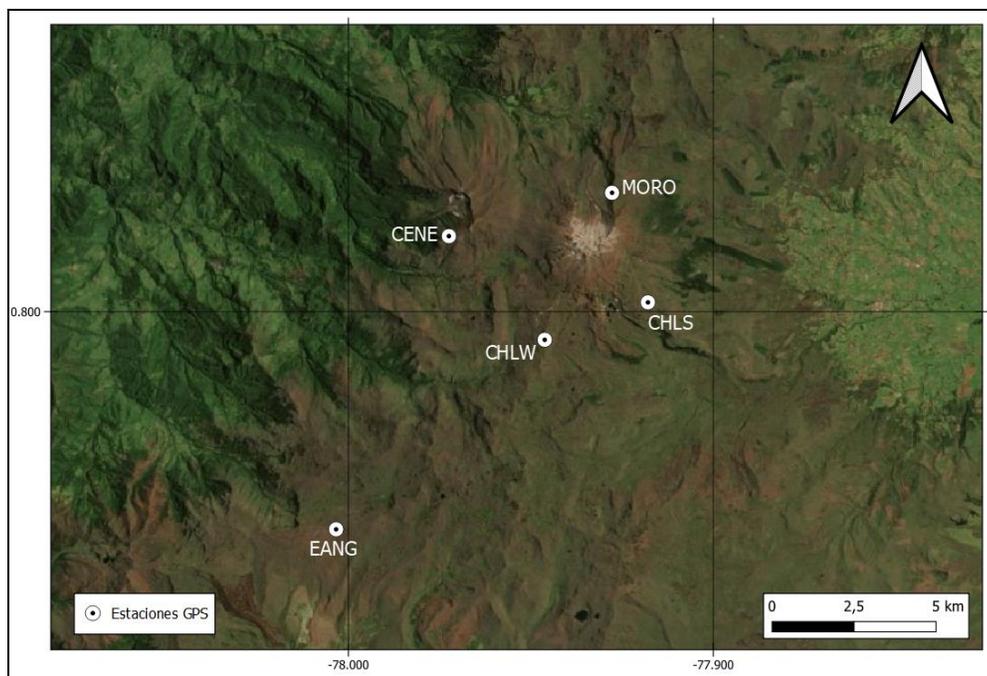


Figura 54. Ubicación de las estaciones GNSS permanentes dedicadas al monitoreo de los cambios en superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, SGC (MORO), IGEPN (CENE, CHLW, CHLS, EANG)

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 observa tendencias ascendentes en las direcciones Norte y altura, y en la Este, descenso (Figuras 55 y 56), comportamiento similar se evidencia en las direcciones Norte y Este de la estación CENE (Figura 57). Mientras que en la estación CHLW es resaltante la tendencia descendente de la dirección Este y ascenso en la vertical (Figura 58). El 8 de julio de 2022, se registró un cambio de tendencia de la componente Este del GNSS CHLW, y se presentaron variaciones en términos de días en la componente Este del GNSS CENE. El evento registrado el 25 de julio de 2022, afectó las componentes Norte y Este de los cuatro GNSS. Posterior al sismo se alcanza a observar que las tendencias tienden a estabilizarse.

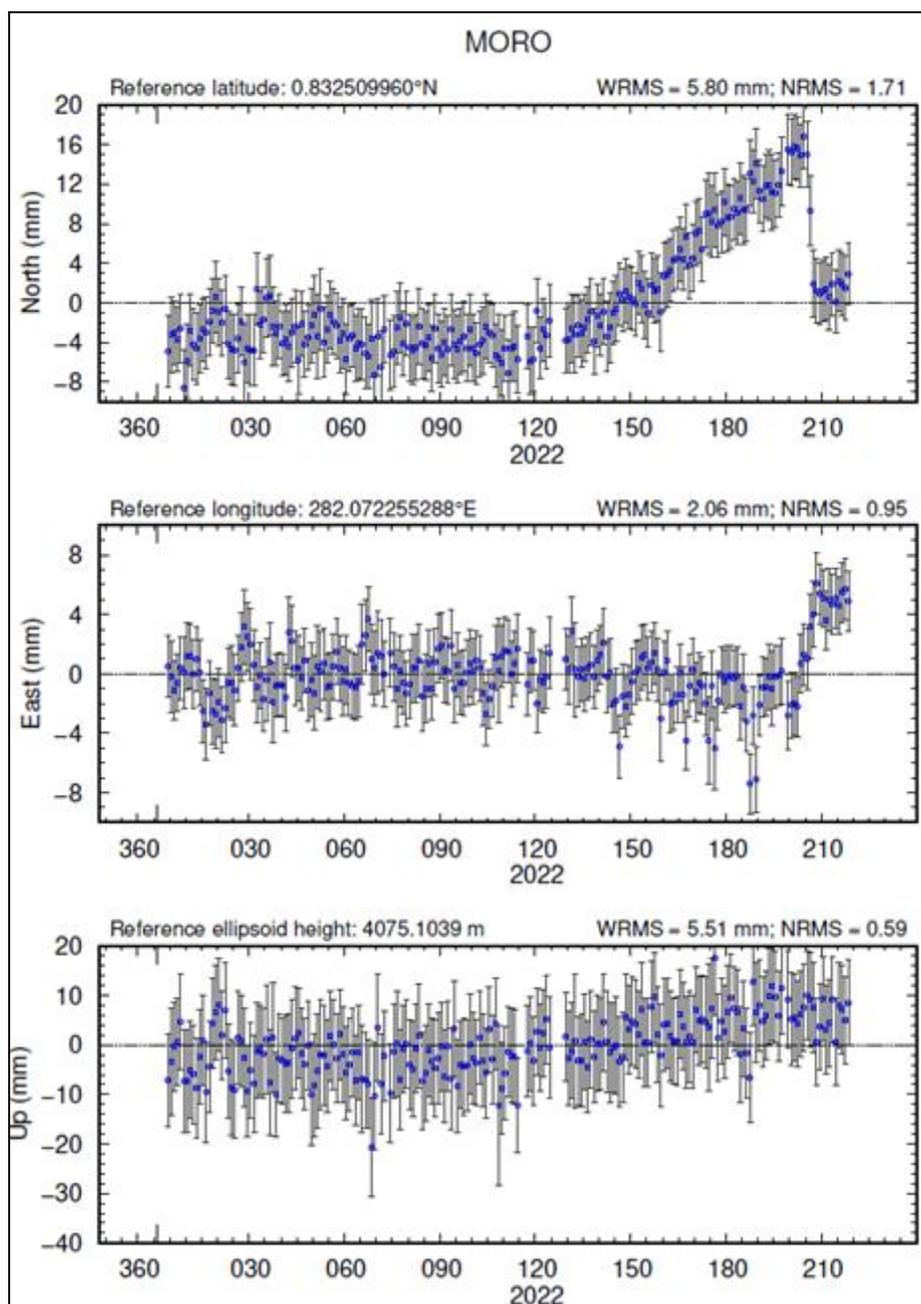


Figura 55. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022

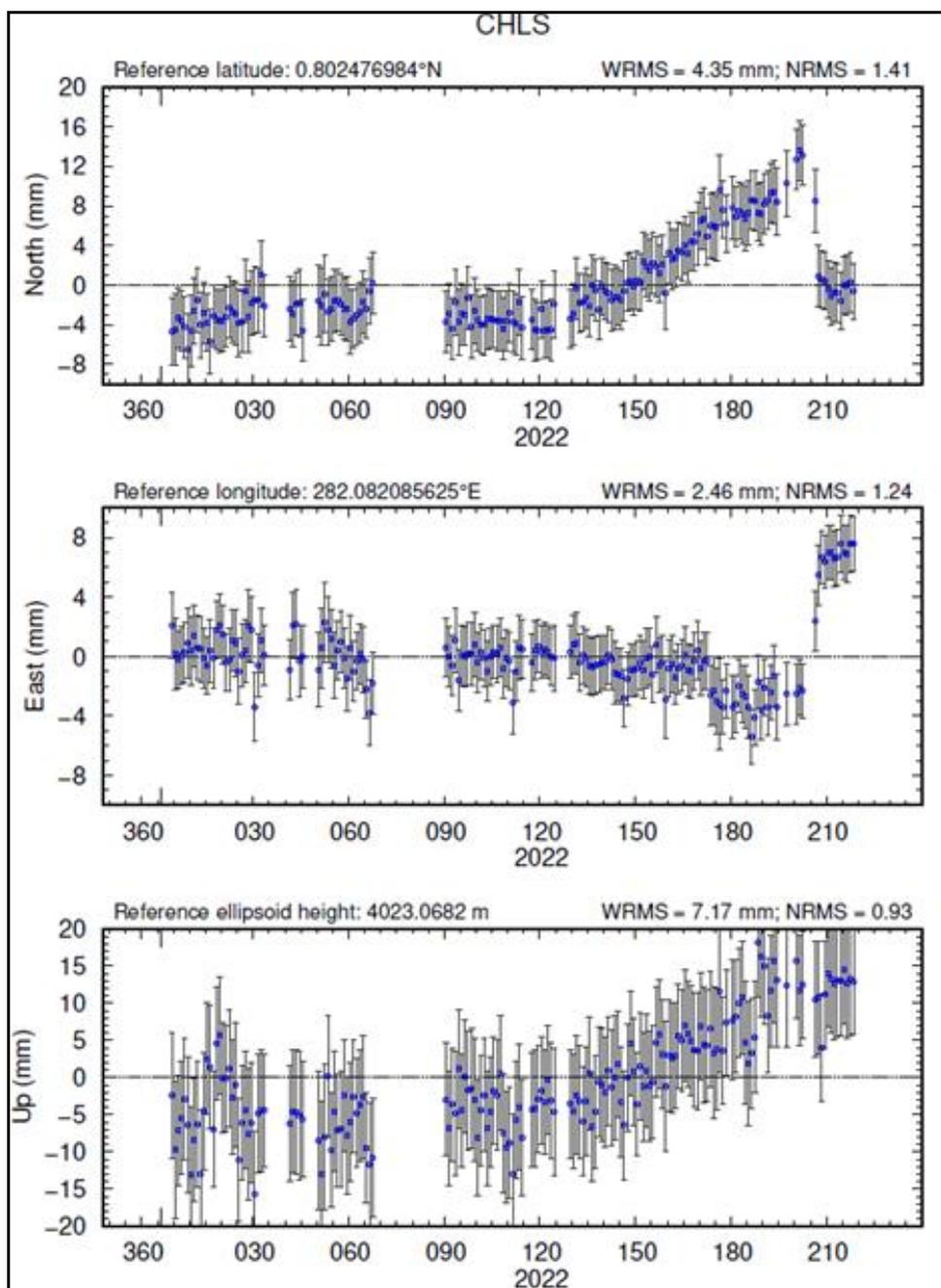


Figura 56. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLS instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022

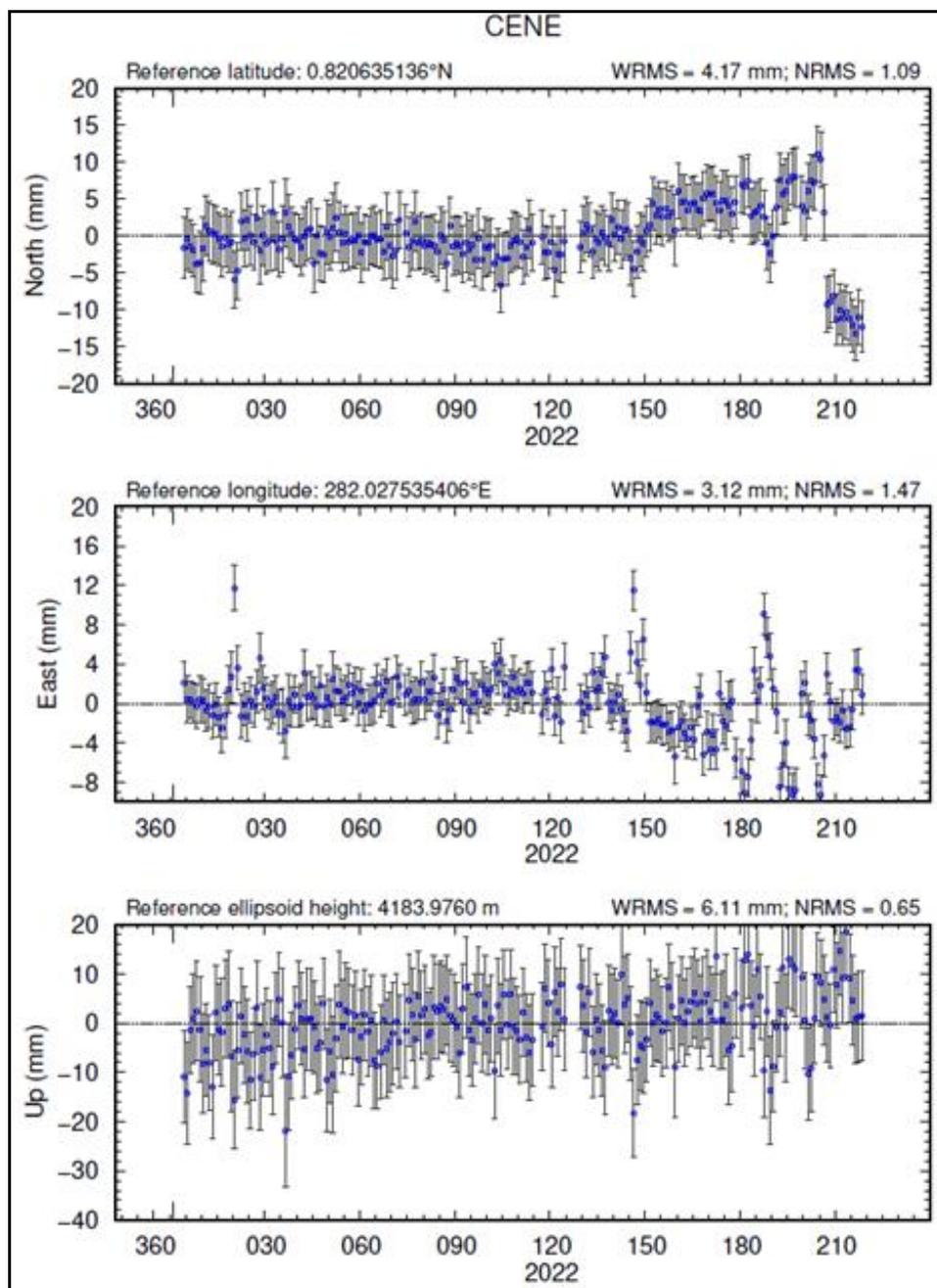


Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CENE instalada en Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022

