SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles- Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana, Azufral en el Departamento de Nariño y el Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy en los departamentos de Nariño y Putumayo

Mayo, 2024

San Juan de Pasto, junio de 2024

COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Héctor Julio Fierro Morales
Director General

John Makario Londoño
Director Técnico de Geoamenazas

Roberto Torres Corredor
Coordinador Grupo Trabajo Evaluación, Monitoreo y Diagnóstico de Dinámicas Geológicas

Lourdes Narváez Medina
Líder Técnica Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto

Autores
Adriana Ortega Estupiñán
Angie Eraso Obando
Betty Silva Parra
Darío Arcos Guerrero
Diego Mauricio Gómez Martínez
Daniela Tobar Arcos
Diana Viveros Melo
Ingrith Realpe Ordoñez
Jairo Ortiz Valencia
Jessica Timarán Mera
John Meneses Muñoz
Karla Kreisberger Ortiz
Leidy Solano Trullo
Omar Cotazo
Oscar Cadena Ibarra
Paola Narváez Obando
Patricia Ponce Villarreal
Roberto Torres Corredor
Richard Mier Portilla
Yenny Hache Timaná

Grupo de Trabajo Evaluación, Monitoreo y Diagnóstico de Dinámicas Geológicas

Citación: Ortega et al, (2024). Informe Técnico - *Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles- Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana, Azufral en el Departamento de Nariño y el Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy en los departamentos de Nariño y Putumayo– mayo de 2024*. San Juan de Pasto: Servicio Geológico Colombiano.

Contenido

		Pág.
Resumen		1
Introducción		3
1	Actividad del Volcán Galeras – mayo de 2024	4
1.1	Red de Vigilancia	4
1.1.1	Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia	7
1.2	Sismología	8
1.3	Deformación	11
1.3.1	Inclinometría Electrónica	11
1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	12
1.3.3	D_InSAR	14
1.3.4	Series Temporales de Deformación con MintPy	15
1.4	Electromagnetismo	16
1.4.1	Estación climatológica de Cráter y estaciones de pluviosidad MJAP y MJAB	20
1.5	Geoquímica	21
1.5.1	Muestreo de Gases de Origen Volcánico en el Volcán Galeras	21
1.6	Actividad Superficial	23
1.7	Conclusiones	27
2	Actividad del volcán Cumbal – mayo de 2024	28
2.1	Red de Vigilancia	28
2.1.1	Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia	30
2.2	Sismología	31
2.3	Deformación	34
2.3.1	Inclinometría Electrónica	34
2.3.2	D- InSAR	35
2.4	Electromagnetismo	36
2.5	Geoquímica	36
2.5.1	Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2)	36
2.5.2	Muestreo de aguas en fuentes termales-volcán Cumbal.	37
2.6	Actividad Superficial	37
2.7	Conclusiones	39
3	Actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro de Mayasquer mayo de 2024	40
3.1	Red de vigilancia	40
3.1.1	Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia	42
3.2	Sismología	43
3.3	Deformación	46
3.3.1	Inclinometría Electrónica	46
3.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	48
3.3.3	D-InSAR	55
3.3.4	Series Temporales de Deformación con MintPy	55
3.4	Electromagnetismo	56
3.5	Geoquímica	60
3.5.1	Termocupla en fuente termal “Rincón Bello”.	60
3.6	Actividad Superficial	63

3.7 Conclusiones 63
4 Actividad de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral mayo de 2024 65
4.1 Red de vigilancia 65
4.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia 66
4.1.2 Sismología 67
4.1.3 Deformación 68
4.1.4 Electromagnetismo 74
4.1.5 Geoquímica 74
4.1.6 Actividad Superficial 74
4.1.7 Conclusiones 74
4.2 Actividad del volcán Azufral 75
4.2.1 Red de Vigilancia 75
4.2.2 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia 77
4.2.3 Sismología 78
4.2.4 Deformación 80
4.2.5 Electromagnetismo 83
4.2.6 Geoquímica 85
4.2.7 Actividad Superficial 91
4.2.8 Conclusiones 94
5 Campo volcánico Monogenético: Guamuez- Sibundoy (Nariño - Putumayo) – mayo de 2024 95
5.1 Red de Vigilancia 95
5.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia 95
5.1.2 Deformación 96
5.2 Conclusiones 97
6 Referencias 97

Índice de Figuras

Figura 1 Localización de las estaciones sísmicas que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2024 5
Figura 2 Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024 6
Figura 3 Localización de las estaciones para el seguimiento geoquímico que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024 6
Figura 4 Localización de las estaciones de campo geomagnético, acústicas, cámaras web y flujo de lodos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024 7
Figura 5 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVC en mayo de 2024 7
Figura 6. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante abril y mayo del 2024; el recuadro indica el periodo evaluado. 9
Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante abril y mayo 2024; el recuadro indica el periodo evaluado. 10

Figura 8. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, mayo 2024. 11
Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 11
Figura 10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 12
Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. 12
Figura 12. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cóndor y San Cayetano, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024, procesados con el software GAMIT/GLOBK..... 13
Figura 13. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Las líneas de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base..... 14
Figura 14. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan entre que estaciones fue determinada 14
Figura 15. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras. 15
Figura 16. Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, procesadas con el software ISCE para el área del complejo volcánico de Galeras, para el periodo comprendido entre el 14 de diciembre de 2014 y el 31 de mayo de 2024, del lado derecho se muestra la serie para la zona indicada con el triángulo, próxima al cráter principal, el cuadro de color negro indica un punto tomado como referencia para la generación de la serie..... 15
Figura 17. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVG: FRA (verde), BAR (azul) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre febrero a mayo de 2024. 18
Figura 18. Perturbaciones magnéticas generadas en los registros del CMT-F, debidas a las tormentas solares ocurridas entre el 10 y el 13 de mayo de 2024, en las estaciones magnéticas del BCMT ... 19
Figura 19. Localización de las estaciones magnéticas de la red del BCMT 19
Figura 20. Comportamiento de los parámetros climatológicos evaluados en la estación Cráter, correspondientes a pluviosidad (verde): acumulado de lluvias (azul); presión atmosférica (magenta); velocidad del viento (negro); rosa de los vientos con dirección de dispersión de los vientos en la zona; para el periodo entre enero y mayo de 2024..... 20
Figura 21. Concentración radón difuso en suelo- estación Lavas entre febrero y mayo de 2024 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas), el recuadro indica el periodo evaluado: mayo 2024..... 21
Figura 22. Concentración radón difuso en suelo - estación Lirios entre febrero y mayo de 2024, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas), el recuadro indica el periodo evaluado: Mayo 2024..... 22

Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a), c), e) y f) Barranco y b) d) Bruma 24
Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a), c) d) Bruma b) e) Barranco y f) Cóndor 25
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a) b) c) d) y f) Bruma y e) Barranco 26
Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a) Cóndor b) Bruma y c), d) y e) Barranco 27
Figura 27 Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia del Complejo Volcánico Cumbal en mayo de 2024 29
Figura 28 Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónico que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo de 2024 29
Figura 29 Mapa de localización de las estaciones de geofísica, cámaras web y sensor acústico que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo de 2024 30
Figura 30 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVC en mayo de 2024 30
Figura 31. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado. 32
Figura 32. Energía diaria de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante abril y mayo 2024; el recuadro indica el periodo evaluado 32
Figura 33. Sismos localizados en el CVC, mayo 2024 33
Figura 34. Sismogramas, espectrogramas y espectros en frecuencia de los dos eventos TOR de mayo 2024 en la componente vertical de la estación La Mesa del CVC 34
Figura 35. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento VLP del 11 de mayo del 2024 a las 02:29 hl (07:29 UTC), en la componente vertical de cuatro estaciones sísmicas del CVC 34
Figura 36. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. 35
Figura 37. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. 35
Figura 38. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal. 36
Figura 39. Estimación cualitativa de SO_2 obtenido con la aplicación TROPOMI para la segunda quincena de mayo de 2024. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores. 37
Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el complejo volcánico de Cumbal captadas por a) y c) la cámara Cumbal los días 01 y 12 de mayo del 2024 b) y d) la cámara de Boliche los días 10 y 12 de mayo del 2024. 38

Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captados por la cámara Boliche los días a) 12 de mayo c) 16 de mayo y c) 24 de mayo y b) por la cámara Cumbal el día 16 de mayo del 2024 39
Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara Boliche los días a) 24 de mayo y b) 25 de mayo. 39
Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por a) la cámara Boliche el día 26 de mayo y b) la cámara Cumbal el día 28 de mayo. 39
Figura 44 Ubicación de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de mayo de 2024. 41
Figura 45. Ubicación de las estaciones para el seguimiento de la deformación que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2024. 41
Figura 46. Ubicación de las estaciones para el seguimiento de parámetros geofísico y geoquímicos que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2024..... 42
Figura 47 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVCCN en mayo de 2024. 43
Figura 48 Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril y mayo 2024, el recuadro indica el periodo evaluado 44
Figura 49. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado 44
Figura 50. Localizaciones de sismos VT, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, mayo 2024 45
Figura 51. Sismogramas y espectro en frecuencia del evento VLP del 21 de mayo a las 09:30 am en la componente vertical de algunas estaciones sísmicas de los volcanes Chiles y Cerro Negro..... 46
Figura 52. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 47
Figura 53. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 47
Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico La Tola, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 47
Figura 55. 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 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. 48
Figura 56. Ubicación de las estaciones GNSS permanentes dedicadas al monitoreo de los cambios en superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, SGC (MORO, CGIP, CNGP, TOLP, CHLP, MOLP), e IGEPN (CENE, CHLW, CHLS, EANG). 48
Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLP y TOLP instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024..... 49
Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS MORO instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.. 50

Figura 59. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024..... 52
Figura 60. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CNGP y MOLP, instaladas en Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024..... 53
Figura 61. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CGIP, ubicada en cercanías del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro en la estación multiparámetro Canguil, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024. 53
Figura 62. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base. 54
Figura 63. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada..... 54
Figura 64. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro. 55
Figura 65. Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, procesadas con el software ISCE para el área del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo entre el 15 de octubre de 2014 y 31 de mayo de 2024, del lado derecho se muestran las series para las zonas indicadas con el triángulo, diferenciando dos zonas: el volcán Chiles (superior) y el volcán Cerro Negro (inferior), el cuadro de color negro indica un punto tomado como referencia para la generación de las series. 56
Figura 66 CMT-F en la estación de monitoreo magnético del CVCCN, MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo evaluado, correspondiente al mes de mayo de 2024. 59
Figura 67. Izq. CMT-F en la estación de monitoreo magnético del CVCCN, MOR comparada con el registro de la estación de referencia KOU, Der. Registro en frecuencias de la señal magnética. El periodo evaluado corresponde a mayo de 2024. 59
Figura 68. Comportamiento del gradiente magnético anual de la estación MOR (CVCCN), procesada con base en la estación de referencia KOU (azul), comportamiento de las tormentas geomagnéticas (magenta), para el periodo entre junio de 2023 y mayo de 2024. 60
Figura 69. Temperatura horaria en Fuente Termal Rincón Bello, durante los meses de enero a abril de 2024, el recuadro azul representa el periodo evaluado: mayo 2024. 61
Figura 70 Imágenes fotográficas de las fuentes termales visitadas. A) Baño Grande, B) La Cristalina, C) El infiernillo, D) Rincón Bello..... 61
Figura 71. Variación temporal de pH FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024..... 62
Figura 72. Variación temporal de Temperatura FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024..... 62
Figura 73.Variación temporal de C.E FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024..... 63
Figura 74. Ubicación de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Ánimas y Doña Juana para el mes de mayo de 2024. 66

Figura 75. Ubicación de las estaciones de deformación que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Ánimas y Doña Juana para el mes de mayo de 2024..... 66
Las redes instrumentales de monitoreo y vigilancia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas presentaron un porcentaje de funcionamiento promedio del 86%. (Figura 76)..... 66
Figura 77 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVADJ en mayo de 2024..... 66
Figura 78. Ocurrencia y energía diaria de sismos de fractura VT en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado..... 67
Figura 79. Localizaciones de sismos VT en Doña Juana y Las Ánimas, mayo 2024..... 68
Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 69
Figura 81. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. 69
Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 69
Figura 83. 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 2023 y el 31 de mayo de 2024..... 70
Figura 84. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Petroglifo y Palma, instaladas sobre la superficie del complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024. 71
Figura 85. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana y Las Ánimas, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base. 72
Figura 86. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada. 73
Figura 87.Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas..... 74
Figura 88 Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2024 76
Figura 89. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del volcán Azufral en el mes de abril de 2024 76
Figura 90. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo geoquímico y geofisico del volcán Azufral en el mes de abril de 2024..... 77
Figura 91. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Azufral en mayo de 2024 77
Figura 92. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado. 78

Figura 93. Energía diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado. 79
Figura 94. Localizaciones de sismos VT en Azufral, mayo 2024 79
Figura 95. 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 2023 y el 31 de mayo de 2024. 80
Figura 96. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 20 de abril de 2024 y el 31 de mayo de 2024. 80
Figura 97. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Roca (para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024) y Mirador (para el periodo entre el 11 de noviembre de 2023 y el 31 de mayo de 2024) instaladas en Azufral. 81
Figura 98. 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. 82
Figura 99. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada. 82
Figura 100. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Azufral. 83
Figura 101. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde) entre julio de 2023 y mayo de 2024. 84
Figura 102. Variaciones del promedio móvil del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde) entre julio de 2023 y mayo de 2024. 85
Figura 103. Variaciones del promedio móvil del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde), en mayo de 2024. 85
Figura 104. Imágenes fotográficas de las fuentes termales visitadas. A) La Cabaña, B) San Ramón, C) LV N°4, D) LV N°1, E) LV N°3, F) Laguna Verde, G) Quebrada Blanca, H) Tutachag, I) Arrayán Salado, J) Salado de Malaver. 86
Figura 105. Variación temporal de pH FT- Volcán Azufral- 2014-2024. 87
Figura 106. Variación temporal de Temperatura FT- Volcán Azufral- 2014-2024. 87
Figura 107. Variación temporal de C.E FT- Volcán Azufral- 2014-2024. 88
Figura 108. Recolección de gases y medición de Temperatura campo fumarólico Domo Mallama – Volcán Azufral. 88
Figura 109. Temperatura en Domo Mallama, febrero a mayo de 2024, periodo evaluado: mayo 2024. 89
Figura 110. Valores de velocidad del viento, temperatura del aire, presión y radiación solar registrados en la estación climatológica La Roca, Volcán Azufral: febrero – mayo de 2024 (región sombreada: mayo). 90
Figura 111. Rosa de los vientos con la dirección del viento de la estación Roca, en el periodo de febrero a mayo de 2024. 90

Figura 112. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 01 de mayo y b) 02 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 91
Figura 113 Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 03 de mayo y b) 06 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 92
Figura 114. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 12 de mayo y b) 14 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 92
Figura 115. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 15 de mayo y b) 16 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 92
Figura 116. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 17 de mayo y b) 22 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 93
Figura 117. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 23 de mayo y b) 24 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 93
Figura 118. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 25 de mayo y b) 26 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 93
Figura 119. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 27 de mayo y b) 28 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 94
Figura 120. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 29 de mayo y b) 30 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán... 94
Figura 121. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico del Campo volcánico Monogenético: Guamuez- Sibundoy durante el mes de mayo de 2024 95
Figura 122 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVMGS en mayo de 2024. 96
Figura 123. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del campo volcánico monogenético Guamuez (Sibundoy – Putumayo). 96

Índice de Tablas

Tabla 1 Red de vigilancia del volcán Galeras para el mes de mayo del 2024 4
Tabla 2 Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, abril y mayo 2024 8
Tabla 3 Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, abril y mayo 2024 9
Tabla 4 Sismos con ML de 2.7 y 2.3, volcán Galeras, mayo 2024 10
Tabla 5 Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m^3- estación Lavas - Volcán Galeras, abril - mayo de 2024 21
Tabla 6 Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m^3- estación Lirios - Volcán Galeras, abril 22
Tabla 7 Red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo del 2024 28
Tabla 8 Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, abril y mayo 2024 31
Tabla 9 Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, abril y mayo 2024 31
Tabla 10 Red de vigilancia del volcán CVCCN para el mes de mayo del 2024 40
Tabla 11 Número de eventos volcánicos por tipo, Chiles - Cerro Negro, abril y mayo 2024 43
Tabla 12 Energía de eventos volcánicos por tipo, Chiles - Cerro Negro, abril y mayo 2024 45
Tabla 13. Sismo VT con ML 2.0, Chiles - Cerro Negro, mayo 2024 45

Tabla 14 Valores de temperatura horario en ° C – FT Rincón Bello - Volcán Chiles de los meses de abril a mayo de 2024. 61
Tabla 15 Red de vigilancia del CVDJA para el mes de mayo del 2024 65
Tabla 16 Número de eventos volcánicos por tipo, Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024 67
Tabla 17 Energía de eventos volcánicos por tipo, Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024 67
Tabla 18 Red de vigilancia del volcán Azufral para el mes de mayo del 2024 75
Tabla 19 Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024 78
Tabla 20 Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024 78
Tabla 21Sismo con ML de 0.8, volcán Azufral, mayo 2024. 80
Tabla 22 Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral: Abril a mayo de 2024 89
Tabla 23 Datos parámetros estación climatológica La Roca – mayo de 2024. 91
Tabla 24 Red de vigilancia del CVMGS para el mes de mayo del 2024 95

Resumen

En mayo, la actividad de las estructuras volcánicas monitoreadas por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto del Servicio Geológico Colombiano (SGC-OVSPA) del Segmento Volcánico Sur de Colombia (SVSC), se caracterizó por presentar cambios en los parámetros monitoreados, especialmente en la sismicidad.

En el volcán Galeras se registraron 1280 sismos con una disminución en su valor del 28% respecto a abril de 2024, predominando la actividad asociada con fractura de roca con 878 sismos volcano tectónicos (VT), seguida por la sismicidad relacionada con movimiento transitorio de fluidos que totalizó 330 sismos de Largo Periodo (LP). Los máximos diarios de ocurrencia sísmica se registraron el 2 y el 3 de mayo con 126 y 147 eventos. La energía sísmica liberada fue de $1.70x10^{14}$, menor que la liberada en abril que fue de $2.06x10^{14}$ ergios. Esta variación en la energía obedeció principalmente a la ocurrencia de dos eventos VT con magnitud local (ML) de 2.7 y 2.3 el día 18 de mayo a las 6:38 a.m. y 1:08 p.m. respectivamente. Se localizaron 71 sismos VT, 37 de ellos ubicados en inmediaciones del cono activo, en distancias entre 0.1 y 1.3 km, con profundidades entre 1 y 5 km con respecto a la cima de Galeras (~4200 msnm) y ML máxima de 1.0. Se destaca dos eventos VT registrados al nororiente de Galeras el 18 de mayo con ML de 2.7 y 2.3.

En el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) se tuvo una disminución en comparación con el mes de abril en la ocurrencia sísmica, pasando de 3039 a 1992 sismos, de los cuales el 52% del total se asociaron con procesos de fractura de roca (VT), seguida por el 26% de sismos generados por movimientos de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP). La sismicidad relacionada con movimiento de fluidos de fuente persistente (episodios de tremor) aportaron el 20% de la ocurrencia sísmica. La energía sísmica libertada disminuyó en comparación con el mes de abril pasando de $4.29x10^{10}$ ergios a $9.76x10^{11}$ ergios. Se localizaron 10 sismos VT de bajo nivel energético, ubicados en inmediaciones del cráter La Plazuela al nororiente del CVC con distancias entre 7 y 8 km y profundidades entre 7 y 9 km con respecto a la altura de referencia (~4700 msnm) y ML máxima de 2.3 sin reporte de sentido. Además, se registraron 2 eventos LP tipo tornillo (con oscilaciones armónicas amortiguadas y caracterizados por el decaimiento lento de su coda).

En el Complejo volcánico Chiles y Cerro Negro (CVCCN), la sismicidad disminuyó con respecto al mes anterior, pasando de 3583 a 2670 eventos. El mayor aporte fue de los sismos VT con 2024 que representan el 78% del total registrado. El 2 y el 14 de mayo se registraron los máximos diarios de ocurrencia sísmica, que respectivamente fueron de 167 y 161 eventos, la gran mayoría de tipo VT. Los sismos LP representaron el 13% de la sismicidad, seguido de 156 eventos asociados con flujo de masa de muy baja frecuencia (VLP) que representan el 6% del total general. De manera similar a lo registrado en meses anteriores, la energía sísmica presentó fluctuaciones en sus valores y en mayo disminuyó 82% respecto a abril, al pasar de $9.75x10^{14}$ ergios a $1.71x10^{14}$ ergios. Se localizaron 319 sismos VT que se distribuyeron en 2 grupos principales, un grupo que se ubicó en la cima de Chiles y la zona de colapso del flanco (al norte de la cima), en distancias entre 0 y 1.5 km, con profundidades entre 1 y 6 km y ML máxima de 1.7. Solo se registró un evento con ML de 2, a una distancia de 3 km hacia el sur de Chiles con profundidad de 5 km sin reportes de sentido.

En los volcanes Doña Juana y Las Ánimas se observó un leve descenso en la energía en comparación con abril. Se registraron 11 sismos VT que liberaron una energía de $6.30x10^{12}$ ergios. Se localizaron

8 sismos VT, ubicados de manera dispersa pero preferencialmente en la dirección entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, con mayor cercanía a este último, en distancias entre 1.5 y 9.0 km del volcán Doña Juana, con profundidades entre 5 y 15 km con respecto a la altura de su cima (~4200 msnm) y ML máxima de 1.1

Para el volcán Azufral, en mayo se presentó una disminución en la ocurrencia sísmica con respecto al mes anterior, pasando de 24 a 9 eventos los sismos VT. La energía sísmica también disminuyó al pasar de 4.34×10^{10} ergios a 3.20×10^{9} ergios. Se localizaron 5 sismos que se ubicaron de manera dispersa en la región volcánica con profundidad entre 2 y 8 km respecto a la altura de referencia (~4000 msnm) y ML máxima de 0.8. Los demás eventos fueron de baja energía.

Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se establece que los volcanes Galeras, Cumbal y Chiles – Cerro Negro continúan en estado de "*ALERTA AMARILLA: volcanes con cambios en el comportamiento del nivel base de los parámetros monitoreados y otras manifestaciones*". Los volcanes Azufral, Doña Juana y Ánimas continúan en estado de "*ALERTA VERDE: volcanes activos en reposo*".

Introducción

Durante mayo de 2024, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSPA), continuó con su misión institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Azufral, Doña Juana y Las Ánimas en el departamento de Nariño y el Campo Volcánico Monogenético Guamuez-Sibundoy en los departamentos de Nariño y Putumayo, mediante el monitoreo permanente y en tiempo real. Esto permitió evaluar el estado de alerta por actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y manifestaciones de los campos volcánicos y los volcanes activos pueden variar a través del tiempo y por ello, la necesidad del monitoreo, el cual consiste en la observación sistemática, la evaluación y el diagnóstico de la actividad volcánica a través de diferentes de disciplinas involucrando técnicas geofísicas, geoquímicas y geológicas. Los cambios en el comportamiento de la actividad son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y pueden ser provocados por procesos tectónicos, hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de variables termodinámicas como de volumen, temperatura, presión con 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 del procesamiento 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 de cada volcán en sus diferentes áreas de estudio.

1 Actividad del Volcán Galeras – mayo de 2024

1.1 Red de Vigilancia

La Tabla 1 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis, a nivel general los instrumentos se encuentran en sitios con altitudes aproximadas hasta de 4.134 msnm y distancia mínima de 0.6 m en inmediaciones del cráter principal.

Tabla 1 Red de vigilancia del volcán Galeras para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO	No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE CORTO PERIODO	Loma Larga	LOMP	35	SENSORES GNSS	Barranco	BARP
2		Viviana	VIVP	36		Coba Negra	COBP
3	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Achalay	ACHP	37		Cóndor	CONP
4		Anganoy	ANGP	38		Cráter	CRAP
5		Arles	ARLP	39		Cufiño	CUFP
6		Calabozo	CALP	40		Ingenio	INGP
7		Coba Negra	COBP	41		Mapachico	MAPP
8		Cóndor	CONP	42		Nariño	NARP
9		Cráter 1	CRAP-1	43		Peladitos	PELP
10		Cráter 2	CRAP-2	44		San Cayetano	SCNP
11		Cufiño	CUFP	45		San Felipe	FELP
12		Ingenio	INGP	46	SCANDOAS	Barranco	BARP
13		Morasurco	MORP	47		Alto Jiménez	JIMP
14		Nariño	NARP	48		Tinajillas	TINP
15		Obonuco	OBON	49	TERMOCUPLAS	Deformes	DEFP
16		San Felipe	FELP	50		Paisita	PAIP
17		Tosoabí	TOSP	51	SENSORES RADÓN	Lavas	RLAP
18		Urcunina	URCP	52		Lirios	RLIP
19	ACELERÓMETROS	Mijitayo Alto	MJAP	53		Parques	PAQP
20		Mijitayo Bajo	MJBP	54	SENSORES METEOROLÓGICOS		CRAP-AN
21	SENSORES DE INFRASONIDO	Calabozo 1	CALP-1	55			CRAP-BA
22		Calabozo 2	CALP2	56			CRAP-PI
23		Cráter 1	CRAP-1	57			CRAP-PL
24		Cráter 2	CRAP-2	58			CRAP-TH
25		Ingenio 1	INGP-1	59		Mijitayo Alto	MJAP-PL
26		Ingenio 2	INGP-2	60		Mijitayo Bajo	MJBP-PL
27	INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS	Arles	ARLP	61	MAGNETÓMETROS	Barranco	BAMP
28		Calabozo	CALP	62		Deformes	DEFP
29		Coba Negra	COBP	63		Frailejones	FRAP
30		Cóndor	CONP	64	CÁMARAS WEB	Barranco	BARP
31		Cráter	ICRP	65		Bruma	BRUP
32		Huairatola	HUAP	66		Cóndor	CONP

33		Peladitos	PELP	67		Morasurco	COSP
34		Urcunina	URCP	68		Morasurco	MR1P
				69		OVSP	OVSP

Según la tabla anterior estos se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- ***Estaciones Sísmicas:*** La red está compuesta por dieciocho estaciones sísmicas telemétricas triaxiales dos (2) de corto periodo y dieciséis (16) de banda ancha, dos y (2) acelerómetros. (Figura 1)

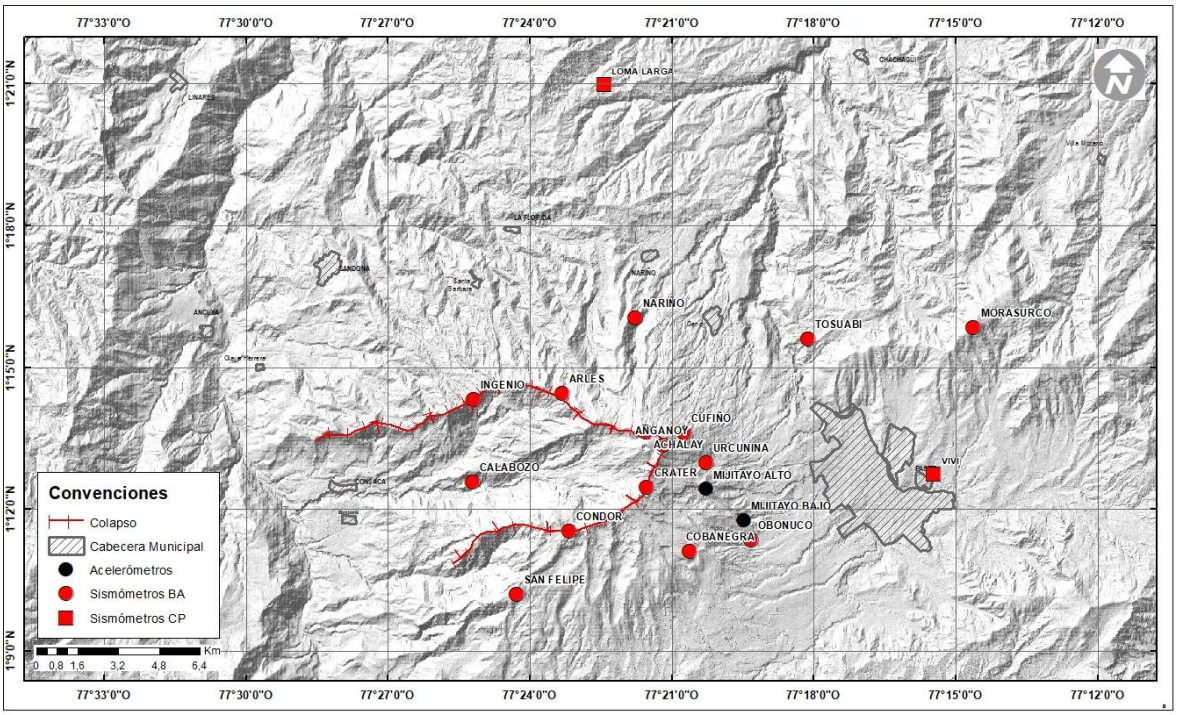


Figura 1 Localización de las estaciones sísmicas que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2024