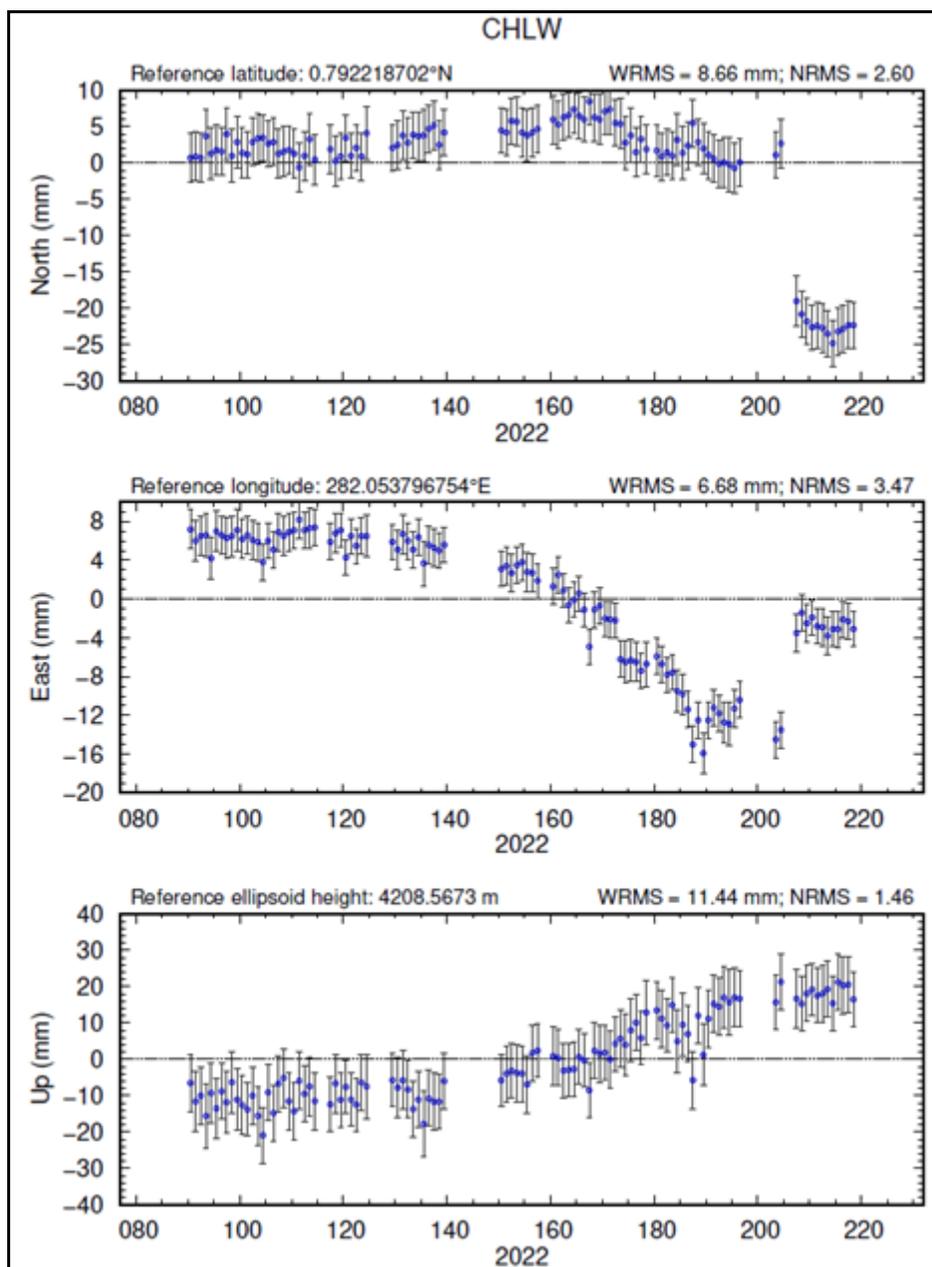


Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLW instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y 29 de julio de 2022

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 59, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en las Figuras 60 y 61, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas. La estación COEC se encuentra a una distancia promedio de 17 km y se utilizó como estación de referencia para observar el comportamiento de las estaciones en la zona volcánica.

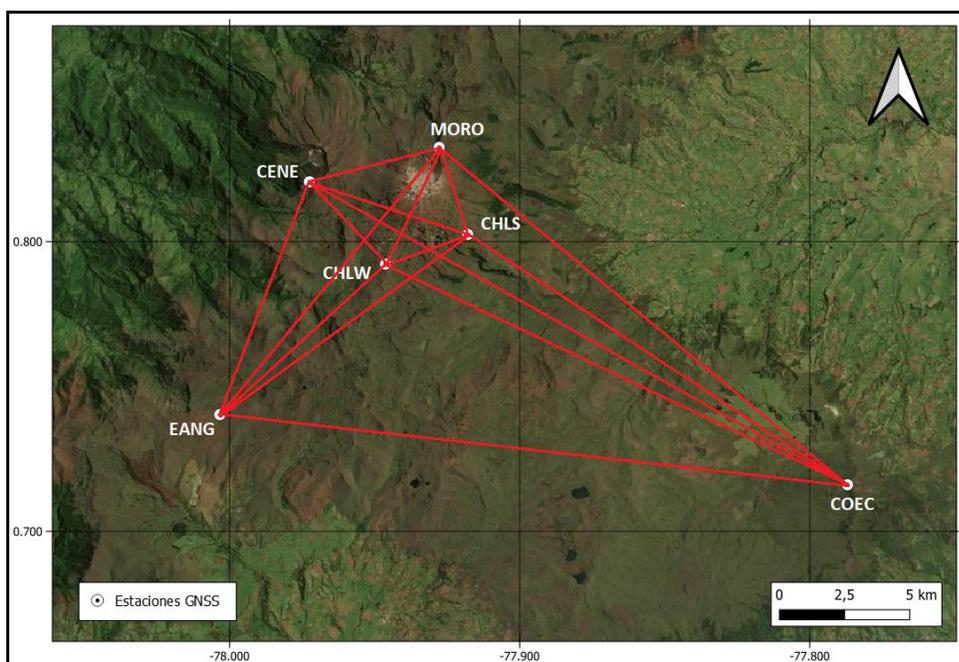


Figura 59. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie del complejo Chiles – Cerro Negro, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base, se toma COEC como estación de referencia por encontrarse fuera del edificio volcánico

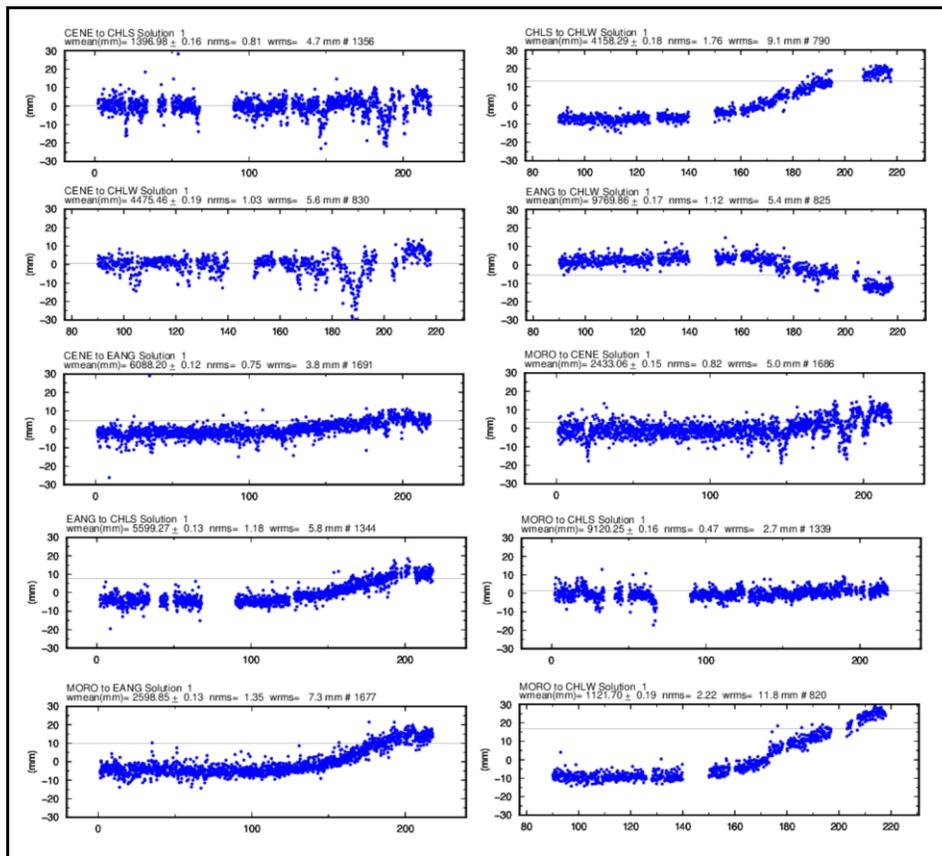


Figura 60. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS en la zona volcánica, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

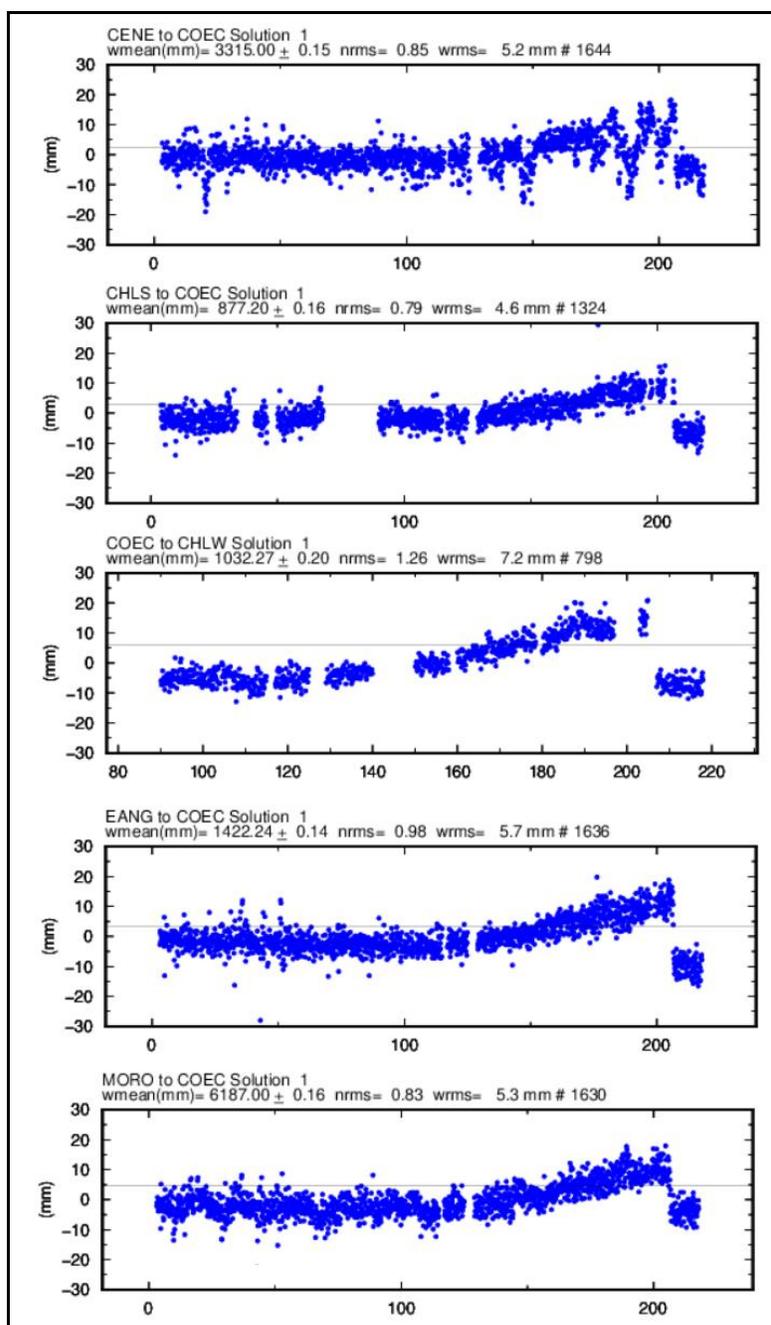


Figura 61. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS tomando como referencia la estación COEC ubicada fuera del edificio volcánico, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

3.4.3 D_InSAR

En la Figura 62, 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 órbita descendente. El par de imágenes que se utilizaron fue del día 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022. Teniendo en cuenta que el sismo principal ocurrió en este lapso de tiempo, 25 de julio de 2022, es claro que el interferograma indica la deformación registrada en la zona epicentral, ubicada en cercanías de la caldera de Potrerillos.

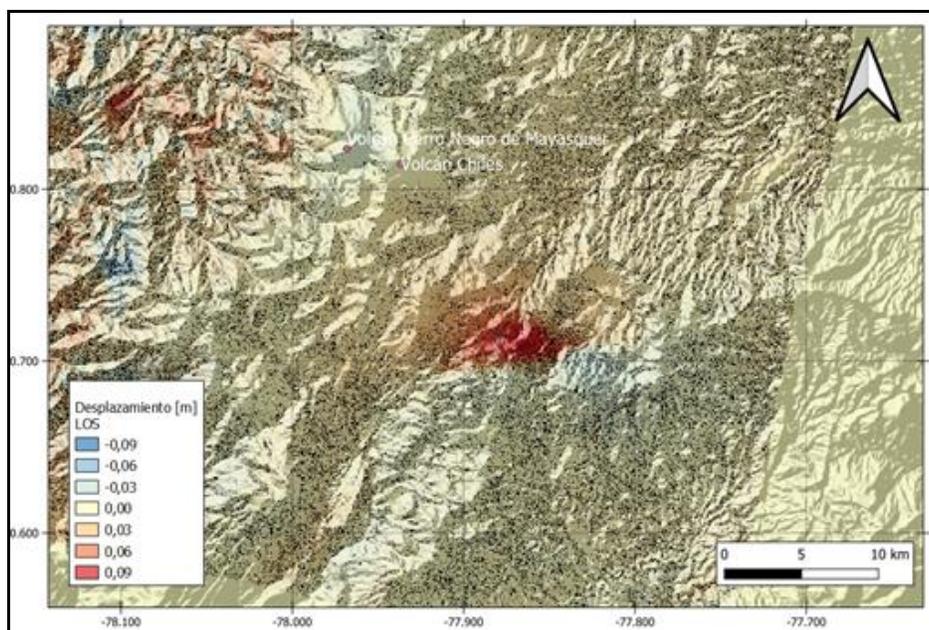


Figura 62. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro

3.5 Electromagnetismo

En julio de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del Complejo volcánico Chiles- Cerro Negro (CVChCN), se realizó a partir de la información registrada en la estación magnética Morro (MOR). La estación cuenta con un sensor magnéticos triaxiales 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 63), 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 CVChCN, 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 CVChCN son aquellas que tienen un índice Kp ≥ 4 y, especialmente aquellos cuyo frente de onda impactan directamente con el hemisferio de la Tierra correspondiente a la zona de estudio del CVChCN. Entre abril y julio 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 del CVChCN son aquellas con valores Kp de hasta 6; ocurridos entre el 14 y 15 de abril, con Kp=6; entre el 27 y el 29 de mayo, con Kp=5; en la primera mitad de julio de 2022, con Kp= 5 y entre el 18 y 23 de julio de 2022, con Kp=6. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos tanto en amplitud como en frecuencia (Figura 63).

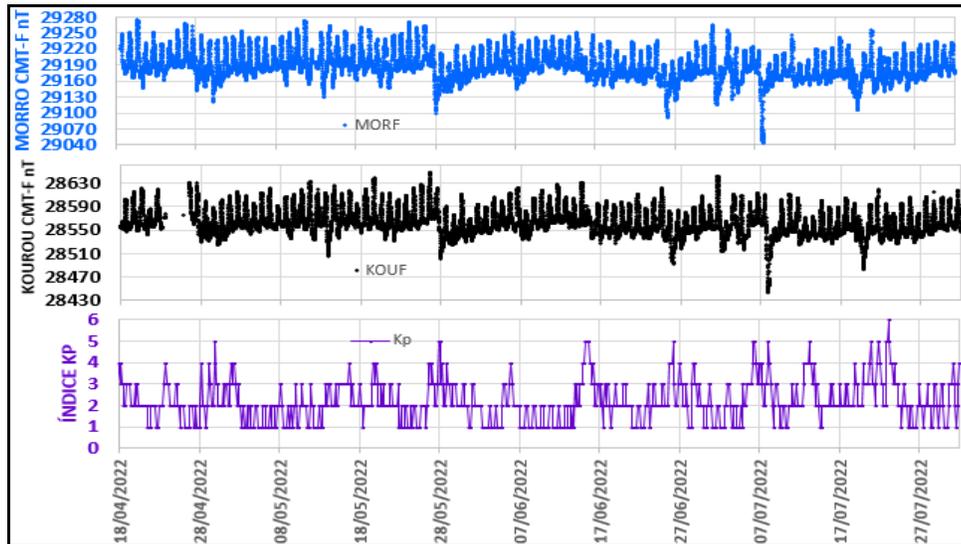


Figura 63. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVChCN: MOR (azul), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre abril a julio de 2022

Entre abril y julio de 2022, el campo magnético terrestre total (CMT-F), registrado en la estación MOR mostró una tendencia relativamente estable, hasta finales de mayo y posteriormente cambia de nivel, por efecto de la tormenta geomagnética de esa fecha, que pese a algunas variaciones se mantiene relativamente estable. El CMT-F promedio para el registro hasta finales de mayo de 2022 fue de alrededor de 29.190 nT y para el periodo posterior fue de alrededor de 29.170 nT (Figura 63). 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 28.570 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 63). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 4 (Figura 64) se identifican variaciones en las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia (Figura 63), y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior. Se resalta la tormenta de finales de mayo (27 y 28 de mayo de 2022) que cambió la tendencia estable de los registros de MOR y KOU mostrando un descenso de alrededor de 30 nT, por debajo del promedio normal (Figura 63).

En julio de 2022, el comportamiento de las series temporales de MOR y KOU mostraron las mayores variaciones entre el 7 y 8 de julio; y entre el 19 y 21 de julio de 2022, fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas de índice Kp de 5 y de 6, respectivamente (Figura 64). La tormenta geomagnética ocurrida entre el 7 y 8 de julio de 2022 generó una perturbación en los registros magnéticos de alrededor de 20 horas y un pulso de amplitud aproximada en MOR de 170 nT, en tanto que en KOU fue de

alrededor de 160 nT. El segundo pulso más relevante de las tormentas geomagnéticas se inició el 18 de julio, de 2022, cuando el valor fue incrementando de índice Kp=3 a Kp=4, que se mantuvo hasta el 21 de julio, cuando cambió a índice Kp=5 y el 23 de julio llegó a un valor máximo de Kp=6; cayendo posteriormente a Kp=3. Esta segunda tormenta del mes afectó los registros de la estación magnética MOR, mostrando los mayores efectos de afectación en frecuencia, para el 19 de julio de 2022 y la máxima amplitud de perturbación el 21 de julio, con un máximo promedio de 120 nT. El 23 de julio, cuando el índice Kp llega a su máximo valor de 6, la afectación sobre los registros magnéticos es principalmente en el incremento de las frecuencias y la generación de un pulso de amplitud máxima de 60 nT (Figura 64).

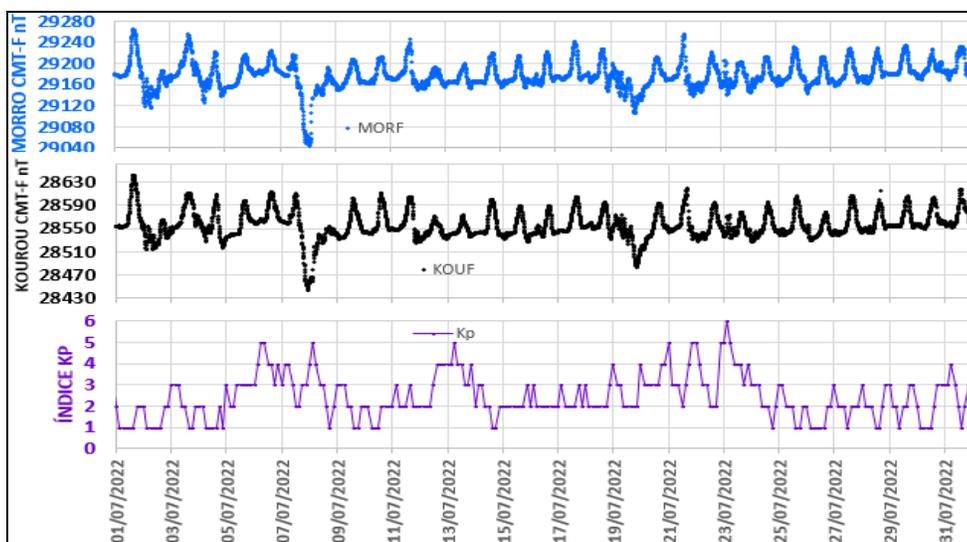


Figura 64. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVChCN: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para julio de 2022

En el periodo de julio 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 64).

El análisis espectral del CMT-F en los registros magnéticos de las estaciones MOR y KOU muestran variaciones periódicas asociadas a las variaciones seculares (día-noche), propias de los campos geomagnético, 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 65).

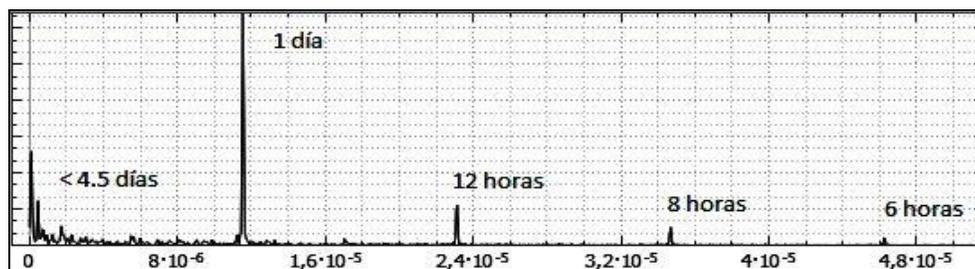


Figura 65. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en la estación de monitoreo magnético de MOR del CVChCn y en la estación de referencia KOU

Corrigiendo los registros magnéticos de las estaciones MOR y KOU, para remover las variaciones seculares y poner los valores en términos de variación del CMT-F; así como también para remover el campo teórico; se obtuvieron series temporales más limpias que permiten identificar las variaciones locales del CMT-F. Aun cuando, en algunos casos, no es posible remover totalmente los efectos de las tormentas geomagnéticas externas; sin embargo, se puede identificar que las variaciones locales, cuando las condiciones de clima espacial no muestran perturbaciones grandes, presentan variaciones bajas, es así como las variaciones diarias del CMT-F, en la estación MOR son menores a 10 nT, evidenciando estabilidad desde esta área del monitoreo volcánico (Figura 66).

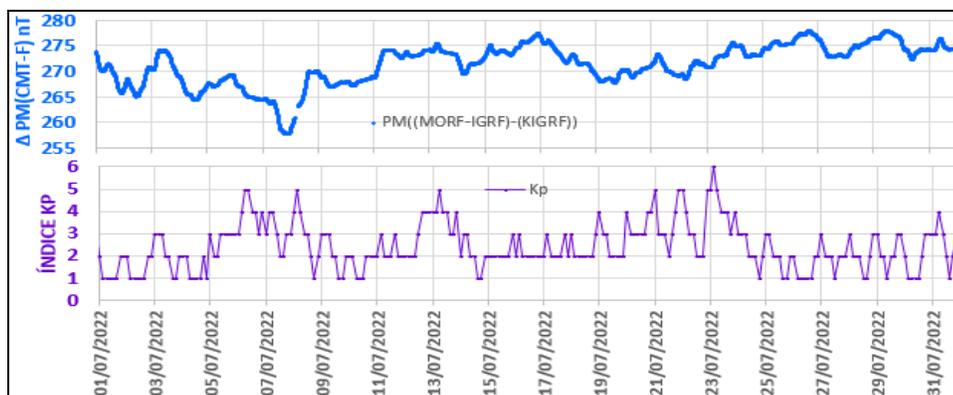


Figura 66. Variaciones del CMT-F, en las estaciones MOR (azul) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)

3.6 Geoquímica

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

Para el mes de julio 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 julio se realizó trabajo conjunto con personal del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador en el muestreo de aguas y gases en fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Chiles del sector ecuatoriano, las cuales tienen por nombre El Hondón, El Artezón, Aguas Hediondas, Lagunas Negras y Lagunas Verdes, se realizó también el muestreo de aguas, en las fuentes termales en el sector colombiano: El Hondón-Tambo, La Peña, Río Blanco I y II, La Cristalina, El Infiernillo, El Rincón Más Bello y Baño Grande, en la Figura 67, se muestra la ubicación geográfica de las fuentes termales muestreadas.

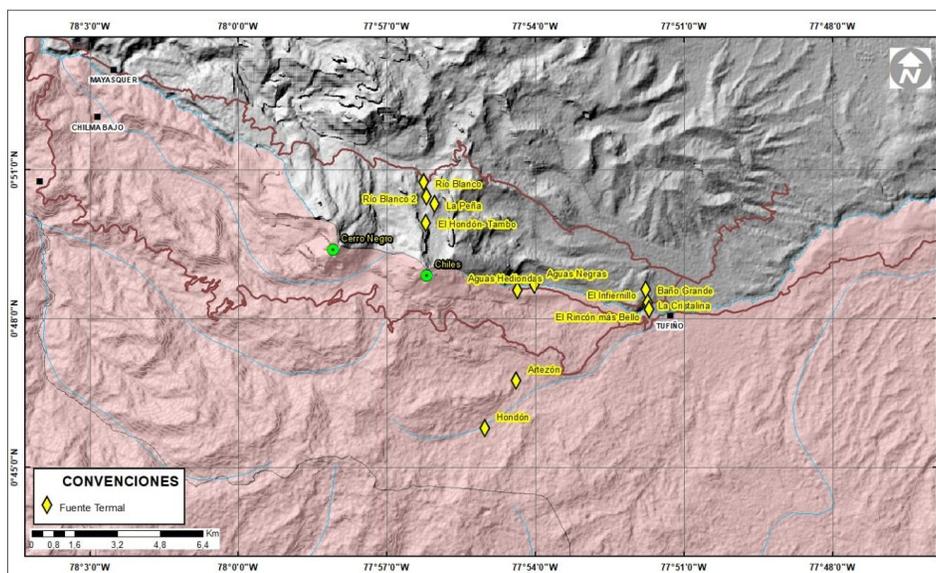


Figura 67. Mapa de localización de manantiales termales muestreados los días 28 al 31 de julio de 2022 perteneciente a la zona de influencia del volcán Chiles en el sector colombiano y ecuatoriano

En el trabajo de campo se realizaron medida de parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica, temperatura y alcalinidad, además se tomaron muestras de agua para análisis de cationes, aniones, isótopos (deuterio y oxígeno 18), se tomaron

dos muestras de gases en el campo fumarólico de Aguas Hediondas y en la fuente termal burbujeante de Aguas Negras para análisis de gases ácidos y se tomó también una muestra sólida del campo termal el Hondón, para análisis por difracción de rayos X.



Figura 68. Muestreo de aguas y gases en fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Chiles. A) toma de muestras de gases en fuente termal burbujeante: Lagunas Negras B), toma de muestras de gases en campo fumarólico Aguas Hediondas y C) medición de temperatura en campo termal El Hondón (sector ecuatoriano)

En el sector colombiano, se recibieron reportes de incrementos en los valores de temperatura en algunas de las piscinas, después del inicio del enjambre del 27 de mayo, sin embargo, en las fuentes termales muestreadas en este trabajo de campo se observó estabilidad en los parámetros medidos. A continuación, se muestra el comportamiento temporal de las fuentes termales.

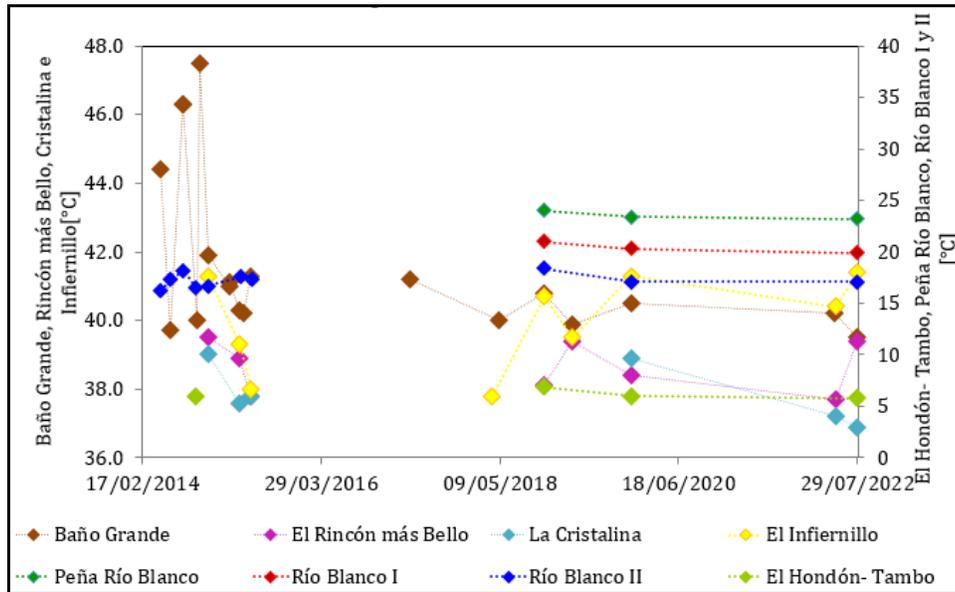


Figura 69. variación de la temperatura en las fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Chiles- sector colombiano

Después del sismo de magnitud local de 5.7 registrado el 25 de julio en redes sociales se viralizaron algunos videos del campo termal el Hondón en donde se menciona que la fuente termal incrementó su temperatura y se observa además un importante flujo, sin embargo, se tiene conocimiento que esta fuente tenía un agua temperada y de bajo flujo, pero tras el aumento de la sismicidad en la zona, incrementó su temperatura hasta alcanzar valores de 85 °C, este valor lo reportó el IG-EPN, tras la visita técnica realizada en octubre de 2019, de modo que esta fuente no es consecuencia directa del sismo de julio de 2022, cabe resaltar también que incrementos en la actividad sísmica se vienen registrando desde finales de 2013.