- ***Instrumentos para el seguimiento de Deformación****:* Ocho (8) inclinómetros electrónicos; (11) estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital). (Figura 2)

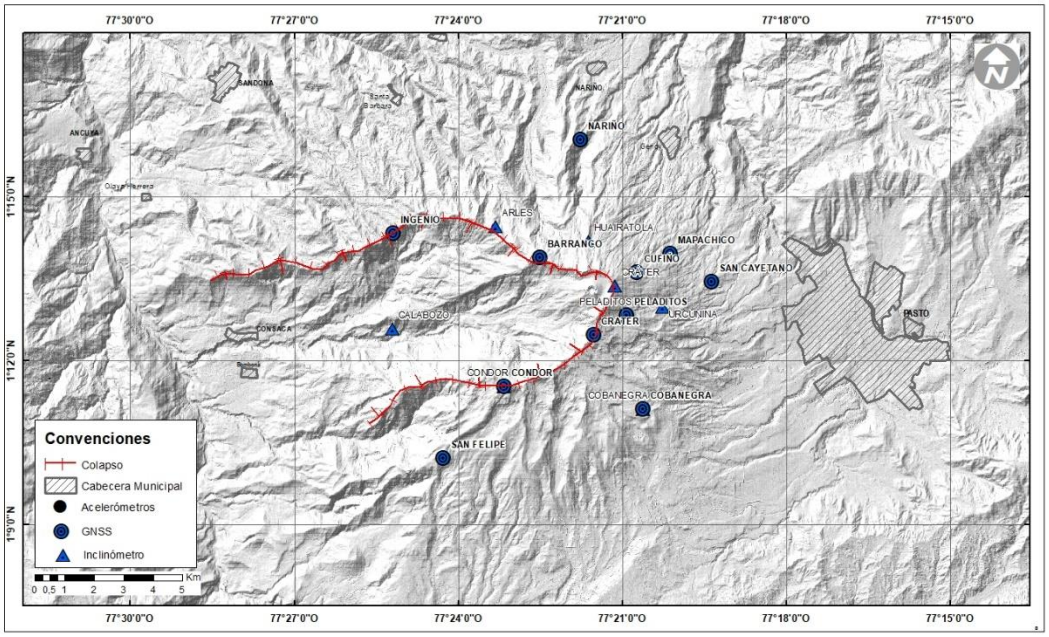


Figura 2 Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024.

- ***Instrumentos para el seguimiento de parámetros Geoquímicos:*** Tres (3) estaciones fijas tipo SCANDOAS para detección de dióxido de azufre (SO_2) en plumas volcánicas; dos (2) estaciones para monitoreo y seguimiento térmico (termocuplas) y tres (3) estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón (Rn222) proveniente del suelo. (Figura 4)

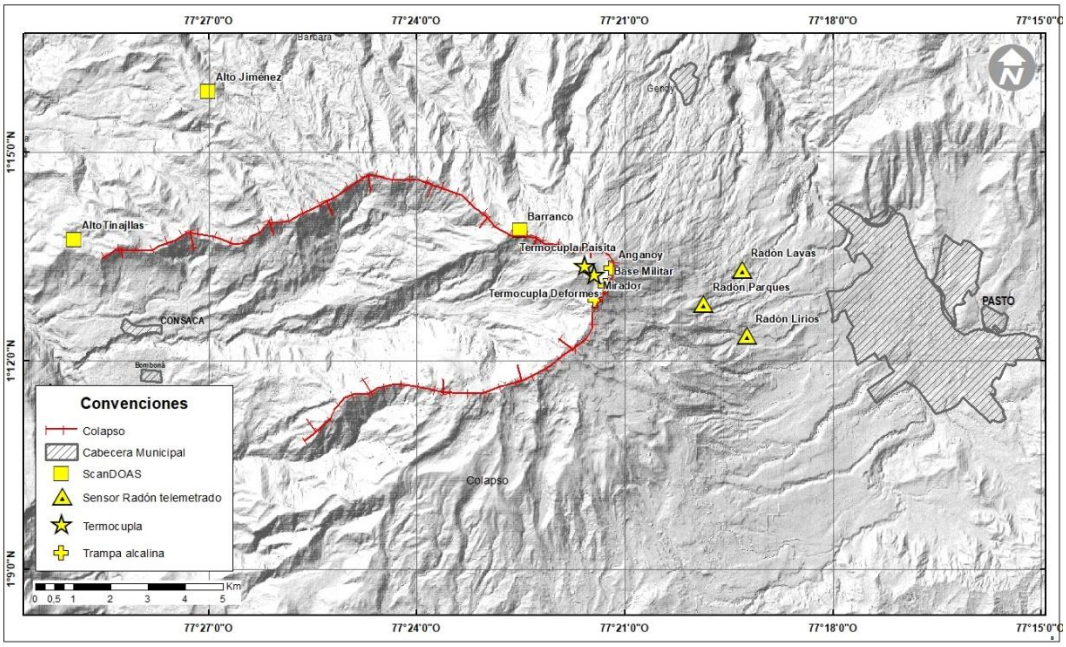


Figura 3 Localización de las estaciones para el seguimiento geoquímico que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024.

- ***Instrumentos seguimiento Geomagnético:*** tres (3) magnetómetros, seis (6) sensores acústicos, seis (6) cámaras de video de las cuales cinco son telemétricas y una ubicada en sede para registro de la actividad superficial, dos (2) estaciones para flujo de lodos (pluviómetros).

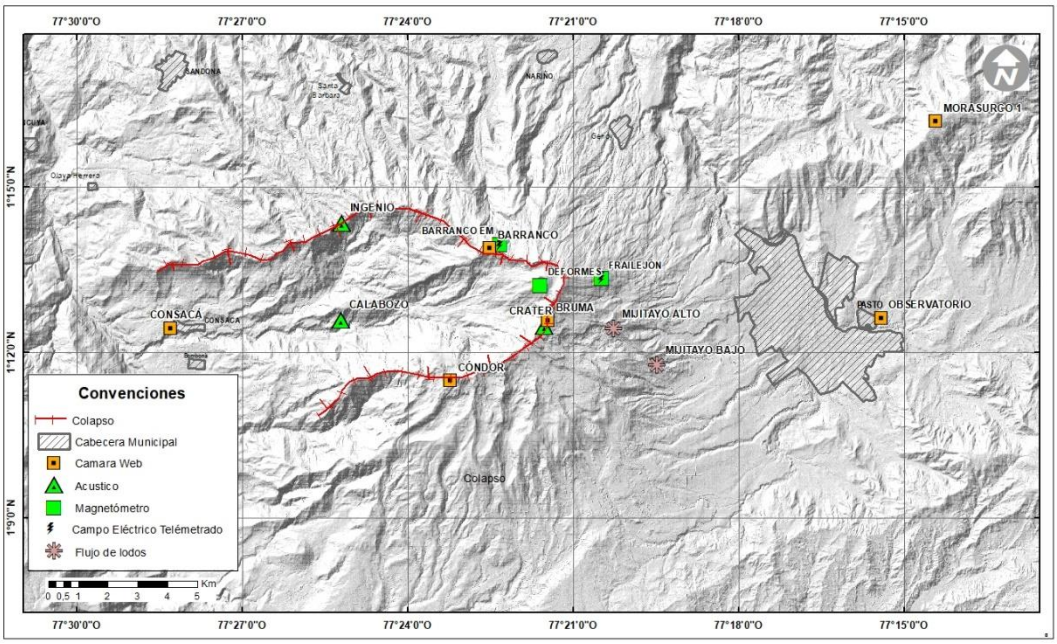


Figura 4 Localización de las estaciones de campo geomagnético, acústicas, cámaras web y flujo de lodos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2024.

1.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

La red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje promedio de funcionamiento del 82%. (Figura 5)

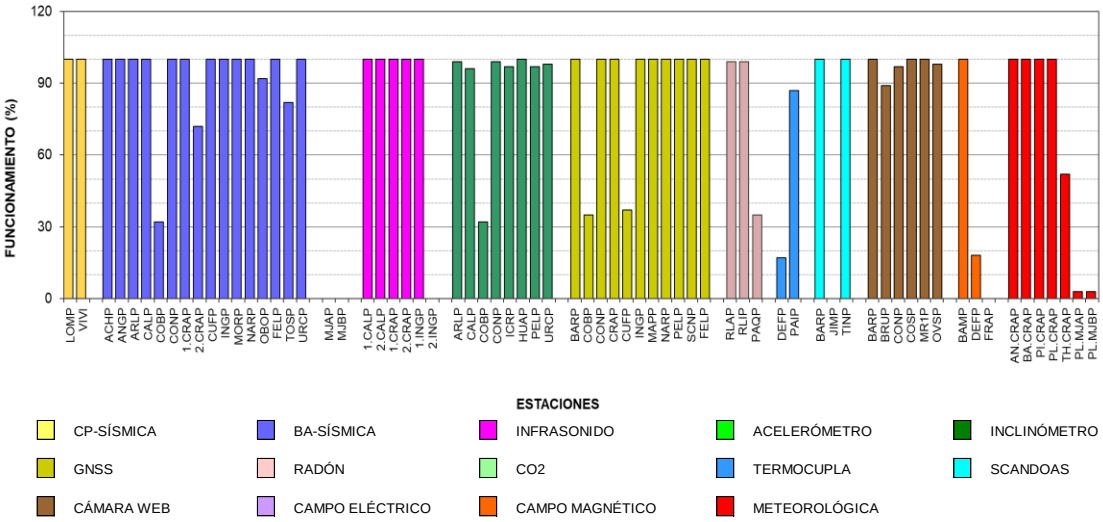


Figura 5 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVC en mayo de 2024

Las estaciones que presentaron afectaciones durante el periodo de análisis son:

- ***Estaciones Sísmicas e instrumentos para la medición de Deformación:*** Las estaciones Cráter, Coba Negra (Sísmica, Inclinómetro, GNSS) presenta un porcentaje del 32%, 32% y 35% respectivamente debido a problemas de bloqueo del radio transmisor. La estación Cufiño presenta un porcentaje del 37 % debido a problemas con el enlace principal que fue solucionado en mantenimiento correctivo.

- ***Instrumentos para el seguimiento de parámetros Geoquímicos y meteorológicos:*** La estación Deformes (termocupla, Campo magnético) con 17% y 18% de funcionamiento por falla en el radio receptor de la estación en la estación. También, la estación Mijitayo Alto (acelerómetro y pluviómetro) con 0% y 3% respectivamente, se retiró el sensor para revisión; y Mijitayo Bajo (acelerómetro y pluviómetro) con porcentajes de 0% y3% respectivamente presenta falla en el enlace.
  La estación de Radón Parques presenta un porcentaje del 37 % por mala calidad del dato; uno de los sensores meteorológicos (higrotermómetro) debido a tormenta eléctrica presentó un daño en el termómetro afectando su porcentaje de funcionamiento en el 52%. El SCANDOAS Alto Jiménez tuvo un 0% de funcionamiento debido a que el sensor se encuentra desinstalado en revisión en el laboratorio.

- ***Instrumentos seguimiento Geomagnético****:* La estación Frailejón presenta un porcentaje de 0% debido a daño en el radio receptor de la estación.

Los demás sensores estuvieron con porcentajes de funcionamiento entre el 94% y el 100%.

1.2 Sismología

El volcán Galeras en mayo 2024 mostró una disminución del 28% en la ocurrencia sísmica, pasando de 1779 eventos a 1280 eventos, con respecto al mes de abril. La sismicidad asociada con fractura de roca (VT) produjo el mayor aporte en ocurrencia con 878 eventos que representan el 69%, seguido de los sismos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) con 330 eventos, que representan el 26%; seguido de los eventos de tránsito de fluidos de fuente persistente o episodios de Tremor (TRE), con 65 eventos que representan el 5% y finalmente están los eventos de tipo híbrido (HIB) que combinan fractura de roca y tránsito de fluidos con 7 eventos. Los picos de ocurrencia se registraron el 2 y el 3 de mayo con 126 y 147 eventos, la mayoría de tipo VT (Tabla 2**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Figura 6).

Tabla 2 Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, abril y mayo 2024

Periodo	Número de eventos por tipo				
Evaluado	**VT**	**LP**	**TRE**	**HIB**	**TOTAL**
Abril 2024	999	616	142	22	1779
Mayo 2024	878	330	65	7	1280

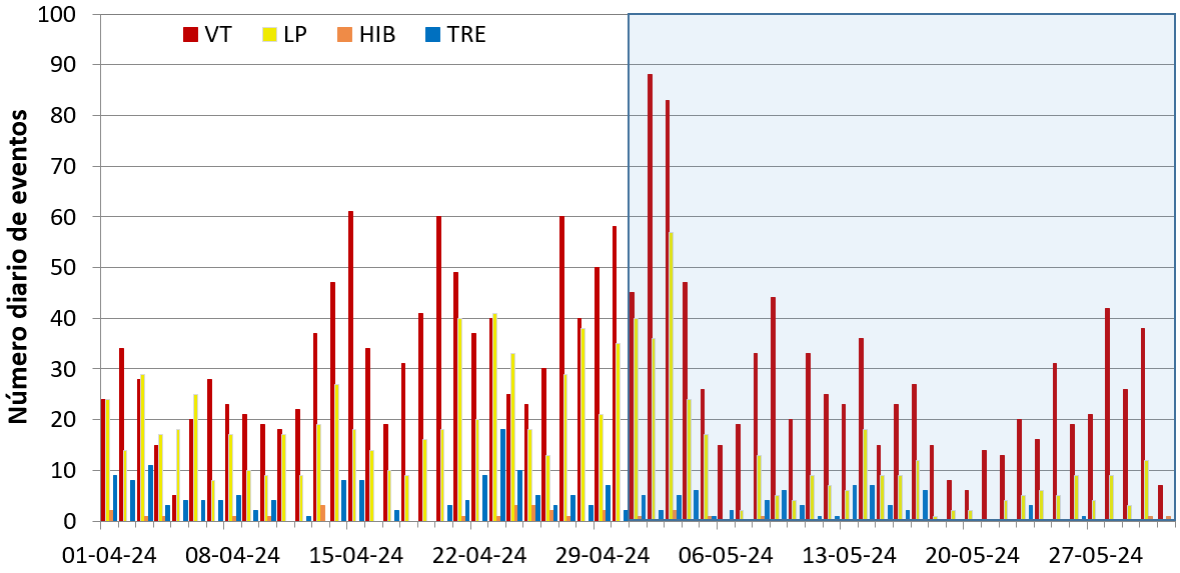


Figura 6. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante abril y mayo del 2024; el recuadro indica el periodo evaluado.