La fuente termal el Hondón ha mantenido su temperatura, pero desde marzo de 2022, se han observado cambios morfológicos tales como nuevas surgentes y varias fracturas superficiales (Figura 70).



Figura 70. Fotografía aérea tomada con dron del campo termal el Hondón (Foto: M. Almeida/IG-EPN)

3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

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

3.7 Actividad Superficial

Durante el mes de julio de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial.

3.8 Conclusiones

- La sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en julio del 2022 mostró incremento en su ocurrencia y su energía con respecto a lo registrado en junio, debido a un enjambre sísmico que comenzó en mayo 27 y sigue su curso al 31 de julio. Predomina la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT), destacándose el registro de 19 eventos con magnitud local entre 3.0 y 5.7 en la escala de Richter, los cuales se reportaron sentidos en la zona de influencia volcánica en Ecuador y Colombia (Tufiño y resguardos indígenas de Cumbal, Chiles, Mayasquer y Panán). El sismo más energético del mes ocurrió en julio 25, a las 08:33 am, se ubicó a 15 km al suroriente de la cima de Chiles, con profundidad de 7 km y magnitud local de 5.7 Richter; se reportó sentido en los municipios de

Cumbal, Guachucal, Túquerres, Ipiales y Pasto en Colombia y en las poblaciones de Tulcán, Maldonado, El Ángel, San Gabriel, Montúfar, Espejo y Tufiño en Ecuador. Este sismo causó daños en edificaciones de varias poblaciones de la zona de influencia volcánica.

Esta actividad tiene un comportamiento similar a lo que se ha registrado desde finales de 2013, asociada con una posible intrusión magmática en profundidad, que hasta el momento no ha mostrado manifestaciones en superficie. Los niveles de ocurrencia y energía dentro del actual proceso de enjambre sísmico se han incrementado de manera importante, pero son similares a otros enjambres ocurridos en los últimos años, indicando que aún no se ha retornado a un estado de equilibrio; por lo tanto persiste la probabilidad de que se registren sismos con magnitudes significativas, como el ocurrido el 25 de julio, que podrían ser sentidos por los habitantes de la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, o que se presenten otro tipo de cambios. El SGC y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Ecuador, permanecen atentos a la actividad volcánica, en especial a la evolución del enjambre sísmico en curso.

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

4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – JULIO 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 71).

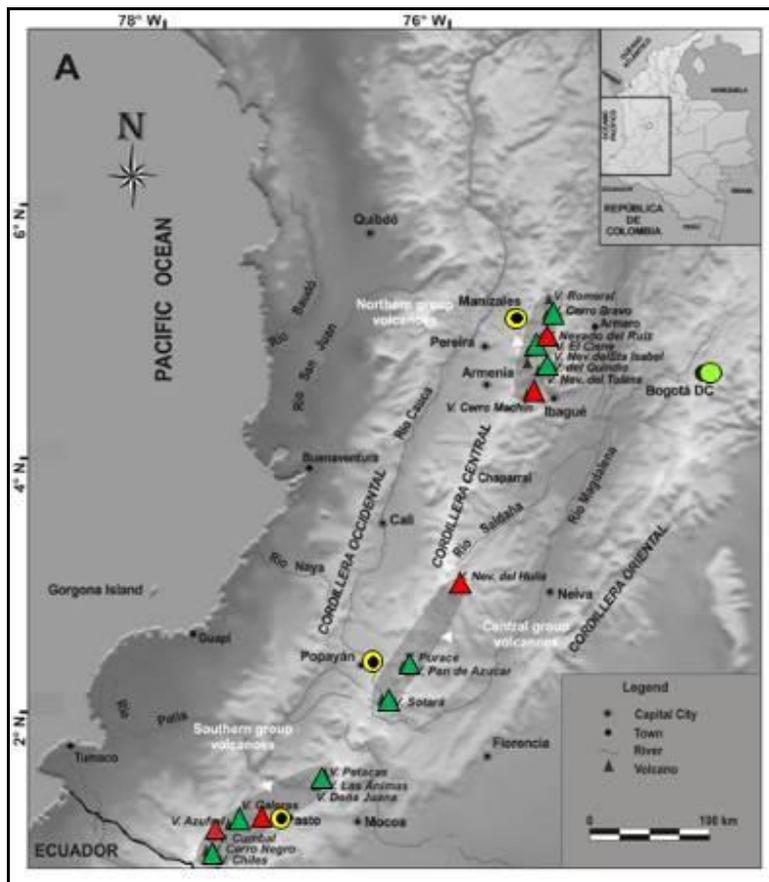


Figura 71. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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 Petroglifo. En el volcán Doña Juana se tienen 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 22, Figura 72). Adicionalmente, se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC, Figura 72).

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 88% (Figura 73).

Tabla 22. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en julio 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

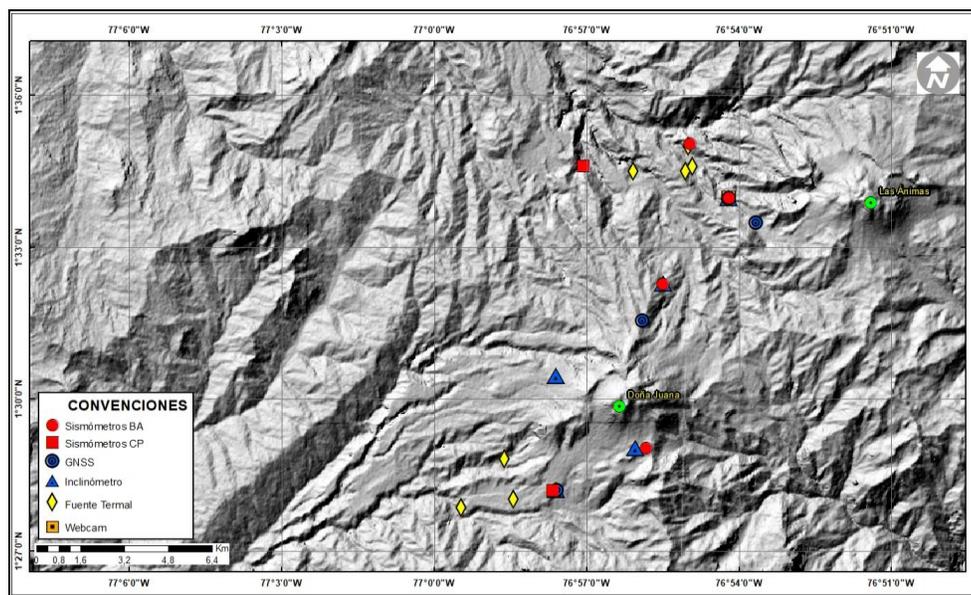


Figura 72. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de julio de 2022

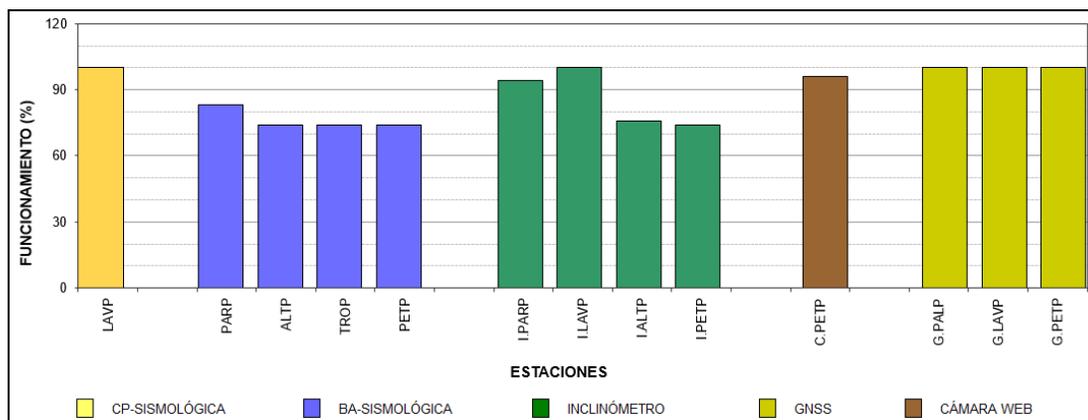


Figura 73. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en julio de 2022

4.1.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en julio del 2022, la ocurrencia sísmica en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas disminuyó, pasando de 13 a 3 eventos, todos asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 23, Figura 74). La energía sísmica liberada también disminuyó, pasando de 3.81×10^{12} ergios a 7.22×10^{11} ergios, toda debida a los eventos VT (Tabla 24, Figura 75).

Tabla 23. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	11	2	0	0	13
Julio 2022	3	0	0	0	3

Tabla 24. Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en junio y julio del 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	3.01E+12	7.96E+11	0	0	3.81E+12
Julio 2022	7.22E+11	0	0	0	7.22E+11

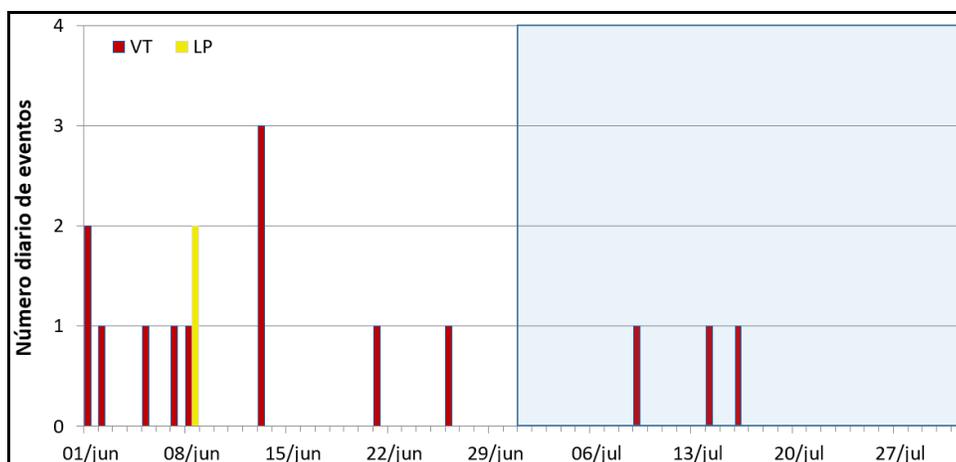


Figura 74. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante junio y julio del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado

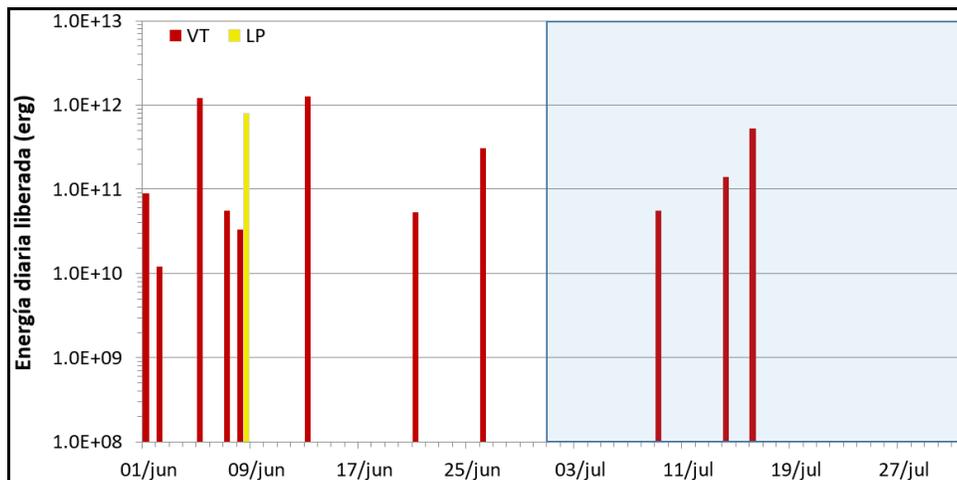


Figura 75. Energía diaria liberada de sismos volcánicos por tipo, registrados durante junio y julio del 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado

Solamente fue posible localizar el evento ocurrido el día 16 de julio a las 09:05 hora local (09:05 am), a 5 km al sur suroccidente de la cima de Las Ánimas, con profundidad de 2 km con respecto a su cima (4300 m) y con magnitud local de 0.5 Richter.

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclinometría Electrónica

En la Figura 76, se muestran las series temporales de las estaciones de inclinometría Petroglifo y Altamira. Las componentes Norte de los dos inclinómetros muestran una tendencia descendente a partir marzo de 2022; hasta la fecha Petroglifo acumula unos 25 μ rad y Altamira, para el mismo periodo, registra 70 μ rad; las componentes Este de los dos inclinómetros se mantienen estables.



Figura 76. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) de los inclinómetros electrónicos Petroglifo y Altamira, instalados en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022

En Doña Juana en la estación Lavas, una vez removido el efecto de la temperatura, hacia finales de abril de 2022, en la componente Este, se registró una variación de 25 μrad y a mediados de mayo del 2022, una variación de 30 μrad , ninguno de los cuales se asoció con otro tipo de actividad volcánica (Figura 77). En el inclinómetro Páramo desde septiembre de 2020 se observa una tendencia ascendente en la componente Norte de 180 μrad , y para el mismo periodo en la Este continua el comportamiento descendente, con una variación de 460 μrad (Figura 78). Estos cambios tampoco hasta el momento se han asociado a algún tipo de actividad volcánica.

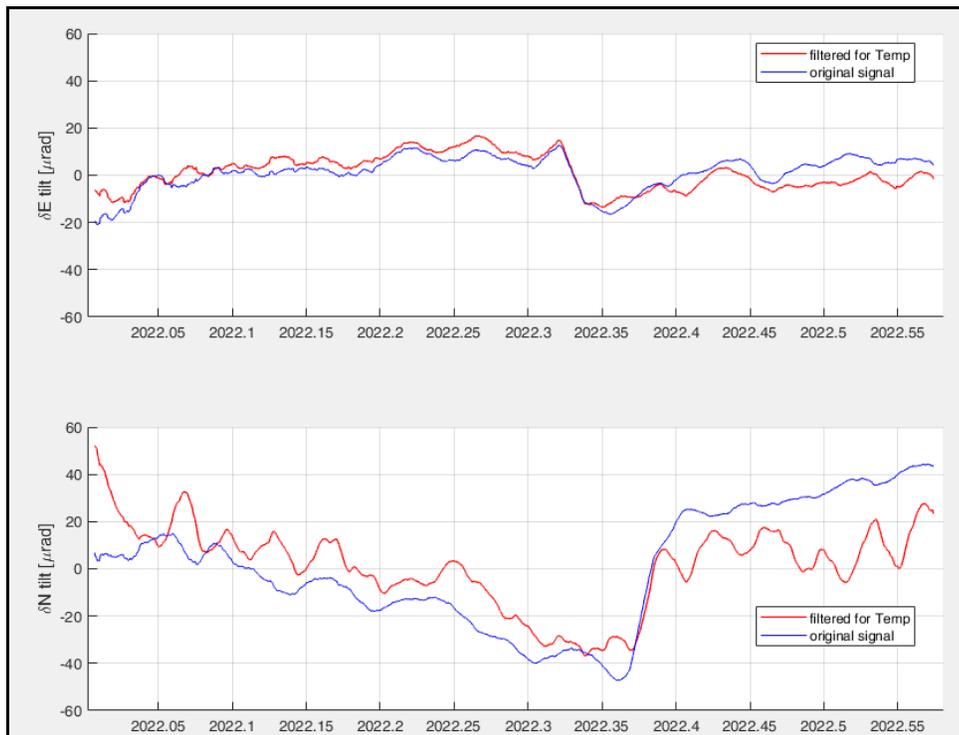


Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. La línea azul corresponde a la señal original y la roja a la señal filtrada por temperatura

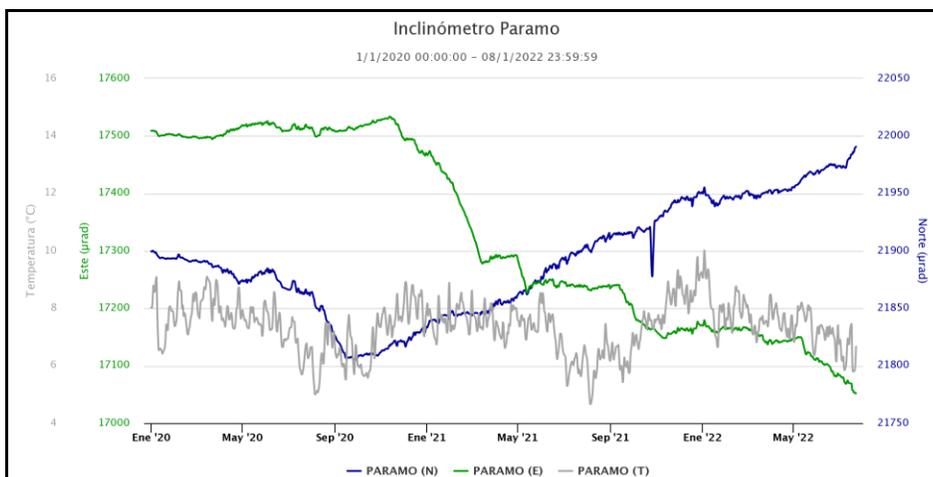


Figura 78. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de julio de 2022

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 79 y 80 se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas, La Palma y Petroglifo, observando estabilidad en los registros.

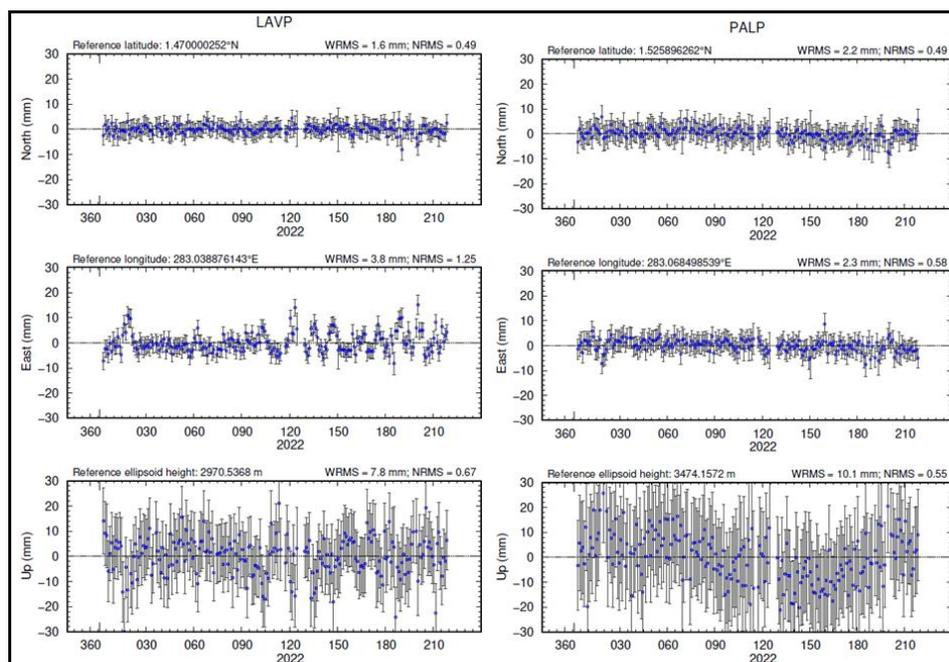


Figura 79. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS La Palma y Lavas, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 30 de julio de 2022

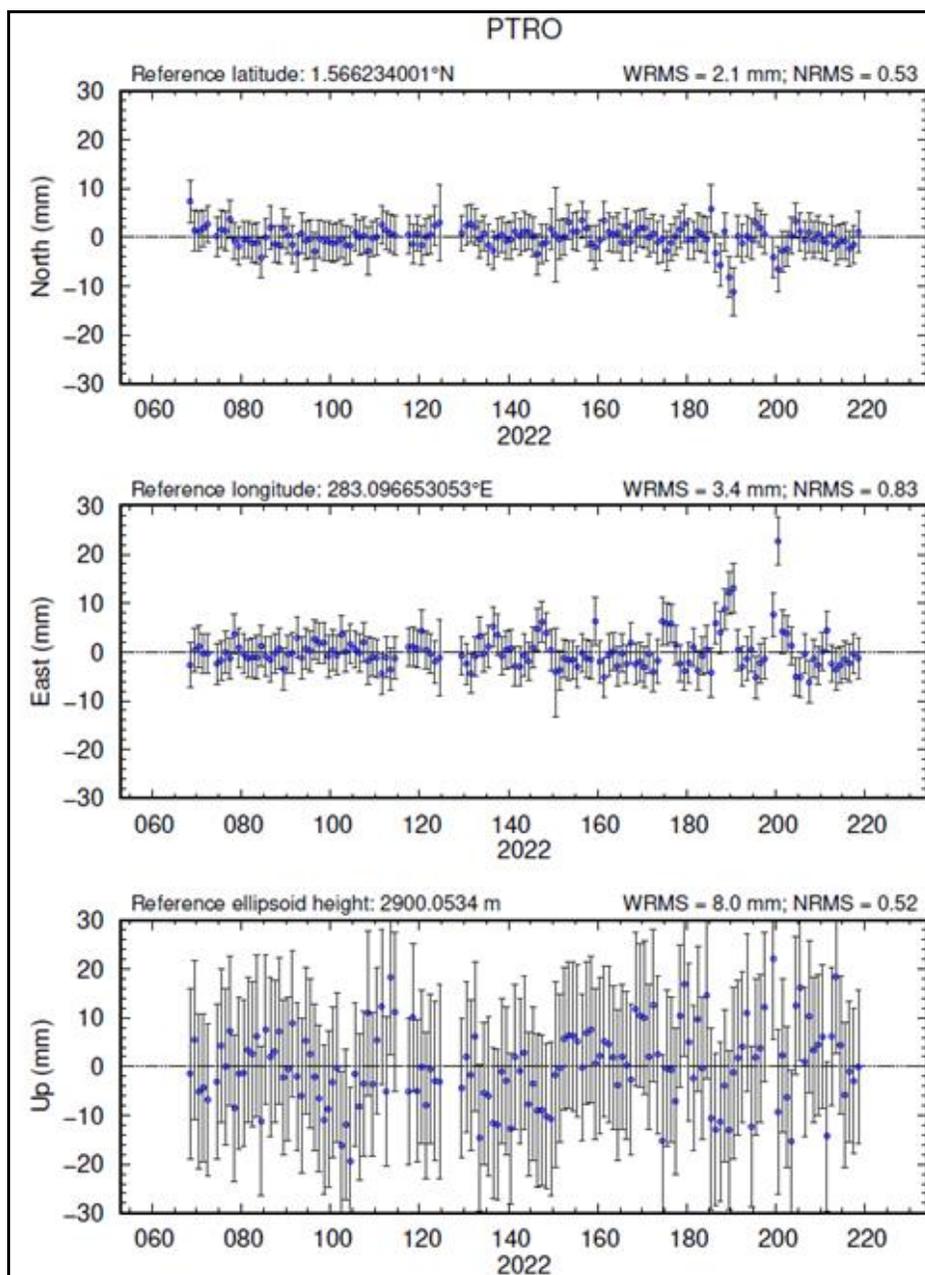


Figura 80. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Petroglifo, instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 9 de marzo de 2022 y el 30 de julio de 2022

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir, un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes, en la Figura 81, se muestra su ubicación y en la Figura 82, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

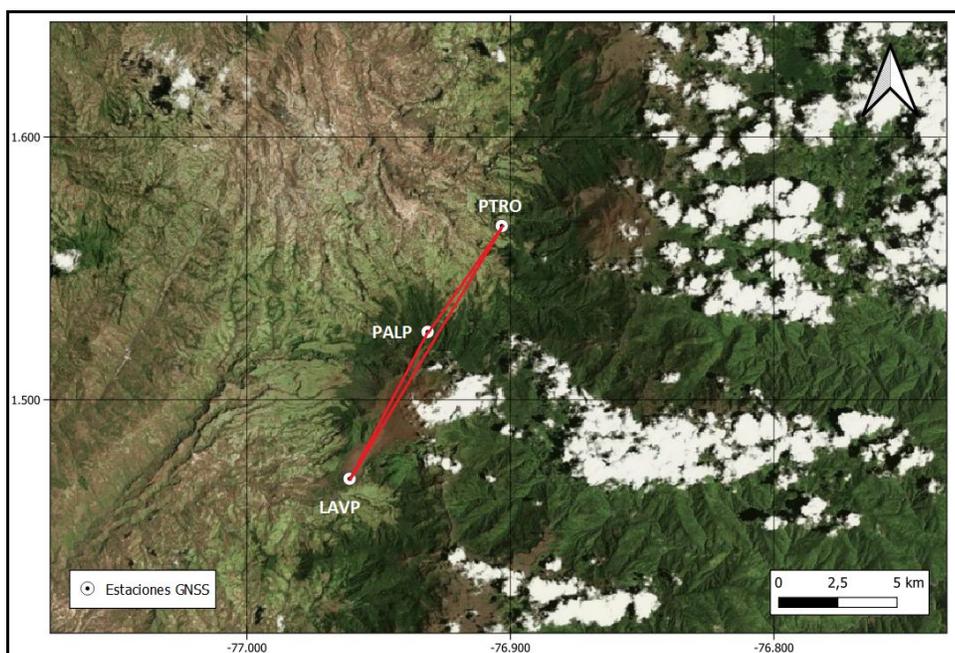


Figura 81. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana – Las Ánimas, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

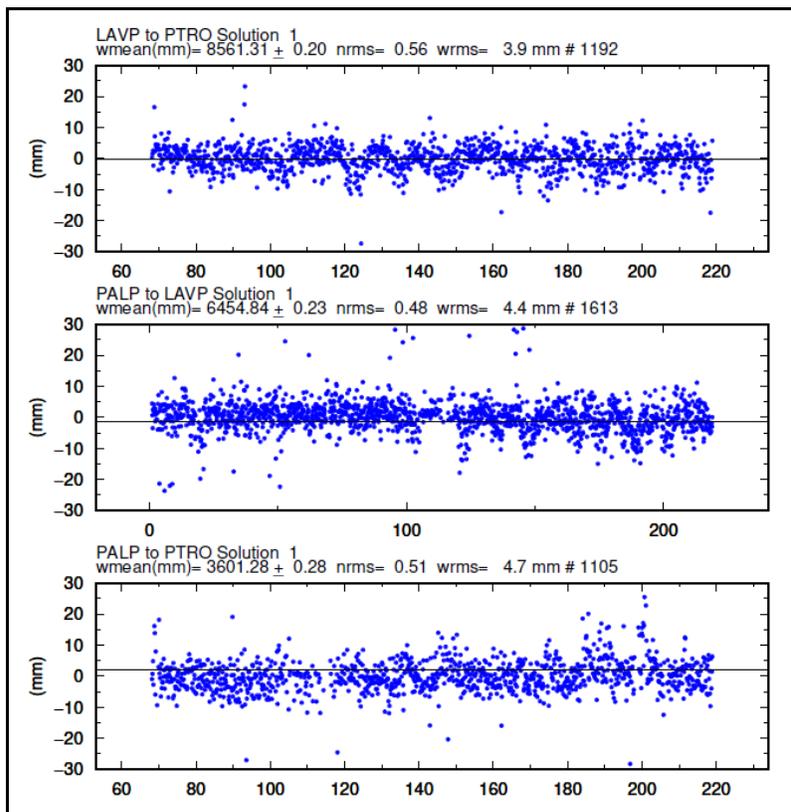


Figura 82. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

4.2.2.3. D-InSAR

En la Figura 83, 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.