Con respecto al mes anterior, el valor de la energía sísmica se incrementó un 21%, al pasar de $1.70x10^{14}$ ergios a $2.06x10^{14}$ ergios, correspondiendo el 99% a los eventos asociados con fractura de roca VT con $2.04x10^{14}$ ergios; seguida de los eventos LP que liberaron una energía de $1.22x10^{12}$ ergios, equivalente al 1%; los episodios de tremor TRE liberaron una energía de $7.73x10^{11}$ ergios y los eventos de tipo híbrido HIB liberaron una energía de $3.88x10^{10}$ ergios (Tabla 3 yFigura 7). El pico energético se registró el 18 de mayo con $1.98x10^{14}$ ergios, debido a dos eventos VT con magnitud local de 2.7 y 2.3.+

Tabla 3 Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	1.67E+14	1.48E+12	1.54E+12	3.94E+11	1.70E+14
Mayo 2024	2.04E+14	1.22E+12	7.73E+11	3.88E+10	2.06E+14

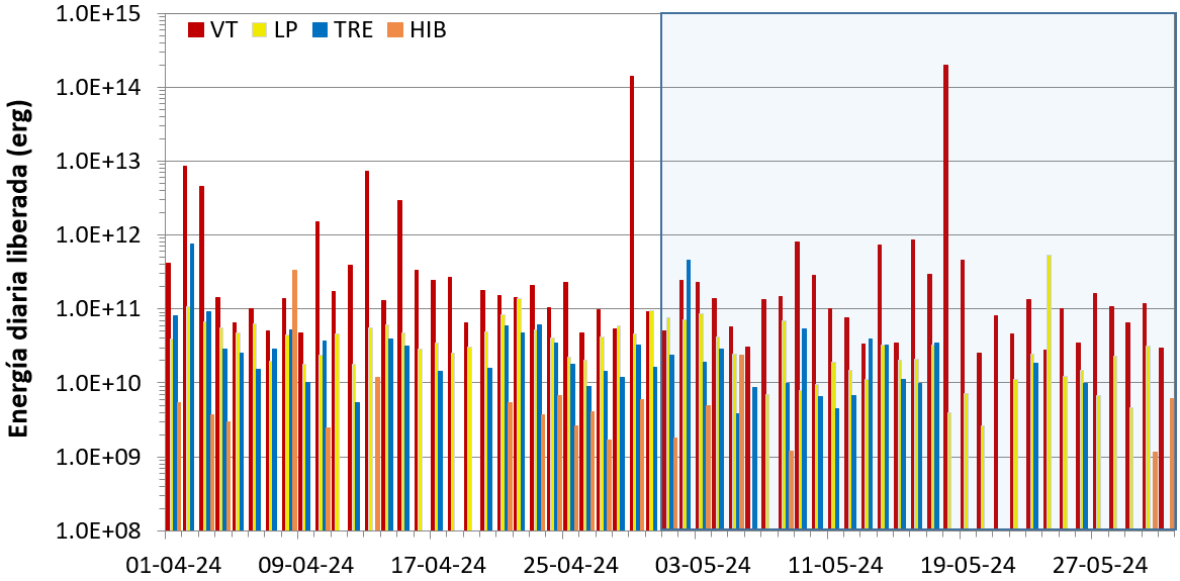


Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante abril y mayo 2024; el recuadro indica el periodo evaluado.

Se localizaron 71 sismos VT, 37 de ellos ubicados en inmediaciones del cono activo, en distancias entre 0.1 y 1.3 km, con profundidades entre 1 y 5 km con respecto a la cima de Galeras (4200 m) y ML máxima de 1.0 (Figura 8). El resto de los eventos se ubicó de manera dispersa en la región volcánica, en distancias entre 2 y 19 km, con profundidades entre 3 y 16 km con respecto a la cima de Galeras (4200 m) (Figura 8). Se destaca dos eventos VT registrados al nororiente de Galeras el 18 de mayo, el primero a las 06:38 a.m., a una distancia de 14 km, con profundidad de 7 km y ML de 2.7; el segundo a la 01:08 p.m., a una distancia de 15 km, con profundidad de 10 km y ML de 2.3. Ambos eventos se reportaron sentidos en Pasto y otros poblados cercanos al epicentro. La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, en la Tabla 4 se consignan las características de los dos eventos VT con ML de 2.7 y 2.3.

Tabla 4 Sismos con ML de 2.7 y 2.3, volcán Galeras, mayo 2024

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
18/05/2024	06:38:36	1.3080	-77.2695	7	2.7
18/05/2024	13:08:15	1.3090	-77.2518	10	2.3

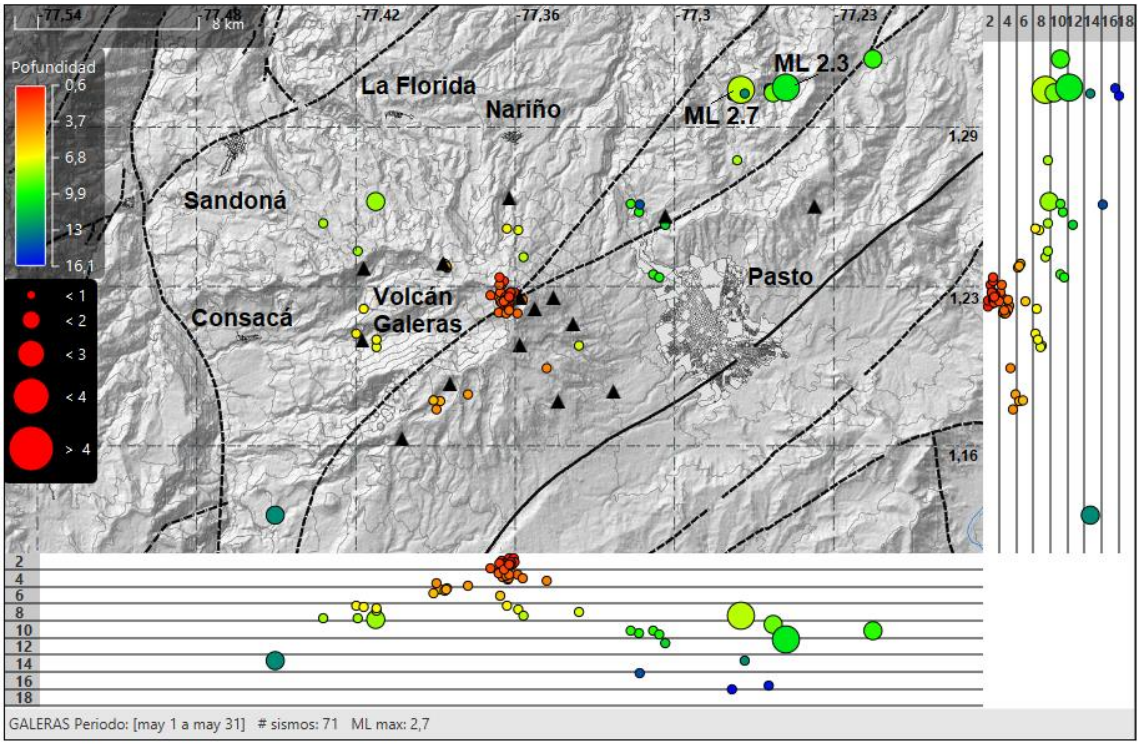


Figura 8. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, mayo 2024.

1.3 Deformación

1.3.1 Inclinometría Electrónica

Posterior a los cambios observados entre septiembre y los primeros días de noviembre de 2023 en las componentes Norte y Este de los inclinómetros Arlés y Huairatola, estos registros tienden a estabilizarse, en la Figura 9 se muestra la serie temporal del inclinómetro Huairatola.

Para las demás estaciones de inclinometría se ha observado estabilidad en sus componentes, con cambios influenciados por las condiciones climáticas locales reflejados en los datos de temperatura, a manera de ejemplo se presentan los registros de las estaciones Peladitos y Cráter (Figura 10 y Figura 11).

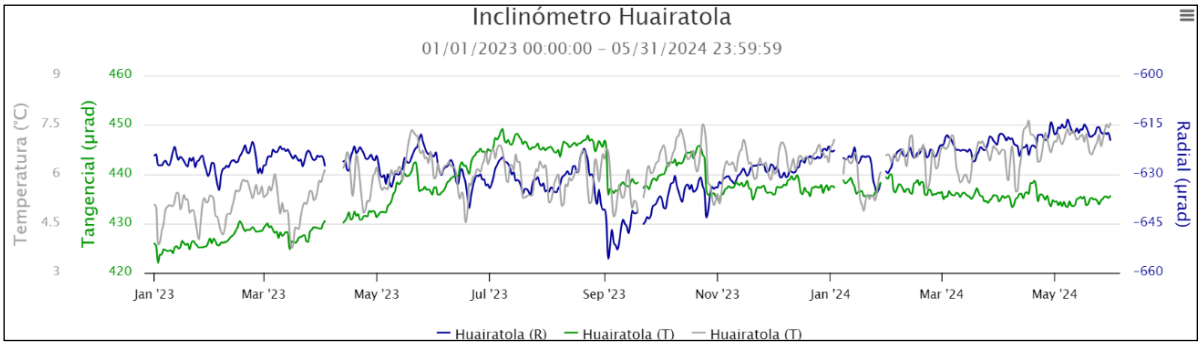


Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024

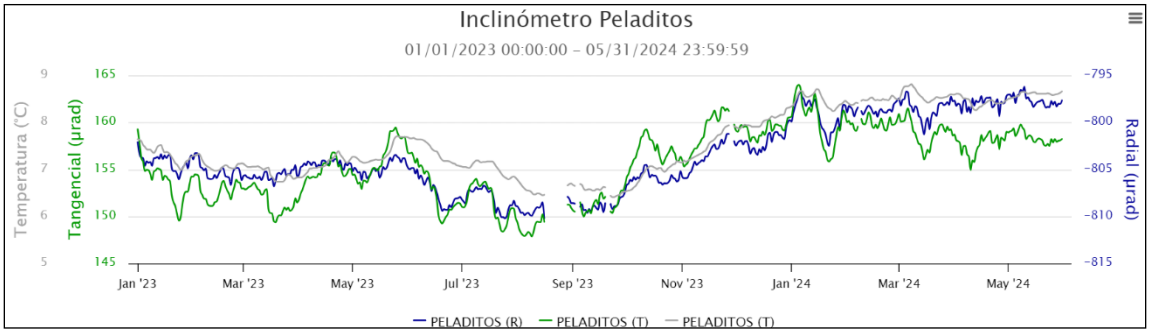


Figura 10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024

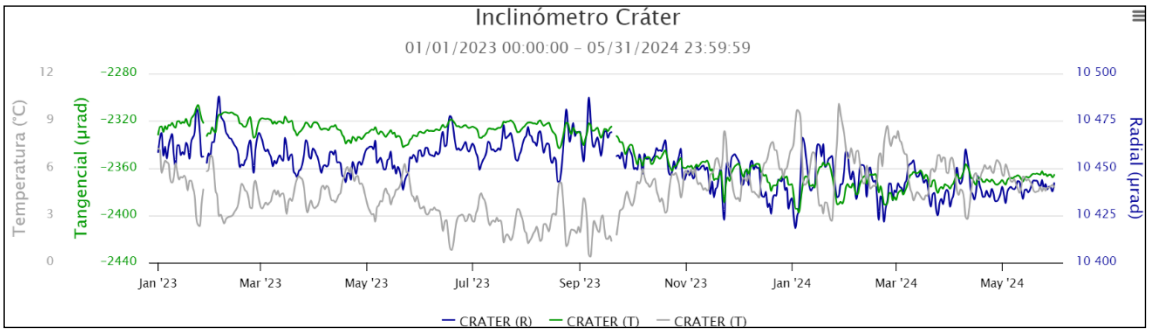


Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (µrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en el volcán Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 11 estaciones permanentes, Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cóndor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico. Desafortunadamente el 4 de septiembre de 2019 personas inescrupulosas sustrajeron del sitio de instalación los equipos de la estación GNSS Chiguaco, ubicada al norte del volcán.

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

Las estaciones que forman parte de la red de GNSS en el volcán Galeras continúan mostrando tendencias estables, tanto en las direcciones Norte y Este, como en la componente Vertical. En la Figura 12, a manera de ejemplo, se presentan el comportamiento de las estaciones GNSS Cóndor y San Cayetano.

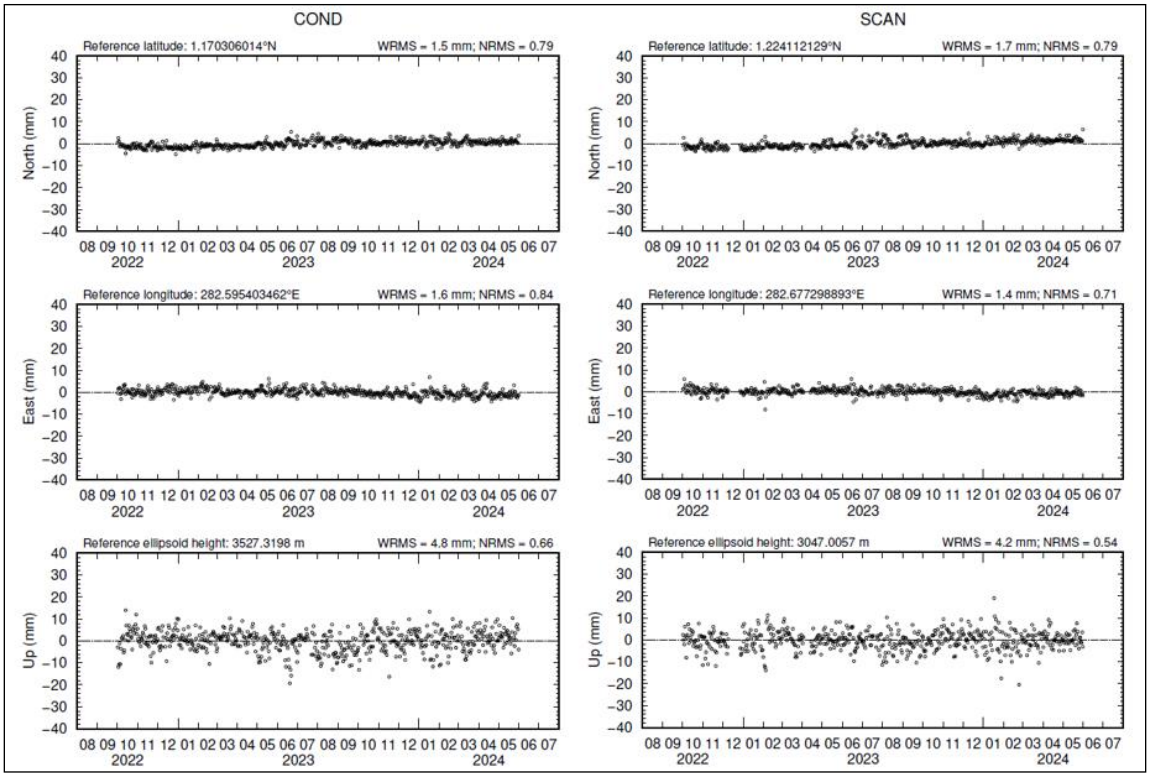


Figura 12. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cóndor y San Cayetano, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024, procesados con el software GAMIT/GLOBK