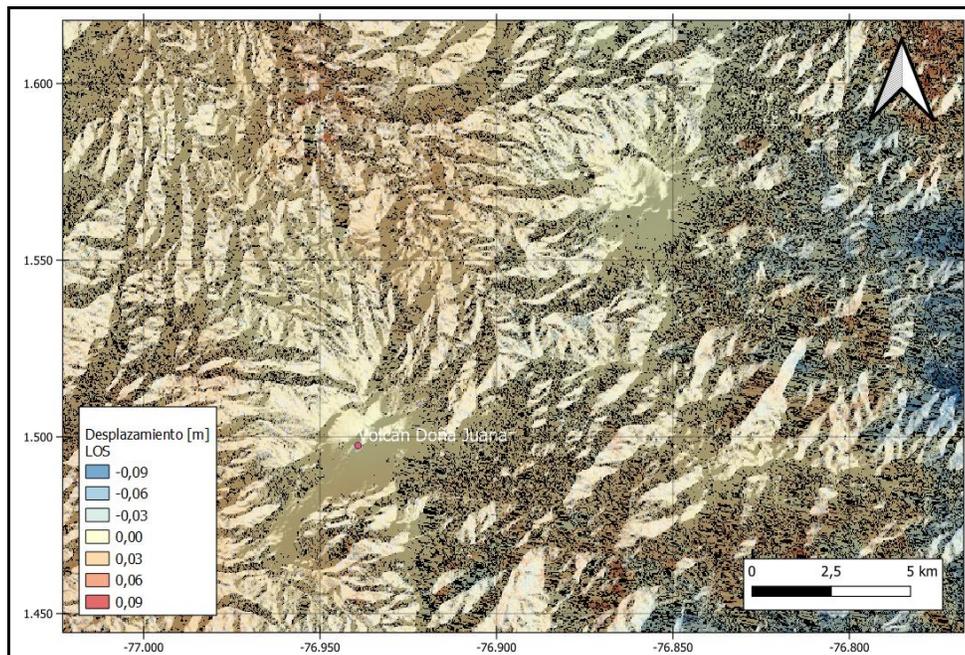


Figura 83. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas

4.1.4 Geoquímica

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

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

4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de julio de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial.

4.1.6 Conclusiones

- Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en julio del 2022 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas registró disminución, tanto en su ocurrencia, como en su energía liberada, en su totalidad debida a eventos asociados con fractura de roca y con magnitud local máxima de 0.5 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante julio del 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 84 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 25 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 85).

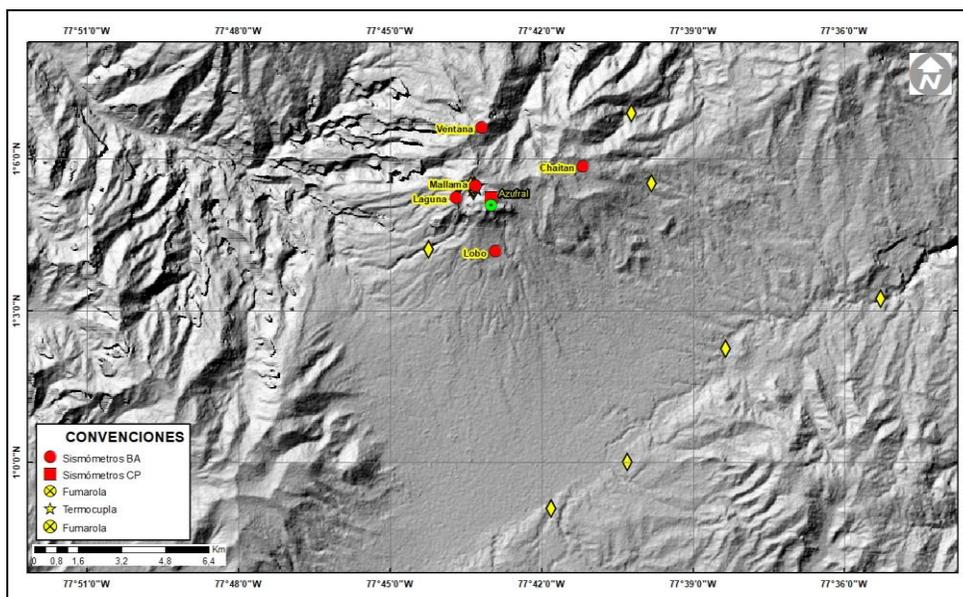


Figura 84. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de julio de 2022

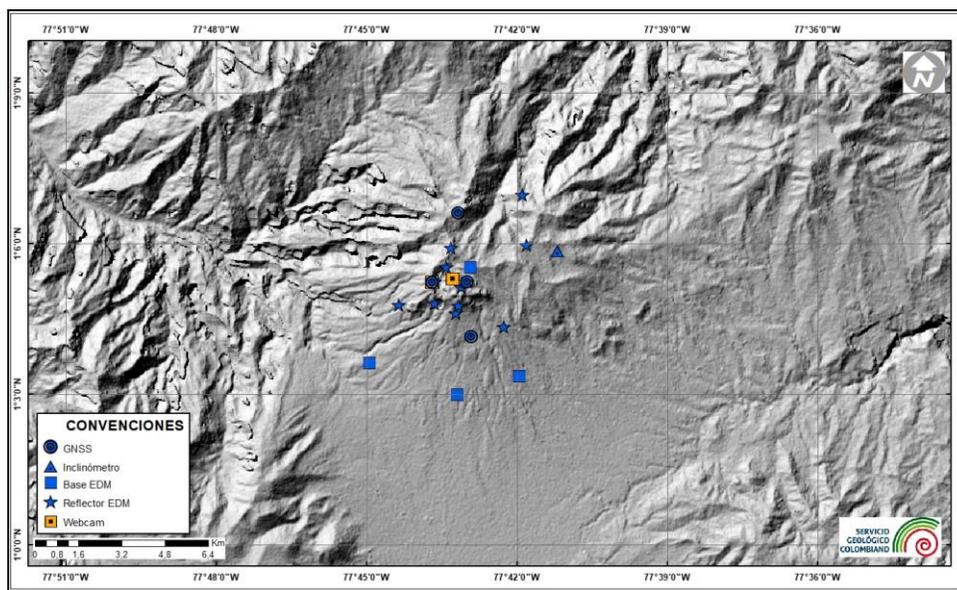


Figura 85. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de julio de 2022

Tabla 25. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de julio 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 100% para este mes (Figura 86).

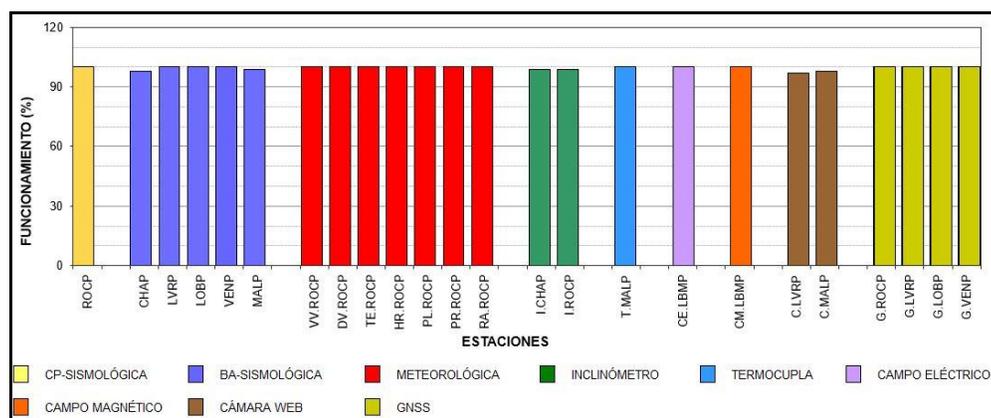


Figura 86. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante julio de 2022

4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en julio del 2022 la sismicidad en el volcán Azufraal disminuyó 68% su ocurrencia, pasando de 77 a 25 eventos, en su totalidad asociados con fractura de roca VT (Figura 87, Tabla 26). El pico de ocurrencia sísmica se registró el primero de julio con 4 eventos de tipo VT (Figura 87). La energía sísmica liberada disminuyó 56% su valor, pasando de 1.04×10^{13} ergios a 4.54×10^{12} ergios, correspondiendo en su totalidad a los eventos VT (Tabla 27, Figura 88). El pico energético se registró el 4 de julio con 1.75×10^{12} ergios.

Tabla 26. Número de eventos volcánicos por tipo en Azufraal, junio y julio del 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	73	3	0	1	77
Julio 2022	25	0	0	0	25

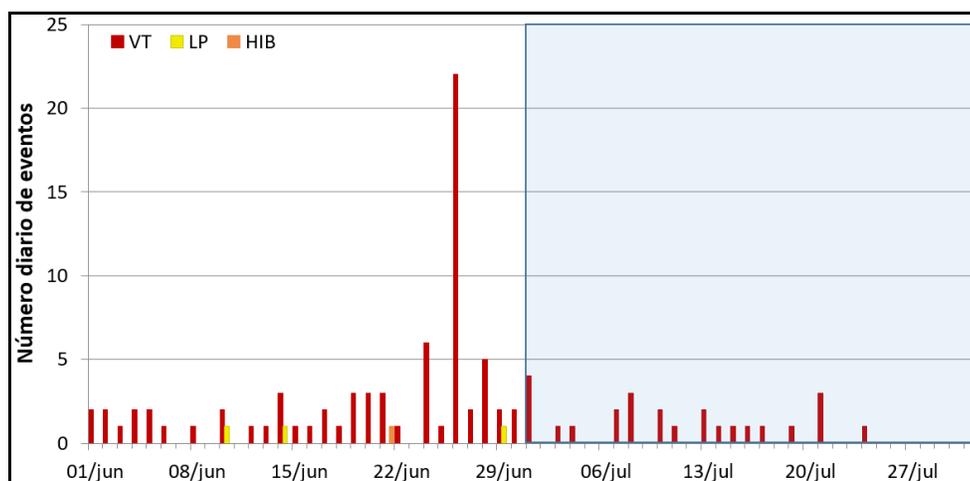


Figura 87. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufraal, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 27. Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufraal, junio y julio del 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Junio 2022	1.04E+13	4.54E+09	0.00E+00	7.21E+09	1.04E+13
Julio 2022	4.54E+12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.54E+12

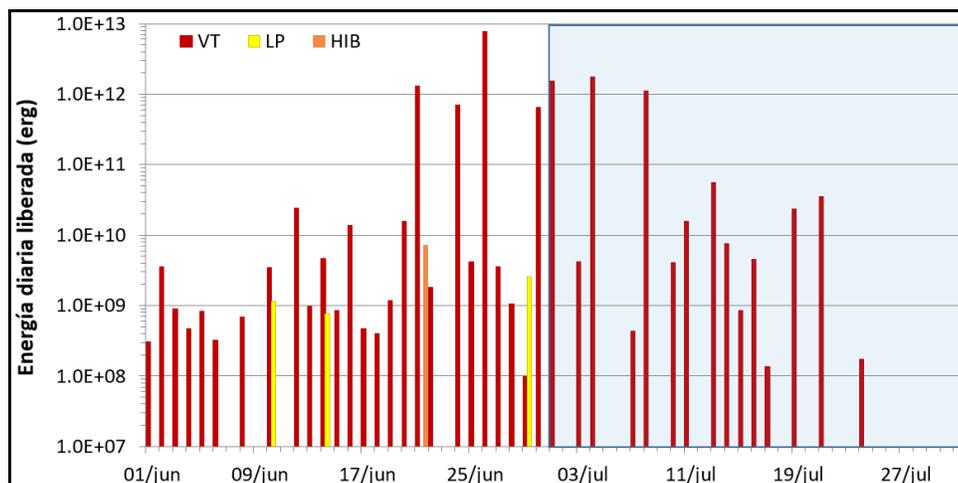


Figura 88. Energía diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, junio y julio del 2022. El recuadro indica el periodo evaluado

Se localizaron 9 sismos de forma dispersa (Figura 89), en distancias entre 1 y 11 km, con profundidades entre 4 y 15 km con respecto a la cima (4200 m), con ML máxima de 2.1 Richter; se destaca que 4 eventos registrados en fechas diferentes se agrupan al sur suroccidente del domo Mallama en una distancia promedio de 7 km, con diferentes profundidades y diferente energía (Figura 89). El sismo más energético del mes se registró el 4 de julio, a las 10:58 hora local (10:58 am), a 7 km al sur suroccidente del domo Mallama, con profundidad de 13 km con respecto a la cima (4200 m) y magnitud local de 2.1 Richter, sin reportes de sismo sentido (Figura 89).

Los sismos localizados son de baja energía, en julio se destacan 3 eventos VT con ML entre 1.5 y 2.1 Richter y en la Tabla 28 se muestran sus características de localización.

Tabla 28. Sismos con ML entre 1.5 y 2.1, volcán Azufral, julio 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
1/07/2022	00:51:57	1.0280	-77.7400	11	1.9
4/07/2022	10:58:08	1.0300	-77.7367	13	2.1
8/07/2022	04:55:55	1.1033	-77.7178	4	1.5

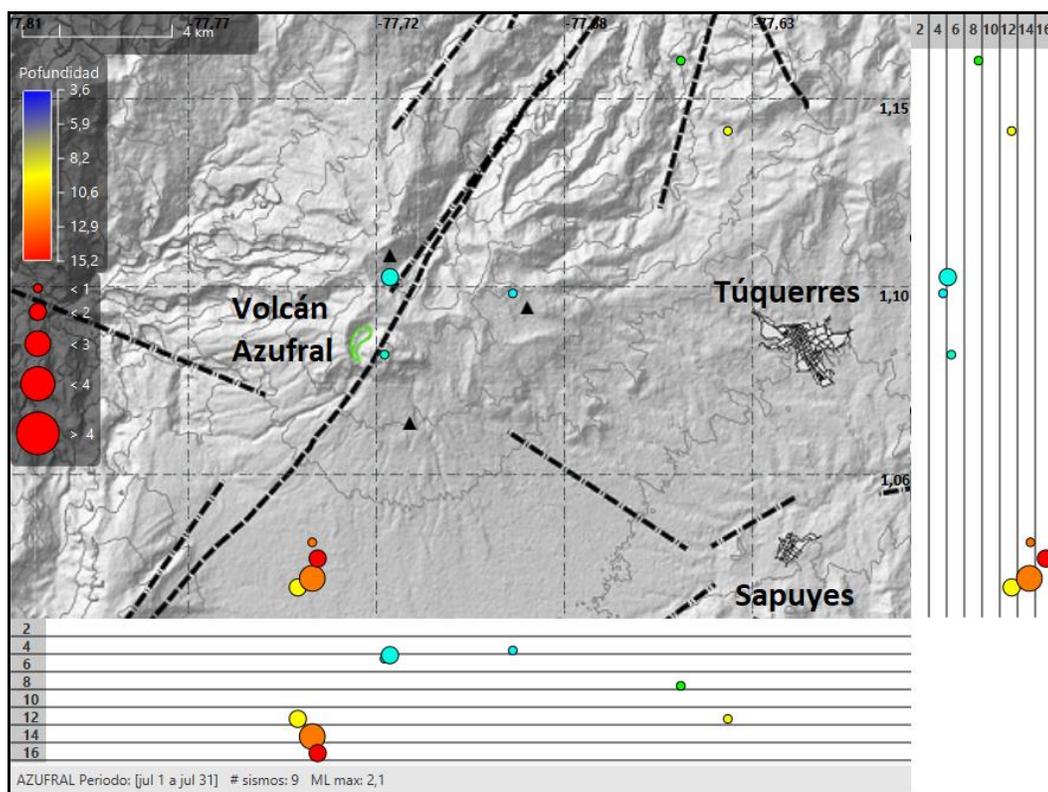


Figura 89. Localizaciones de sismos VT en Azufral, julio del 2022

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclinometría 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 135 μrad desde noviembre de 2018. La componente Este muestra una tendencia descendente que inicia a mediados de mayo de 2022, este cambio hasta el momento acumula unos 100 μrad (Figura 90); este último cambio puede estar asociado con el aumento del nivel del agua de la laguna Verde del volcán Azufral. El inclinómetro Chaitán muestra valores que no son adecuados por lo que es necesario realizar mantenimiento.