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

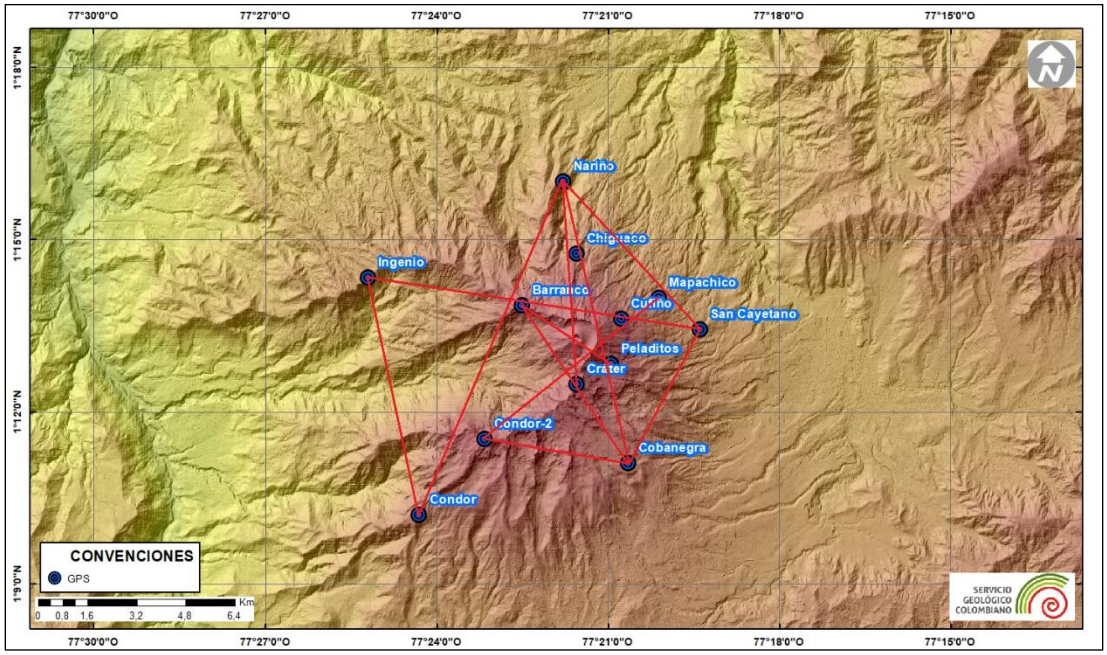


Figura 13. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Las líneas de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

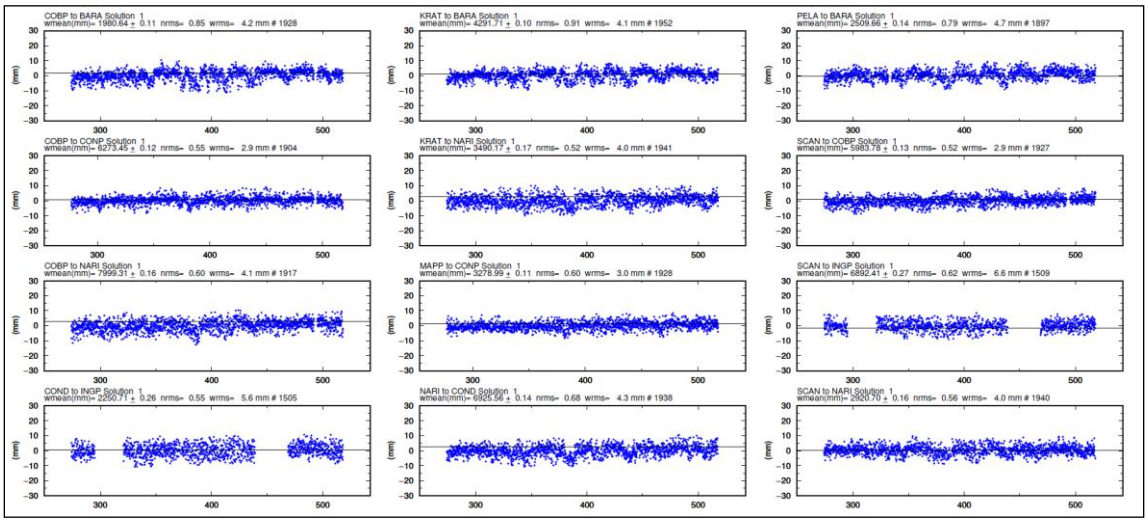


Figura 14. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan entre que estaciones fue determinada

1.3.3 D_InSAR

En la Figura 15, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona del volcán Galeras obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita

descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

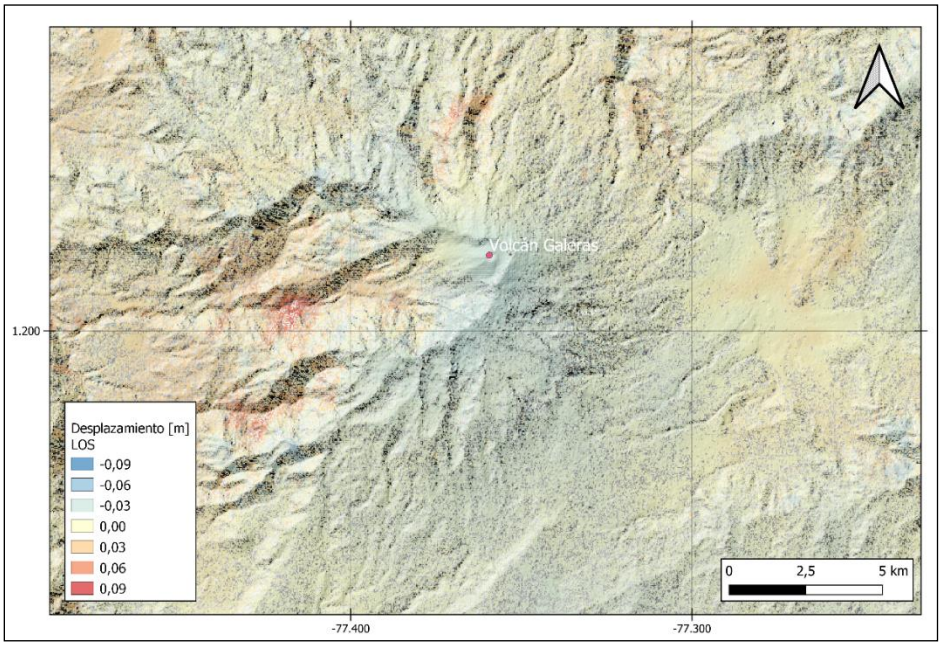


Figura 15. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Galeras.

1.3.4 Series Temporales de Deformación con MintPy

En la Figura 16 se presentan las series temporales obtenidas con el procesamiento interferométrico de imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente (Agencia Espacial Europea (ESA)), con el software ISCE y el apilamiento con MintPY (Miami InSAR time – series software in Python) para la zona del complejo volcánico Galeras, observando estabilidad con esta técnica.

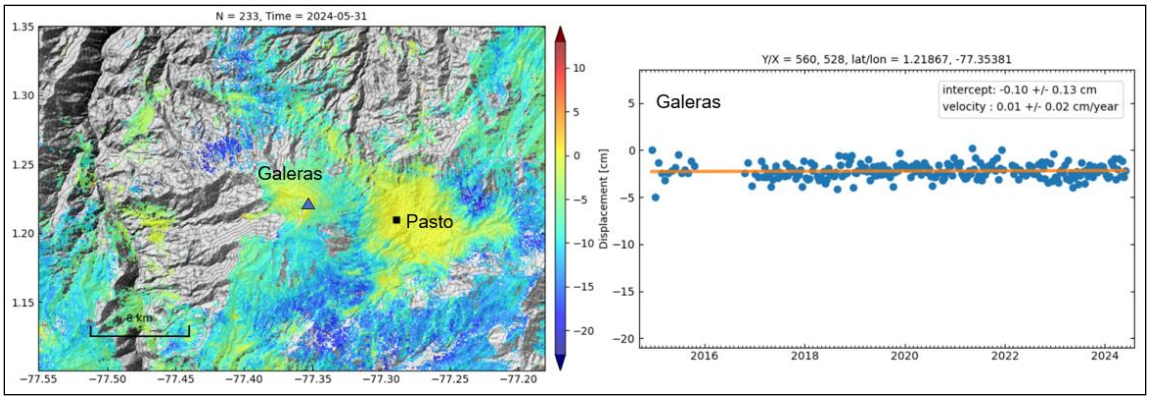


Figura 16. Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, procesadas con el software ISCE para el área del complejo volcánico de Galeras, para el periodo comprendido entre el 14 de diciembre de 2014 y el 31 de mayo de 2024, del lado derecho se

muestra la serie para la zona indicada con el triángulo, próxima al cráter principal, el cuadro de color negro indica un punto tomado como referencia para la generación de la serie.

1.4 Electromagnetismo

El monitoreo magnético, en la zona del Complejo Volcánico de Galeras (CVG), durante mayo de 2024 se realizó con el procesamiento y análisis de la información proveniente de la estación magnética Deformes (DEF), que funcionó solamente hasta parte del día 6 de mayo de 2024. Las estaciones de monitoreo magnético Frailejón (FRA) y Barranco (BAR) continúan sin funcionamiento; FRA desde el 11 de marzo de 2024 y BAR desde el 26 de marzo de 2024. Los trabajos de mantenimiento de los equipos de estas estaciones, no se han realizado por mal estado en la vía de acceso a la parte alta del volcán. En el momento en que se habilite la vía de ascenso al volcán, se realizará el mantenimiento de las estaciones de monitoreo magnético ubicadas en la parte alta del CVG, que cuentan con sensores magnéticos triaxiales tipo fluxgate, que miden la intensidad de campo magnético total de la Tierra (CMT-F), en sus tres direcciones: X, Y Z.

En DEF se calculó del campo magnético total de la Tierra (CMT-F), a partir de los datos recibidos en los seis días de funcionamiento de la estación magnéticas. Los sensores magnéticos o magnetómetros no registran solamente el CMT sino que también captan señales electromagnéticas externas ocasionadas por efectos de las tormentas geomagnéticas y tormentas solares; por eso es necesario aplicar metodologías que ayuden a eliminar o minimizar los efectos de las componentes magnéticas que no tienen relación con los procesos locales, ya que son el objetivo del monitoreo magnético en zonas volcánicas, puesto que las variaciones locales estarían asociadas con la actividad volcánica de la zona.

Para identificar las señales magnéticas externas a la Tierra, en las estaciones de monitoreo magnético instaladas en las zonas volcánicas de Nariño, se consultan los registros de una estación magnética lejana a la zona de estudio, denominada como estación de referencia y; para el caso de los volcanes de Nariño se ha tomado la estación magnética Kourou (KOU). KOU pertenece a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia - (BCMT, por sus siglas en francés, Bureau Central de Magnetisme Terrestre). KOU está ubicada en Guayana Francesa y cuenta con datos abiertos y en tiempo real.[1] La información de la estación KOU es fundamental, pues nos permite comparar sus registros con los de las estaciones de monitoreo magnético del CVG; así como también para verificar, en caso de que se presenten señales externas a la Tierra, si éstas corresponden a efectos externos o no y tratar de minimizar estas anomalías electromagnéticos en los datos de las estaciones ubicadas en la zona de Galeras.

Existen tres tipos de fenómenos magnéticos externos asociados con la actividad eruptiva del Sol que pueden afectar las condiciones de la magnetosfera externa de la Tierra e inducir hacia el interior del planeta efectos magnéticos externos, que son: tormentas geomagnéticas, tormentas de radiación solar y apagones de radio. El Centro de Predicción del Clima Espacial (SWPC, por sus siglas en inglés -Space Weather Prediction Center), que pertenece a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés - National Oceanic and Atmospheric Administration).[2]

[1] En el siguiente link se encuentra la red de estaciónes y datos en tiempo real de la Bureau Central de Magnetisme Terrestre http://dx.doi.org/10.18715/BCMT.MAG.VAR

[2] La NOAA, es una de las organizaciones encargadas de estudiar el clima espacial y generar las alertas asociadas con la ocurrencia de los fenómenos magnéticos del Sol. Esta actividad solar se propaga hasta la Tierra y, dependiendo de su intensidad podrían ocasionar problemas eléctricos, de comunicaciones e incluso afectaciones en la salud. La intensidad de estas alertas se representa con el índice Kp, que tiene una escala entre uno (valor mínimo) y nueve (valor máximo).

Para el procesamiento y análisis de la información magnética, desde el OVSP se consultan tanto los pronósticos de los índices Kp, como las alertas asociadas con este tipo de tormentas que afectan tanto el clima espacial como el CMT y que son reportados por el SWPC. Esta información nos permite conocer los pronósticos de ocurrencia de estas tormentas solares, identificarlas en los registros de las estaciones magnéticas del CVG y, tratar de minimizar sus efectos con base en el procesamiento que se hace al correlacionarlas tanto con la estación de referencia KOU, así como también con la estación magnética MOR, instalada en el volcán Chiles, y correlacionando entre ellas mismas; y así evitar interpretarlas como efectos del fenómeno volcánico. En general, las tormentas geomagnéticas que producen mayor perturbación en los registros de las estaciones de monitoreo magnético del CVG son las que tienen índice Kp ≥ 4 y sus efectos se evidencian tanto con el incremento o disminución de la amplitud de las señales, así como también con las características frecuenciales de los registros, donde se identifica un mayor contenido de altas frecuencias.