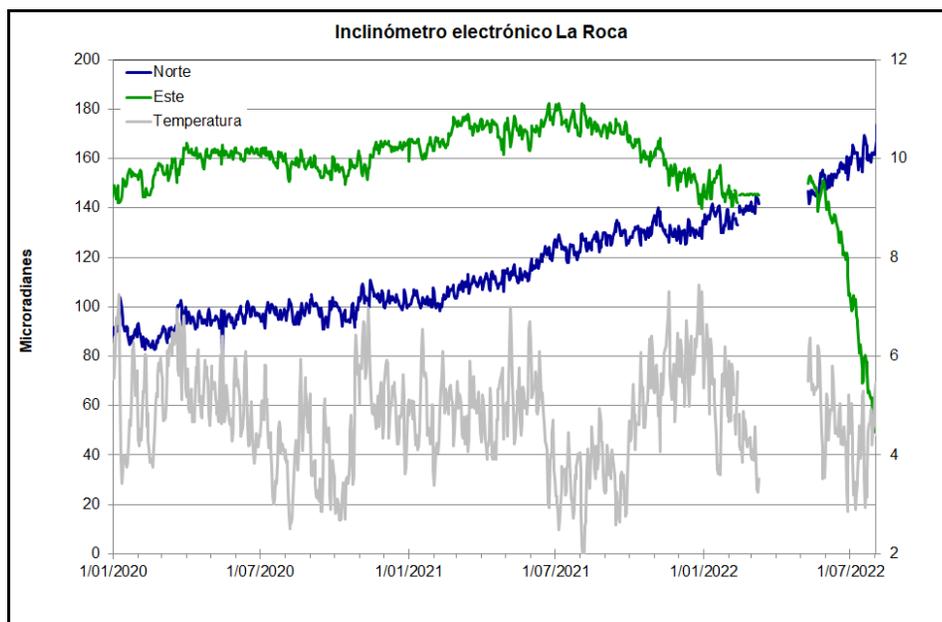


Figura 90. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de julio de 2022

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites. En la Figura 91, a manera de ejemplo se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Laguna y Roca instalados en Azufraal.

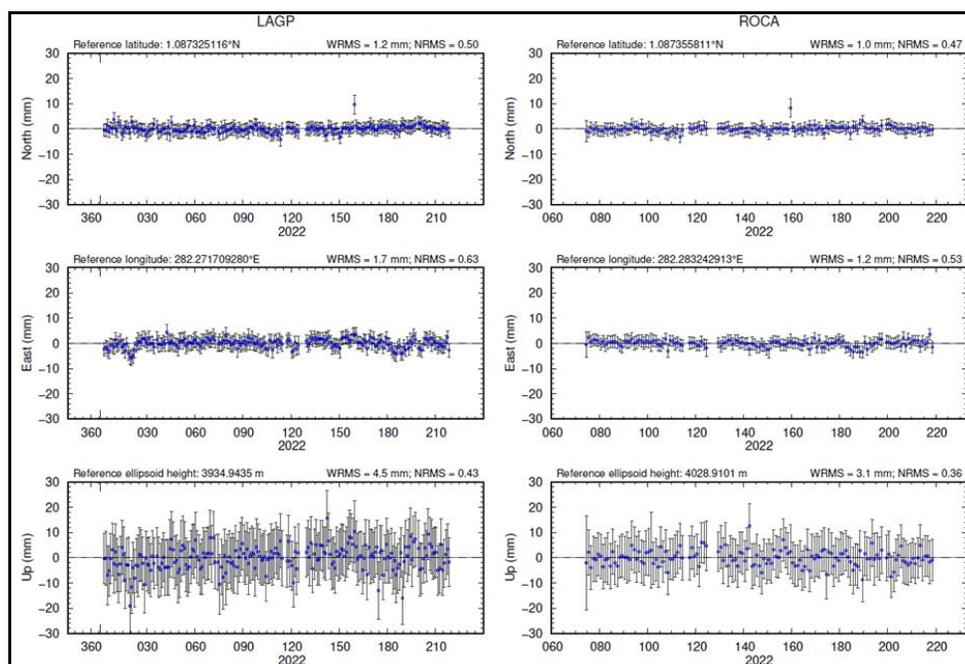


Figura 91. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna y Roca instaladas en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 30 de julio de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

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 92, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 93, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas líneas.

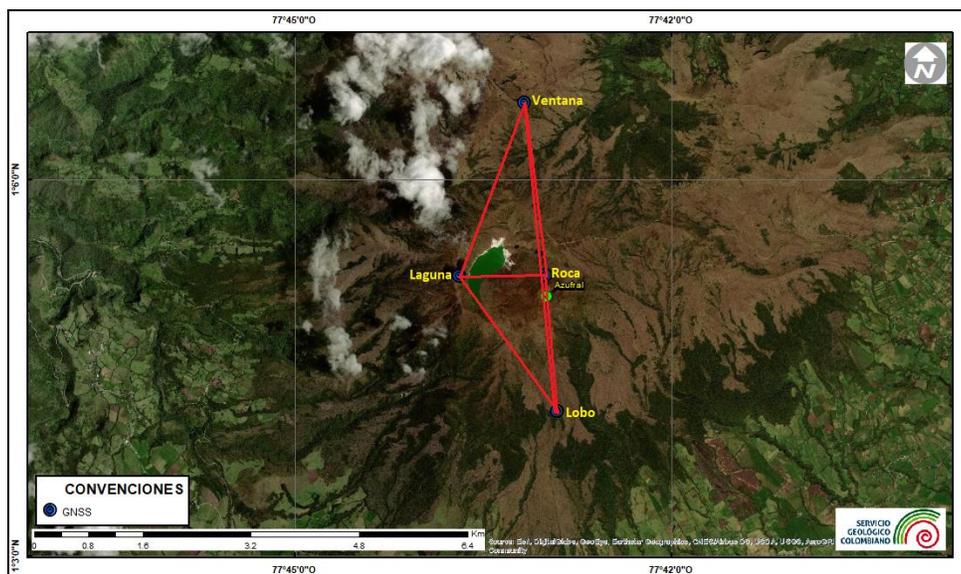


Figura 92. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

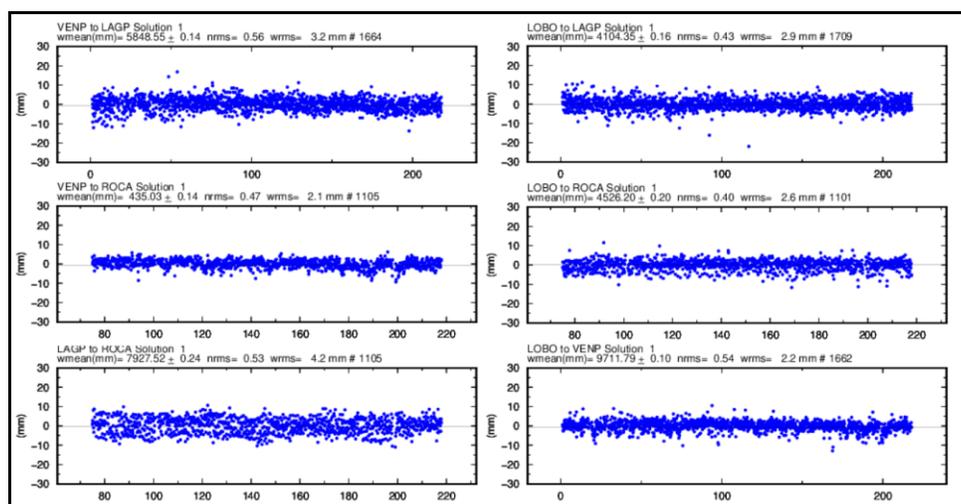


Figura 93. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de julio de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

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 94, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Azufra 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.

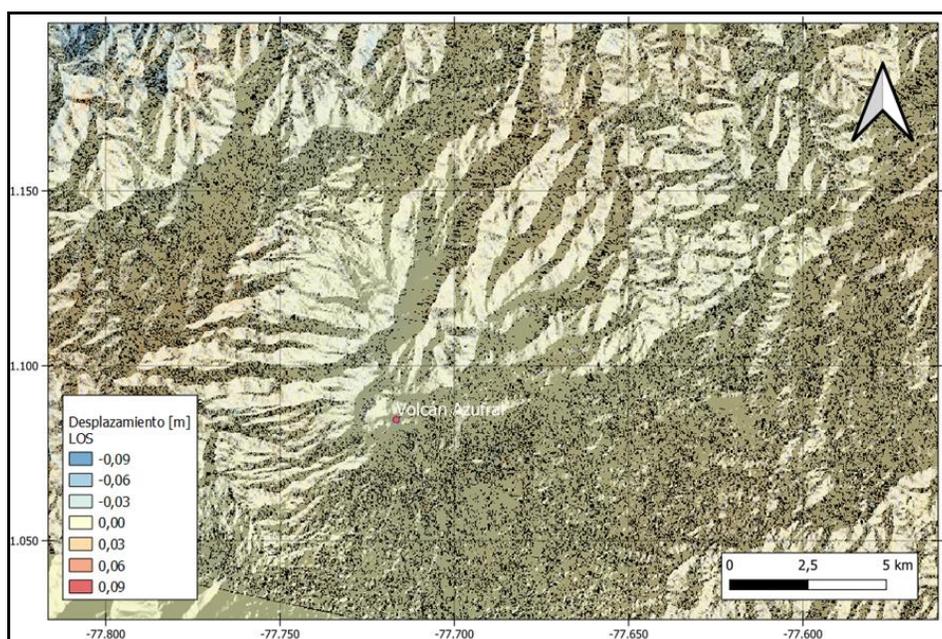


Figura 94. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 17 de julio de 2022 y el 29 de julio de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del volcán Azufra

4.2.4 Electromagnetismo

En julio de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Azufra 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. Este sensor se encontraba sin funcionar desde el 25 de noviembre del año pasado, pero los trabajos del grupo de electrónica del OVSP lo pusieron en funcionamiento a partir del 23 de junio de 2022. 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 95), 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 Azufra, 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 Azufra son aquellas que tienen un índice Kp ≥ 4 y, especialmente aquellos cuyo frente de onda impactan directamente con el hemisferio de la Tierra correspondiente a la zona de estudio del volcán Azufra. Entre finales de junio, 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 del volcán Azufra son aquellas con valores Kp de hasta 6; ocurridos entre el 14 y 15 de abril, con Kp=6; entre el 27 y el 29 de mayo, con Kp=5; en la primera mitad de julio de 2022, con Kp= 5 y entre el 18 y 23 de julio de 2022, con Kp=6. Estas tormentas mostraron gran afectación modificando los registros magnéticos tanto en amplitud, como en frecuencia (Figura 95).

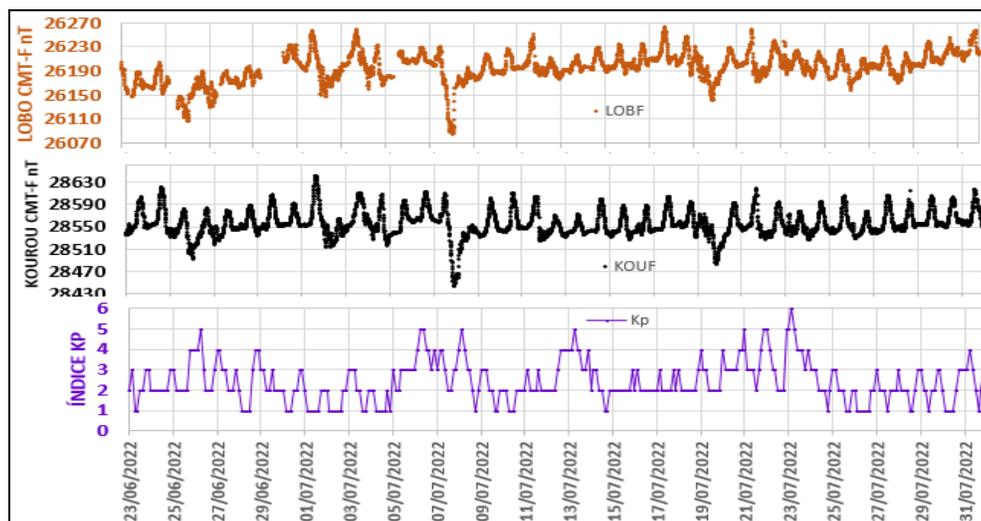


Figura 95. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azufra: LOB (naranja), comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre abril a julio de 2022

Desde finales de junio hasta inicio de 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, el comportamiento es un poco estable afectado por los efectos de las tormentas de ese mes. El CMT-F promedio para el registro entre junio y julio de 2022 fue de alrededor de 25.880 nT (Figura 95). La variación diaria de la serie temporal fue de aproximadamente 60 nT. La estación de referencia KOU tuvo un CMT-F promedio de alrededor de 28.570 nT, y variación diaria de alrededor de 60 nT (Figura 95). Adicionalmente, los días cuando se registraron tormentas geomagnéticas de índice Kp igual o mayor a 4 (Figura 96) se identifican variaciones en las series temporales, específicamente en amplitud y en frecuencia (Figura 96), y, pasado el efecto de la tormenta las series temporales tratan de volver al nivel anterior. Se resalta la tormenta de finales de junio (25 al 27 de junio de 2022) que genera una tendencia ascendente en los registros de LOB y, la tormenta generada entre el 7 y 8 de julio de 2022, que dispara un pulso en el registro de la serie temporal del CMT-F de LOB y una tendencia oscilante hasta finales del mes (Figura 96).

En julio de 2022, el comportamiento de las series temporales de LOB y KOU mostraron las mayores variaciones entre el 7 y 8 de julio; y entre el 19 y 21 de julio de 2022, fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas de índice Kp de 5 y de 6, respectivamente (Figura 96). La tormenta geomagnética ocurrida entre el 7 y 8 de julio

de 2022 generó una perturbación en los registros magnéticos de alrededor de 20 horas y un pulso de amplitud aproximada en LOB de 160 nT, en tanto que en KOU fue de alrededor de 160 nT. El segundo pulso más relevante de las tormentas geomagnéticas se inició el 18 de julio, de 2022, cuando el valor fue incrementando de índice Kp=3 a Kp=4, que se mantuvo hasta el 21 de julio, cuando cambió a índice Kp=5 y el 23 de julio llegó a un valor máximo de Kp=6; cayendo posteriormente a Kp=3. Esta segunda tormenta del mes afectó los registros de la estación magnética LOB, mostrando los mayores efectos de afectación en frecuencia, para el 19 de julio de 2022 y la máxima amplitud de perturbación el 21 de julio, con un máximo promedio de 110 nT. El 23 de julio, cuando el índice Kp llega a su máximo valor de 6, 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 96).