En el periodo entre febrero y mayo de 2024, se presentaron varias tormentas magnéticas de índice Kp mayor o igual a 5, que perturbaron el CMT medido en las estaciones que funcionaron durante este período. Estas tormentas incrementaron tanto la amplitud promedio de las variaciones seculares diarias del CMT, como el contenido frecuencial de la serie temporal. Las tormentas más resaltables se registraron entre el 10 y el 13 de mayo, que inició con un índice Kp de 4 y fue subiendo paulatinamente a 5 y 8 y posteriormente disminuyó; sin embargo, vuelve y crece hasta un valor de índice Kp de 8, llegando a un máximo de Kp de 9 y posteriormente va disminuyendo hasta llegar a valores bajos. Como las estaciones de monitoreo magnético en Galeras no funcionaron en estas fechas, no se tiene reporte de la perturbación ocasionada en la amplitud de ellas; sin embargo, fue posible dimensionarla con el registro de la estación de referencia KOU, donde se obtuvo una variación de amplitud de alrededor de los 650 nT (Figura 17). Teniendo en cuenta que las variaciones seculares diarias promedio están entre los 60 o 70 nT, la perturbación ocasionada por estas tormentas incrementó diez veces su amplitud.

Cada índice describe la intensidad de las perturbaciones ambientales y los efectos físicos en la Tierra (https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation).

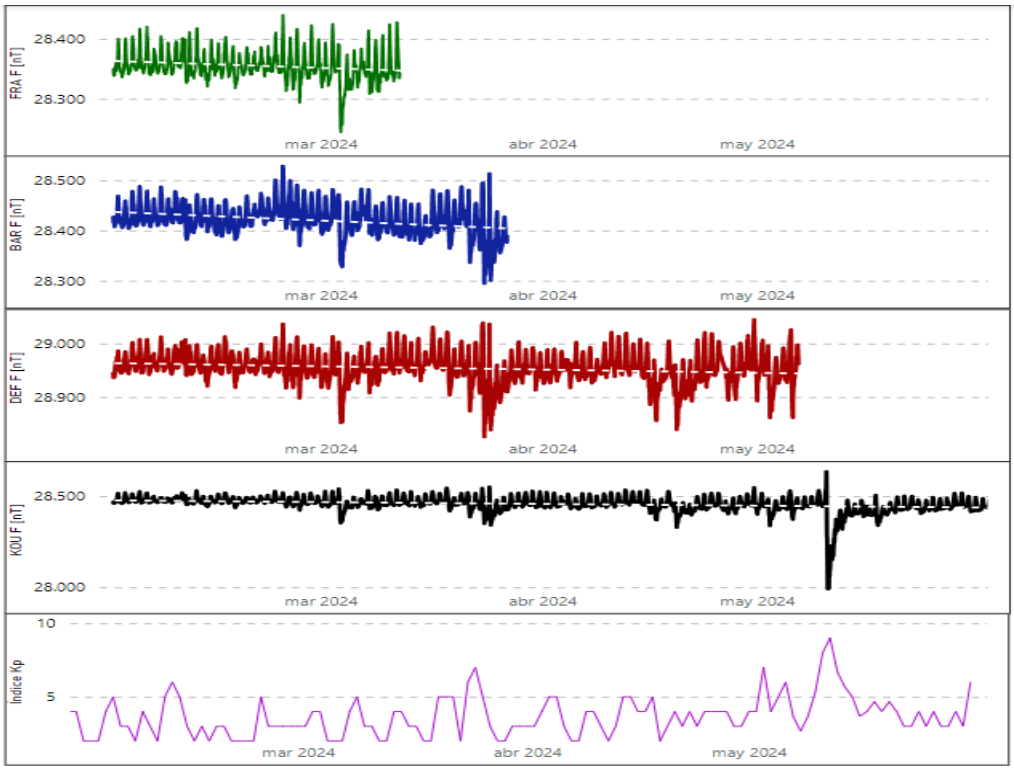


Figura 17. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético del CVG: FRA (verde), BAR (azul) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre febrero a mayo de 2024.

Adicionalmente, verificando el efecto que estas tormentas solares generaron en estaciones magnéticas pertenecientes a la red del BCMT (**Figura 18**), ubicadas alrededor del planeta (Figura 19), se tiene que las variaciones en amplitud fueron considerables. Es así como en la estación CMF (Clermont - Francia) la variación fue de alrededor de 350 nT; en IPM (Isla de Pascua – Chile), la variación fue de aproximadamente 500 nT; en PHU (Phu Thuy -Vietnam) alcanzó una amplitud de alrededor de los 540 nT; en TAM (Tamanrasset – Argelia), con amplitud máxima de unos 500 nT y finalmente en KOU (Kourou - Guayana Francesa), tuvo una amplitud de 650 nT. Esto nos permite evidenciar que la estación de referencia KOU presentó las mayores perturbaciones, probablemente por estar ubicada en inmediaciones del ecuador magnético, mientras que, en las otras estaciones, la perturbación en la amplitud va disminuyendo gradualmente, dependiendo de la latitud a la cual estén ubicadas

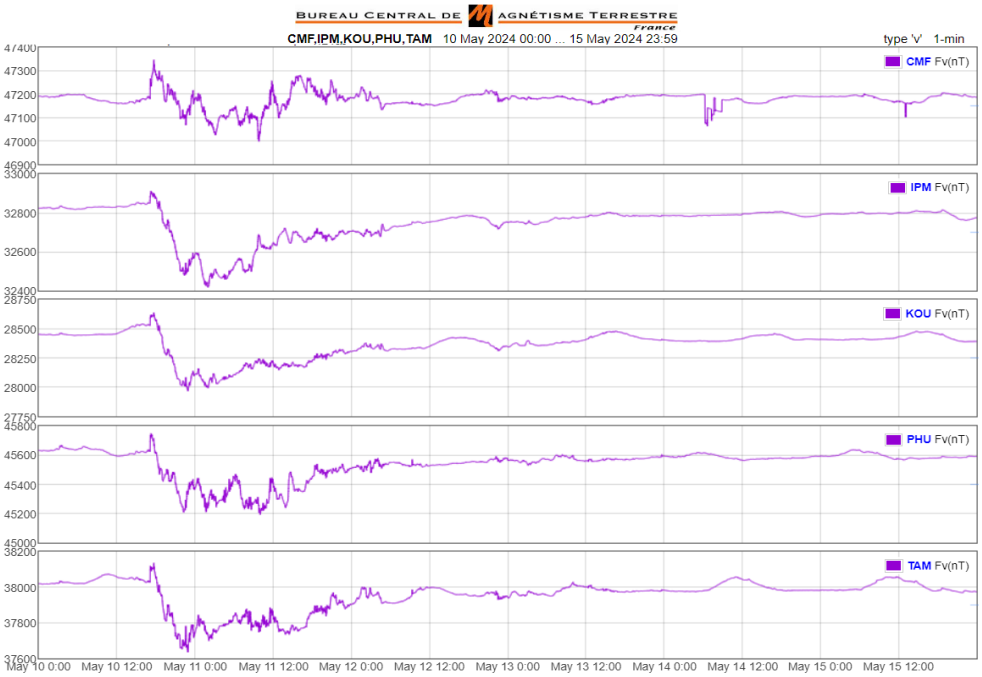


Figura 18. Perturbaciones magnéticas generadas en los registros del CMT-F, debidas a las tormentas solares ocurridas entre el 10 y el 13 de mayo de 2024, en las estaciones magnéticas del BCMT

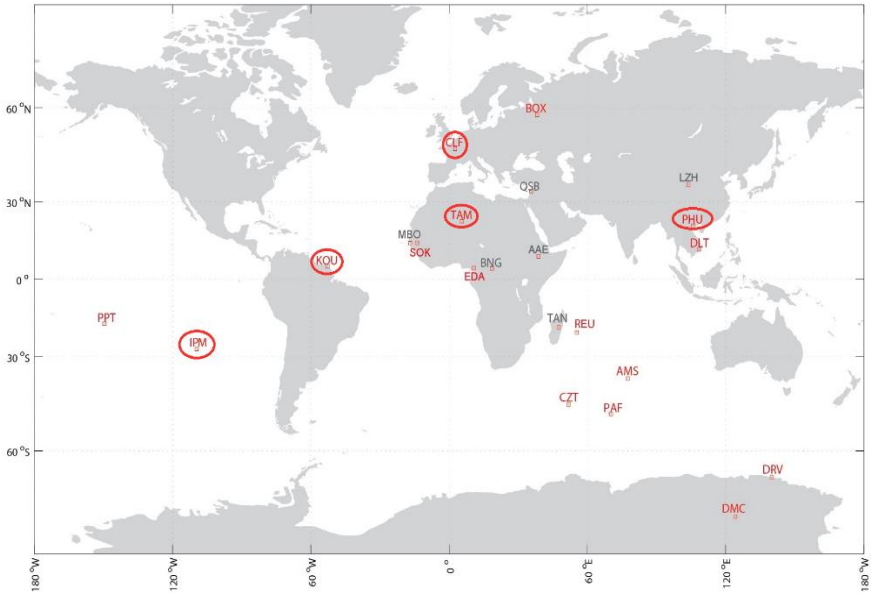


Figura 19. Localización de las estaciones magnéticas de la red del BCMT

Las tormentas magnéticas que siguieron en importancia son las que presentaron un índice Kp de 7, y que vienen acompañadas de tormentas con índice Kp de 6, 5 y 4, crecen paulatinamente hasta el valor máximo y decrecen nuevamente hasta retornar a índices menores, de 3 o de 2. La tormenta ocurrida entre el 24 y 25 de marzo de 2024 generó variaciones de amplitud de hasta 220 nT en BAR; 214 nT en DEF y 210 nT en KOU; mientras que la ocurrida entre el 2 y 3 de mayo ocasionó variaciones de 140 nT en DEF y 148 nT en KOU

1.4.1 Estación climatológica de Cráter y estaciones de pluviosidad MJAP y MJAB

Los parámetros climatológicos evaluados con base en los registros de la estación climatológica Cráter ubicada en la parte alta del CVG. La estación cuenta con un sensor para estimar la pluviosidad de la zona, un para medir la presión atmosférica en el sitio y dos sensores más, para medición de los parámetros de velocidad y dirección del viento (Figura 20).

Entre enero y mayo de 2024 se presentaron lluvias en la zona del volcán Galeras, con pulsos diarios de ocurrencia máxima hasta de 60.4 mm/día y algunos cortos periodos sin lluvias; mientras que, en mayo de 2023, las lluvias estuvieron presentes de manera más recurrente, aun cuando con valores un poco más bajos, reportando el valor máximo para el 7 de mayo, con un acumulado de lluvia diario de 18.2 mm/día, y un acumulado total del mes de 154.4 mm/mes (Figura 20).

La presión atmosférica entre enero y mayo de 2024 estuvo entre un mínimo de 627 mbar y un máximo de 632.5 mbar, con un valor promedio de los 630 mbar; y en mayo el valor promedio fue de 629.5, que está dentro del rango de variación normal de este parámetro, en la zona del volcán Galeras (Figura 20).

Los valores de viento, entre enero y mayo de 2024, reportaron valores menores de 22.7 m/s, mientras que en mayo los valores estuvieron entre 1.3 y 19.7 m/s. En este periodo de tiempo, los vientos estuvieron dirigidos, predominantemente hacia el sector NW, característico de esta zona.

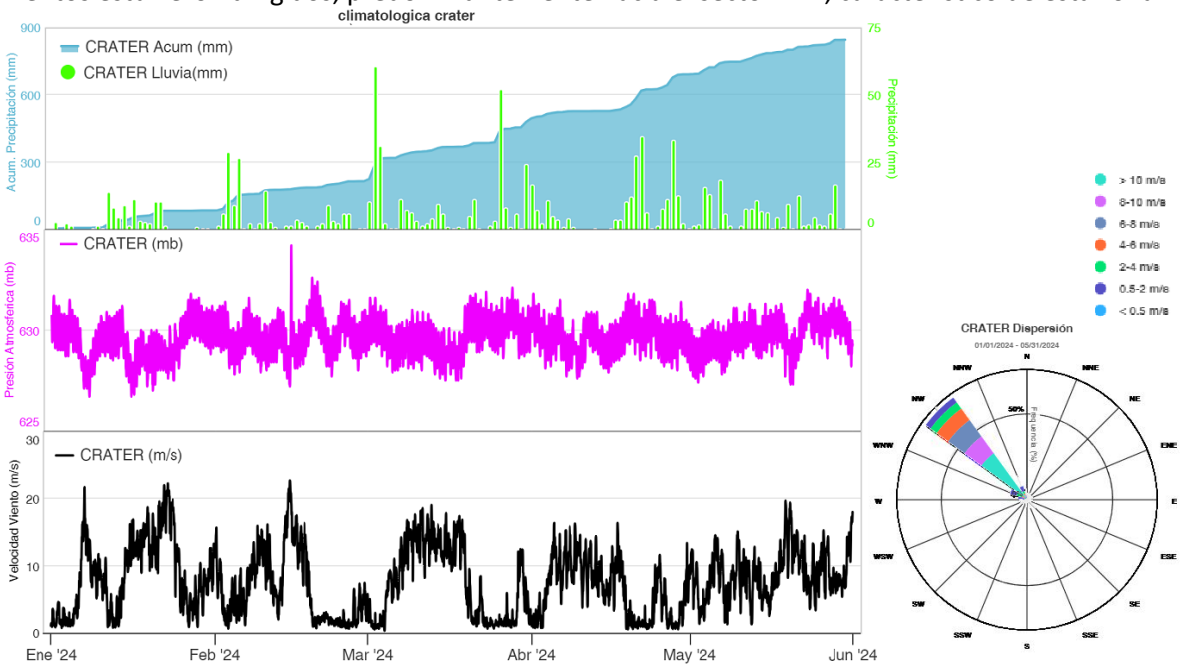


Figura 20. Comportamiento de los parámetros climatológicos evaluados en la estación Cráter, correspondientes a pluviosidad (verde): acumulado de lluvias (azul); presión atmosférica

(magenta); velocidad del viento (negro); rosa de los vientos con dirección de dispersión de los vientos en la zona; para el periodo entre enero y mayo de 2024.

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico en el Volcán Galeras

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. Dado que las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas, en zona de influencia del volcán Galeras, se tiene instalado tres estaciones para el seguimiento de las concentraciones de este gas (Figura 3 de red de vigilancia). En las siguientes figuras y tablas se muestra los respectivos registros de las estaciones, en las figuras, se observa que los registros presentan oscilaciones diferentes entre sí, posiblemente debido a que las concentraciones de radón se encuentran influenciadas por factores externos tales como: temperatura, precipitación, porosidad del suelo, presión atmosférica, humedad relativa, entre otros (Dadong, Hiromi, & Takao, 2004; García, 2000; González, 2018), las cuales dependen del sitio donde se han instalado.

La Figura 21 y Tabla 5 presenta información correspondiente a los registros de concentración en la estación Lavas, en su comportamiento fluctuante, desde el mes de marzo se observa un leve ascenso, sin estar relacionado con cambios en la actividad del volcán Galeras, la cual hasta la emisión de este informe continúa dentro de niveles bajos de actividad volcánica.

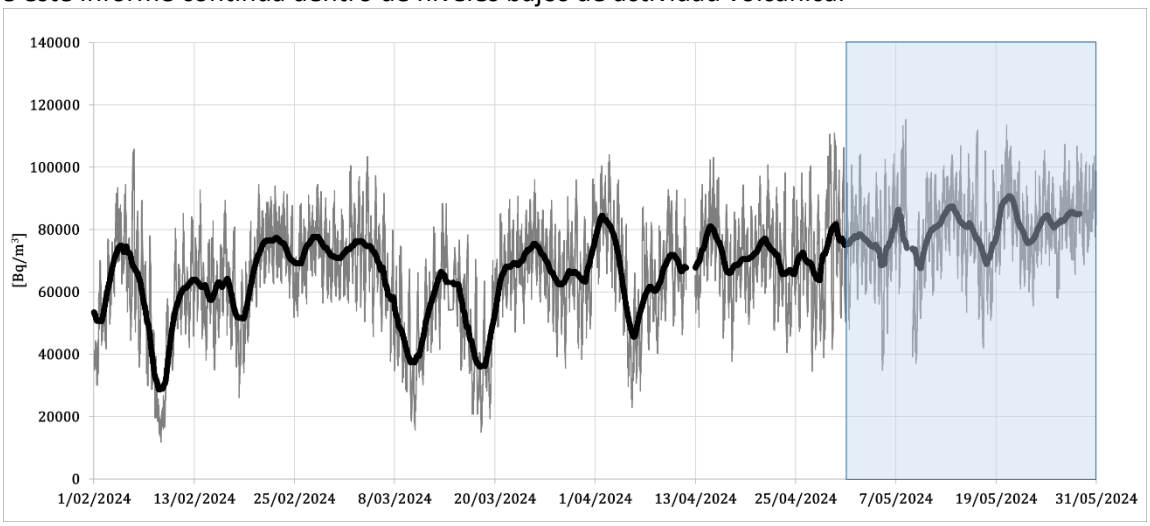


Figura 21. Concentración radón difuso en suelo- estación Lavas entre febrero y mayo de 2024 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas), el recuadro indica el periodo evaluado: mayo 2024.

Tabla 5 Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m^3- estación Lavas - Volcán Galeras, abril - mayo de 2024

Valor	Abril	Mayo
Mínimo	22961	34798
Promedio	69902	80569
Máximo	110860	115244

Para estación Lirios, su comportamiento se muestra en la Figura 22 y la estadística básica en la Tabla 6. En el periodo graficado, los espacios en blanco corresponden a días en donde la estación estuvo por fuera, en comparación con la estación Lavas se observa mayor variación en sus valores, aun así, se observa estabilidad en su registro, sin tendencia ascendente o descendente, coherente con los niveles bajos de actividad que este volcán presenta.

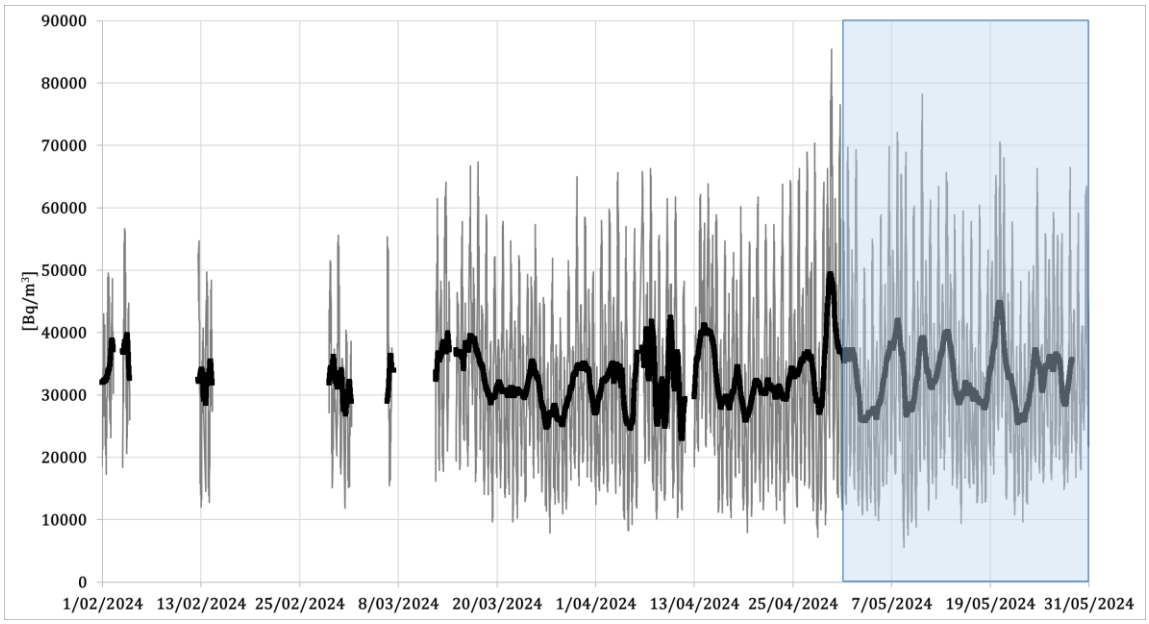


Figura 22. Concentración radón difuso en suelo - estación Lirios entre febrero y mayo de 2024, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas), el recuadro indica el periodo evaluado: Mayo 2024.

Tabla 6 Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m^3- estación Lirios - Volcán Galeras, abril

Valor	Abril	Mayo
Mínimo	7300	5560
Promedio	32837	33295
Máximo	85419	78238

Por otro lado, con respecto a la estación Parques, ésta se encuentra por fuera para este periodo. De las gráficas y tablas correspondientes a las concentraciones de radón en el volcán Galeras, se observan oscilaciones que probablemente están relacionadas con factores diferentes a la actividad volcánica, ya que la actividad en áreas como sismología y de deformación presentan niveles bajos en el periodo evaluado.

1.5.1.2 Estación térmica Deformes

Estación por fuera de funcionamiento.

1.5.1.3 Estación Térmica Paisita.

Estación por fuera de funcionamiento.

1.5.1.4 Muestreo de aguas en fuentes termales-Volcán Galeras

No se realizó en este periodo.

1.6 Actividad Superficial

El registro y observación de la actividad superficial se realizó desde las cámaras instaladas en campo que transmiten datos al OVSPA. Durante el periodo de estudio las condiciones predominantes del estado del tiempo atmosférico permitieron identificar el cielo mayormente nublado con predominio de tiempo seco y se observó emisiones en un 71 % del total de los días durante el mes de mayo. Las características predominantes de estas emisiones fueron de baja altura y dirección variable por cortos lapsos de tiempo observadas desde las cámaras Barranco, Bruma y Cóndor. Los principales focos de emisión fueron los campos fumarólicos de Paisita Interno, Paisita Externo y Chavas. En la Figura 23, Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se presentan imágenes destacadas de la actividad superficial:

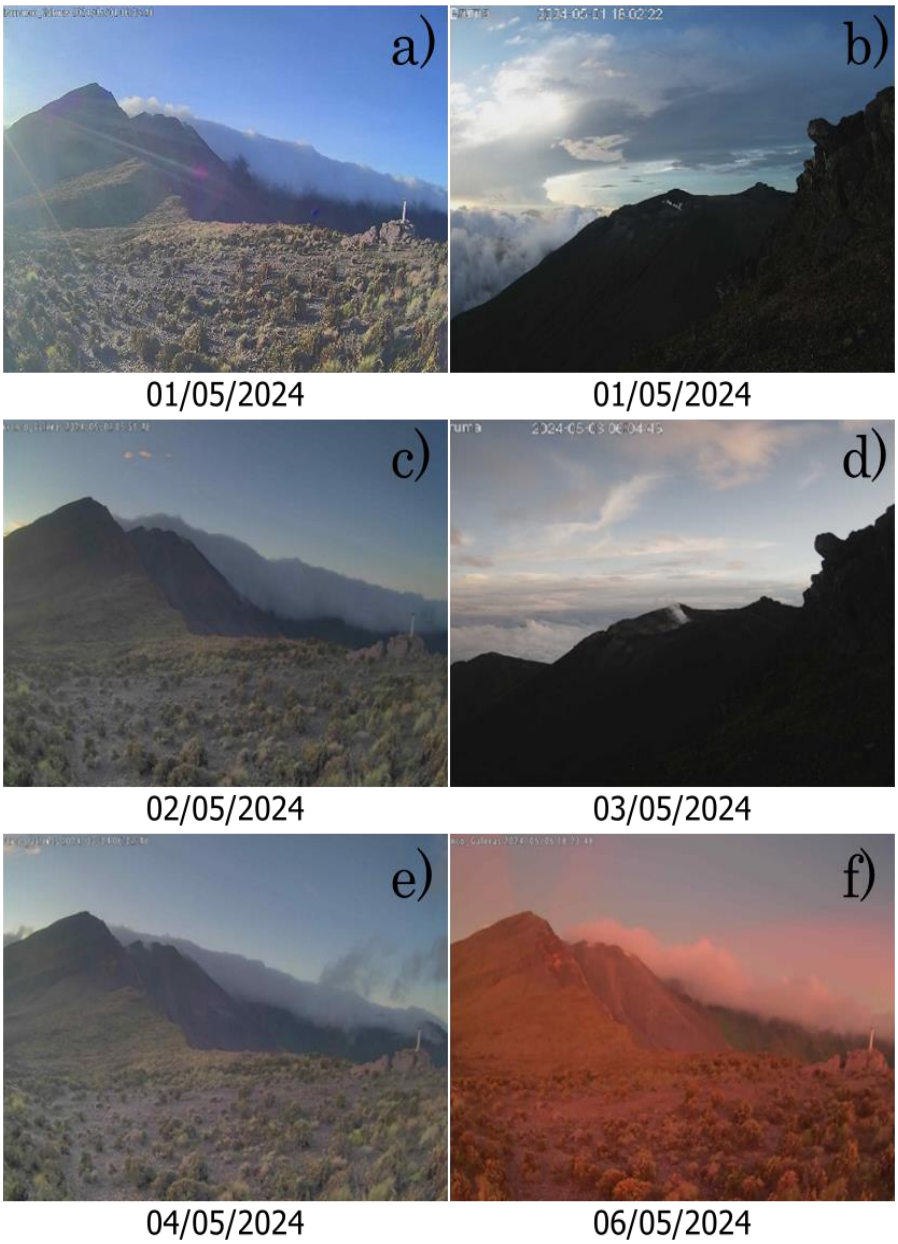


Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a), c), e) y f) Barranco y b) d) Bruma

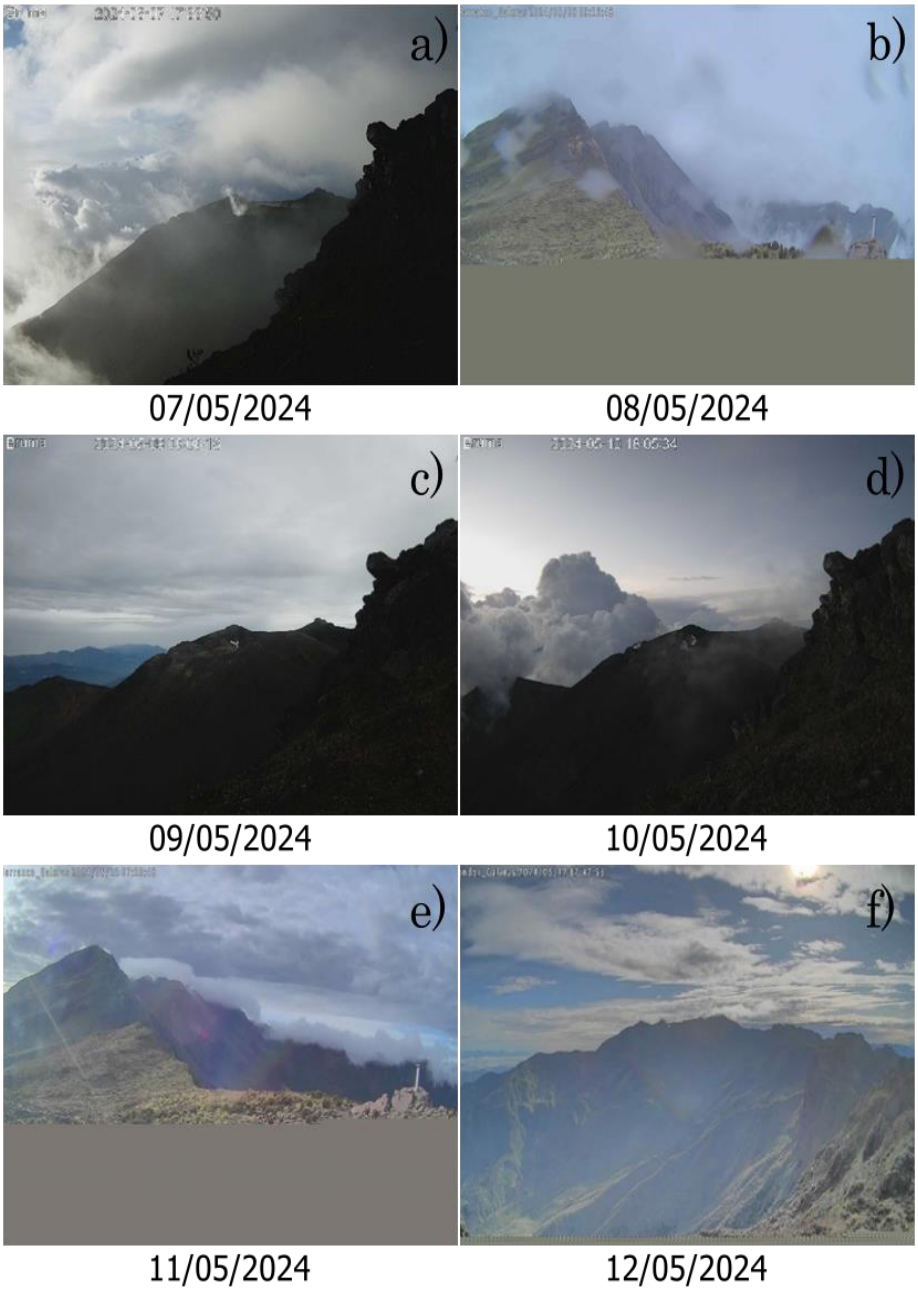


Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a), c) d) Bruma b) e) Barranco y f) Cóndor