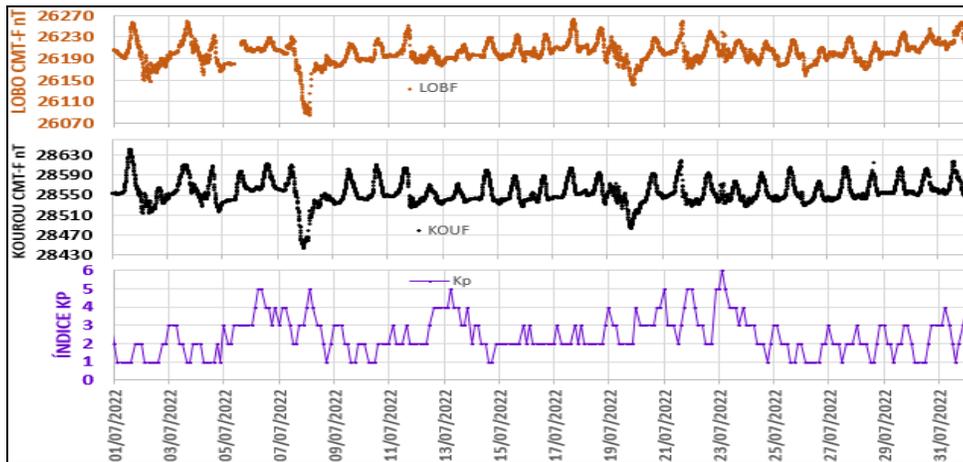


Figura 96. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del volcán Azuftral: LOB (naranja) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para julio de 2022

En el periodo de julio de 2022, el valor del CMT-F en LOB fue de alrededor de 25.900 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 96).

El análisis espectral del CMT-F en los registros magnéticos de las estaciones LOB y KOU muestran variaciones periódicas asociadas a las variaciones seculares (día-noche), propias de los campos geomagnético, 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 97).

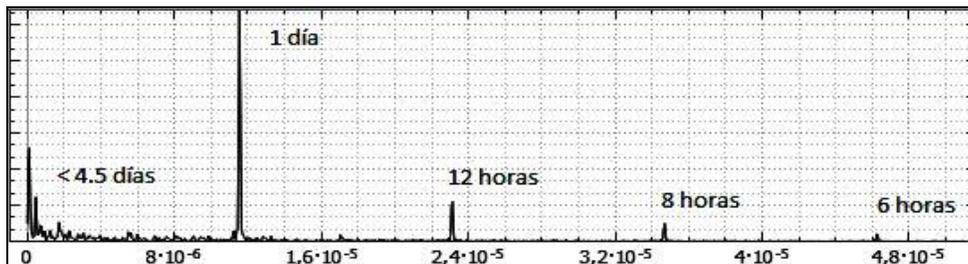


Figura 97. Espectro representativo de las series temporales del CMT-F, en la estación de monitoreo magnético LOB, del volcán Azufra y en la estación de referencia KOU

Corrigiendo los registros magnética de las estaciones LOB y KOU, para remover las variaciones seculares y poner los valores en términos de variación del CMT-F; así como también para remover el campo teórico; se obtuvieron series temporales más limpias que permiten identificar las variaciones locales del CMT-F. Aun cuando, en algunos casos, no es posible remover totalmente los efectos de las tormentas geomagnéticas externas; sin embargo, se puede identificar que las variaciones locales, cuando las condiciones de clima espacial no muestran perturbaciones grandes, presentan variaciones bajas, es así como las variaciones diarias del CMT-F, en la estación LOB son menores a 10 nT, evidenciando estabilidad desde esta área del monitoreo volcánico (Figura 98).

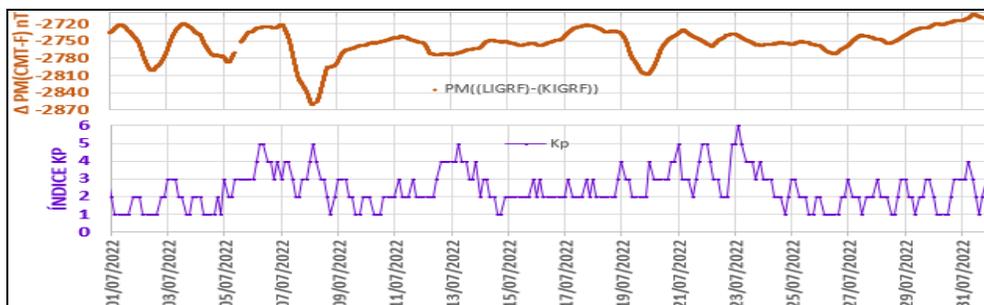


Figura 98. Variaciones del CMT-F, en las estaciones LOB (naranja) para el periodo de julio de 2022, graficados juntamente con el índice Kp (magenta)

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufra

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

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufra

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

4.2.5.3 Estación térmica domo Mallama

El 25 de agosto del año 2021, el grupo de electrónica realizó mantenimiento correctivo a la estación térmica Domo Mallama, la encontraron destruida debido a la corrosión y acidez que se presenta en el domo, debido al daño en esta termocupla, esta se reemplazó por un cable compensado cortocircuitar más o menos a unos 20 cm de donde está el gabinete, la temperatura que se ha registrado presenta valores entre 83.4 °C y 85.5 °C (Figura 99, Tabla 29), después de julio 17 se registraron datos anómalos, los cuales corresponden a daños en la estación, que se tienen que arreglar con visita técnica en campo del grupo de electrónica. En el registro que se tiene se observa estabilidad en los valores, los cuales se encuentran dentro de la línea base de comportamiento.

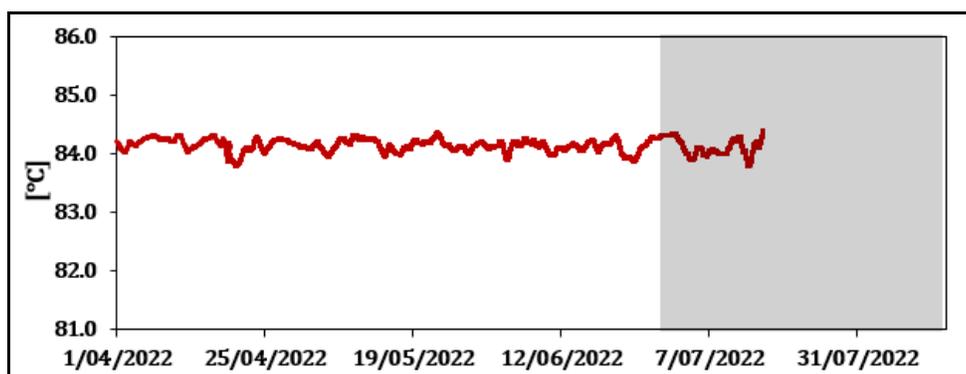


Figura 99. Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 29. Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufra – junio - julio de 2022

Valor	Junio	Julio
Mínimo	82.8	83.4
Promedio	84.1	84.1
Máximo	84.7	85.5

4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el volcán Azufra 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 100, 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 30, algunos valores de estadística básica para el mes evaluado. De manera general, las variables se encuentran dentro de la línea base del comportamiento.

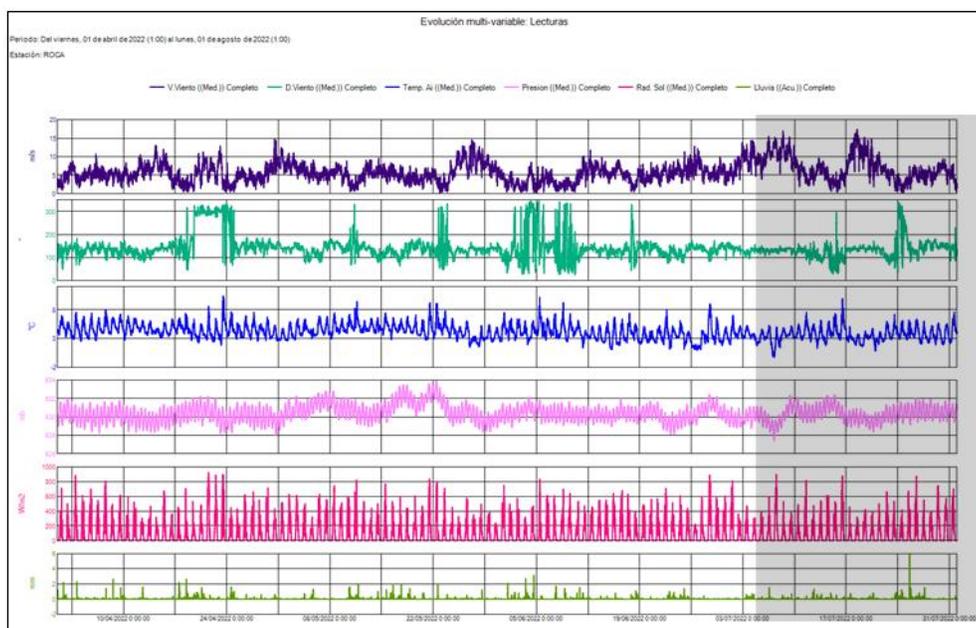


Figura 100. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán AzufraI. Abril – julio de 2022 (región sombreada: Julio)

Tabla 30. Datos parámetros estación climatológica La Roca – Julio de 2022

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (mm)
Med.	7.1	133.0	3.7	630.3	97.9	0.0
Máx.	17.4	337.9	9.9	632.5	896.3	5.9
ín.	0.3	28.0	0.0	628.1	0.0	0.0
Acu.	--	--	--	--	--	650.3

4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 1, 15, 23 y 24 del mes de julio de 2022.

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

En las Figuras 101 y 102 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



Figura 101. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 1 de julio de 2022 a las 7:40 a.m., (izquierda) y para el 15 de julio de 2022 a las 7:35 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 102. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas para el 23 de julio de 2022 a las 4:40 p.m., (izquierda) y para el 24 de julio de 2022 a las 3:10 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

- En los parámetros de temperatura del Domo Mallama y las variables meteorológicas, se evidencia estabilidad, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.
- Dentro de niveles bajos, en julio del 2022 la sismicidad en la zona de influencia del volcán Azufral disminuyó tanto su ocurrencia, como su energía diaria, siendo en su totalidad asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 2.1 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido.

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

5. VOLCANES MONOGENÉTICOS DEL PUTUMAYO – JULIO DE 2022

5.1 Red de Vigilancia

En la Figura 103 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 103) y una estación de GPS instalada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En la Tabla 31 se consignan sus características.

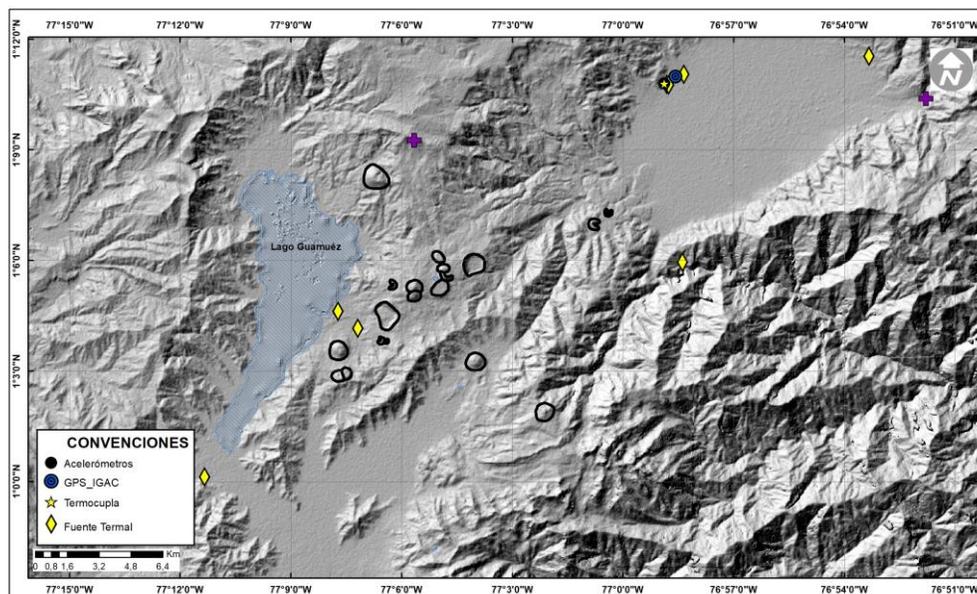


Figura 103. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en sismología, geofísica y fuentes termal en el Putumayo para el mes de julio de 2022

Tabla 31. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de los volcanes monogenéticos ubicados en el Departamento del Putumayo para el mes de julio 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 de los volcanes monogenéticos en el departamento del Putumayo alcanzó un porcentaje promedio de operación del 100% para este mes (Figura 104).

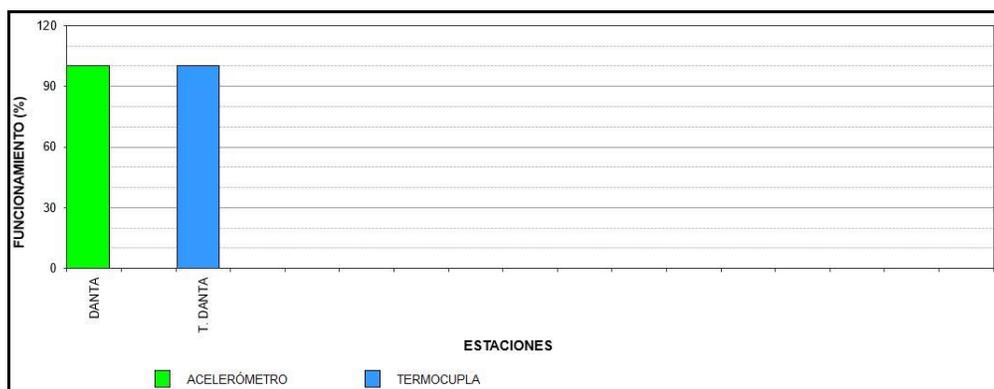


Figura 104. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes monogenéticos durante julio de 2022

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, Azuftral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de junio y julio del 2022. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

Bolaños, C. (25 de julio del 2022). Videos e imágenes: graves daños en Carchi por fuertes temblores. Metro World News.

<https://www.metroecuador.com.ec/noticias/2022/07/25/videos-e-imagenes-graves-danos-en-carchi-por-fuertes-temblores/>

USGS (30 de Agosto del 2022). Earthquake Hazards Program. Moment Tensor.

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000htbb/moment-tensor>

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

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

24;min=0;max=0.24;swipe=false;chart=cont;zoom=10;

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

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