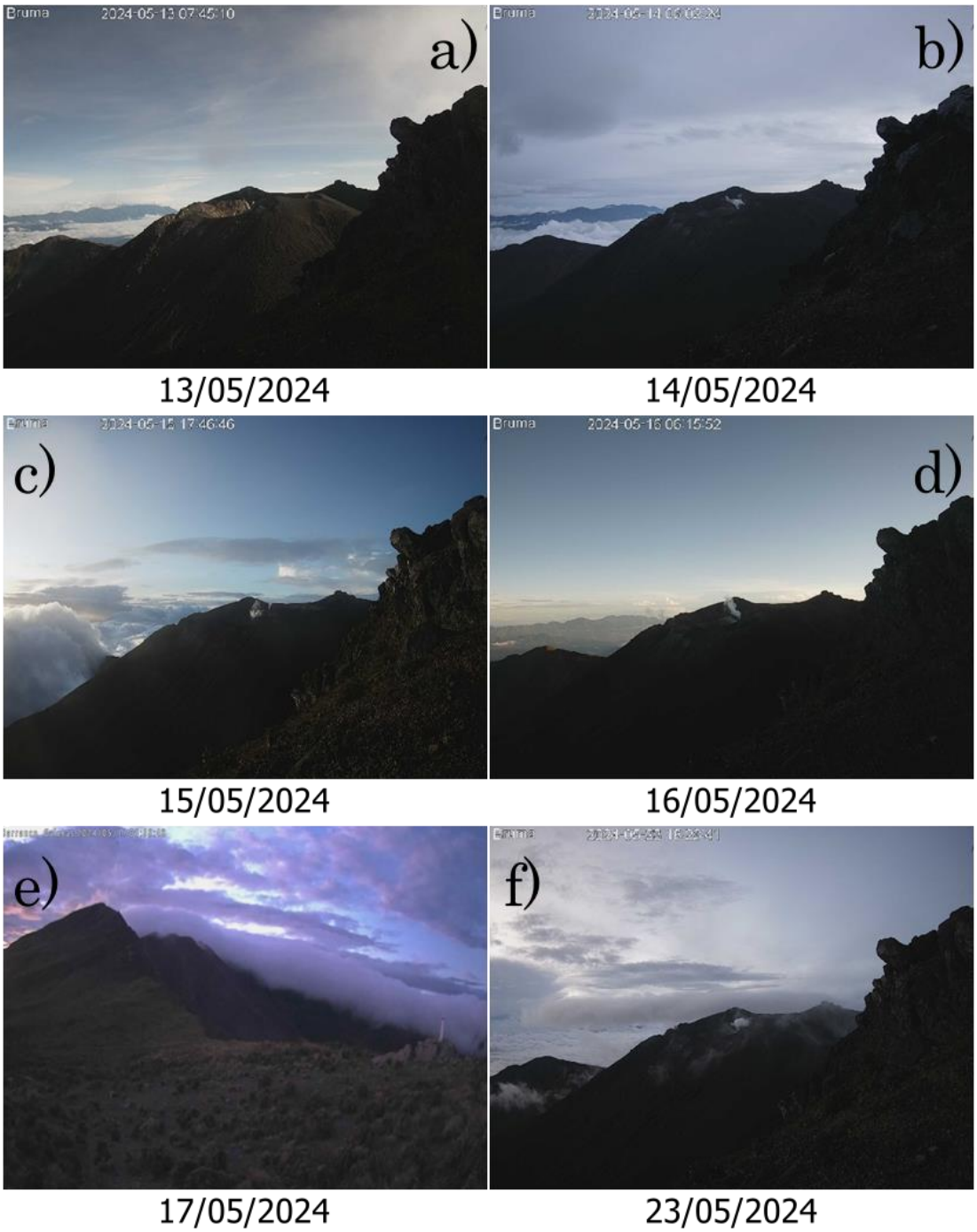


Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a) b) c) d) y f) Bruma y e) Barranco

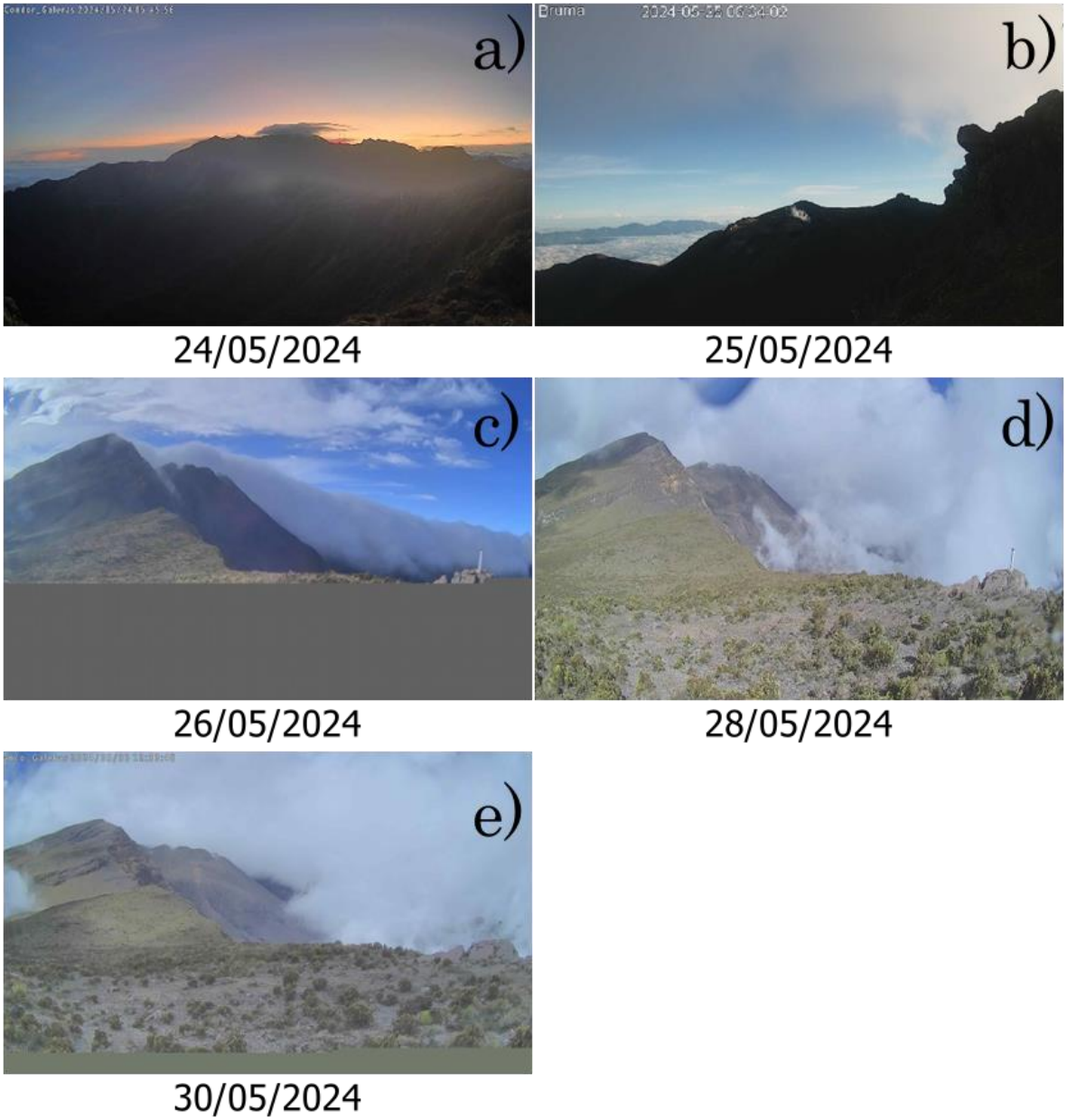


Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras a) Cóndor b) Bruma y c), d) y e) Barranco

1.7 Conclusiones

Con base en el análisis y evaluación de la información obtenida, a partir de los parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos monitoreados en el volcán Galeras, se registró disminución en la ocurrencia con incremento en la energía sísmica; en su mayoría los sismos fueron asociados con fractura de material cortical, destacándose dos eventos con magnitud local de 2.7 y 2.3, ubicados al nororiente de la cima volcánica, los cuales se reportaron sentidos en Pasto y otros poblados cercanos al epicentro. Las estaciones de deformación muestran estabilidad sin registrar procesos importantes

Los registros de concentración de gas radón Rn 222, muestran estabilidad en el periodo de evaluación, en consistencia con los bajos niveles de actividad sísmica y deformación. En los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica medidos hasta abril de 2024 muestran estabilidad.

La evaluación de la actividad del volcán Galeras en mayo 2024 permitió mantener el estado de **ALERTA AMARILLA** ☐ : "Volcán activo con cambios en el comportamiento del nivel base de los parámetros monitoreados y otras manifestaciones".

2 Actividad del volcán Cumbal – mayo de 2024

2.1 Red de Vigilancia

La Tabla 7 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis, a nivel general los instrumentos se encuentran en sitios con altitudes aproximadas hasta de 4.696 m y distancia mínima de 0.2 m en inmediaciones del cráter principal.

Tabla 7 Red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE CORTO PERIODO	Mesa	MESP
2		Limones	LIMP
3	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Aguas Coloradas	ACOP
4		Nieves	NIEP
5	SENSORES DE INFRASONIDO	Mesa	MESP
7	INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS	Mesa	MESP
8		Nieves	NIEP
9		Limones	LIMP
10		Punta Vieja	VIEP
11	CÁMARAS WEB	Boliche	BOLP
12		Cumbal	CUMP
13		Punta Vieja	VIEP

Según la tabla anterior los sensores se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- ***Estaciones Sísmicas:*** La red está compuesta por cuatro estaciones sísmicas telemétricas triaxiales dos (2) de corto periodo y dos (2) de banda ancha. (Figura 27)

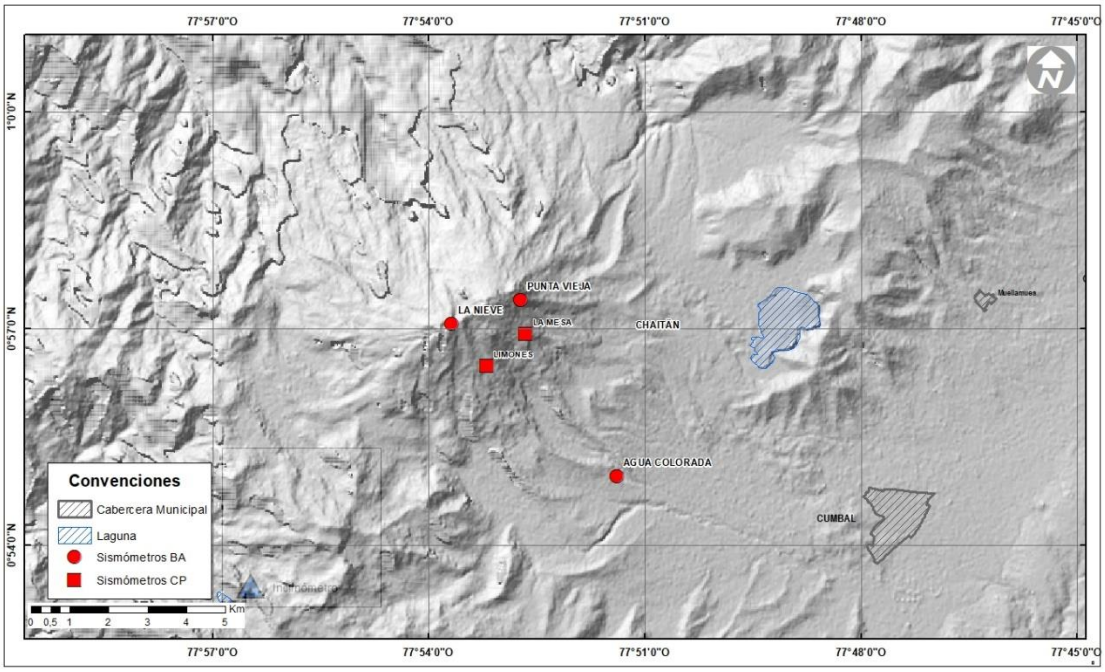


Figura 27 Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia del Complejo Volcánico Cumbal en mayo de 2024

- ***Instrumentos para el seguimiento de Deformación****:* Cuatro (4) inclinómetros electrónicos (Figura 28)

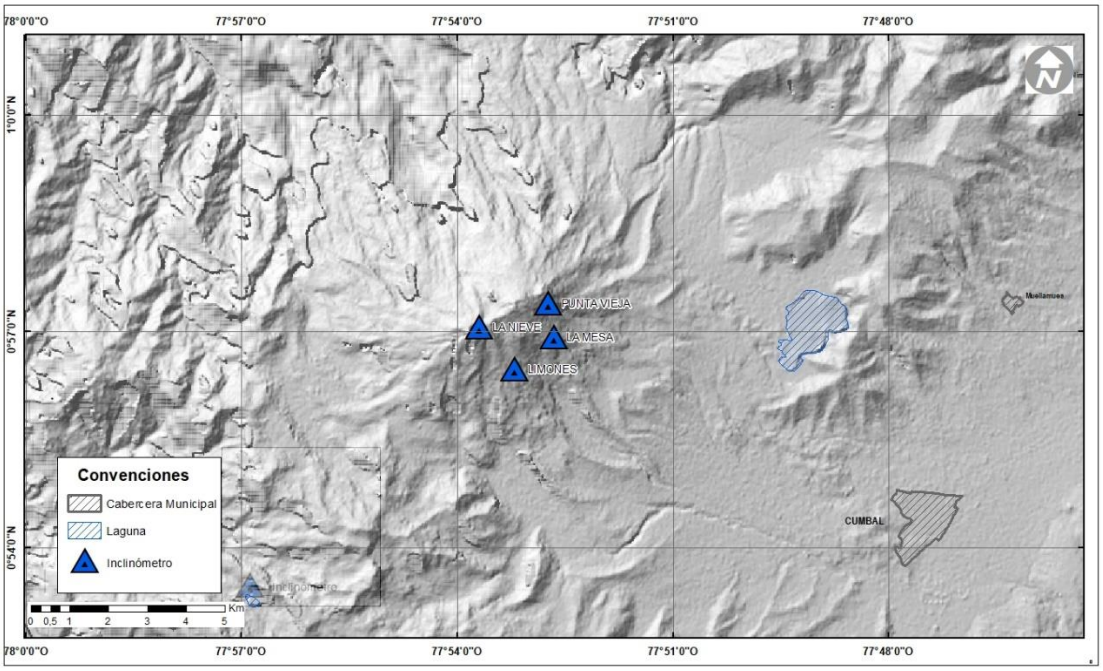


Figura 28 Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónico que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo de 2024

- ***Estaciones Geofísica:*** Tres (3) cámaras de video telemétricas para registro de la actividad superficial y un sensor acústico.

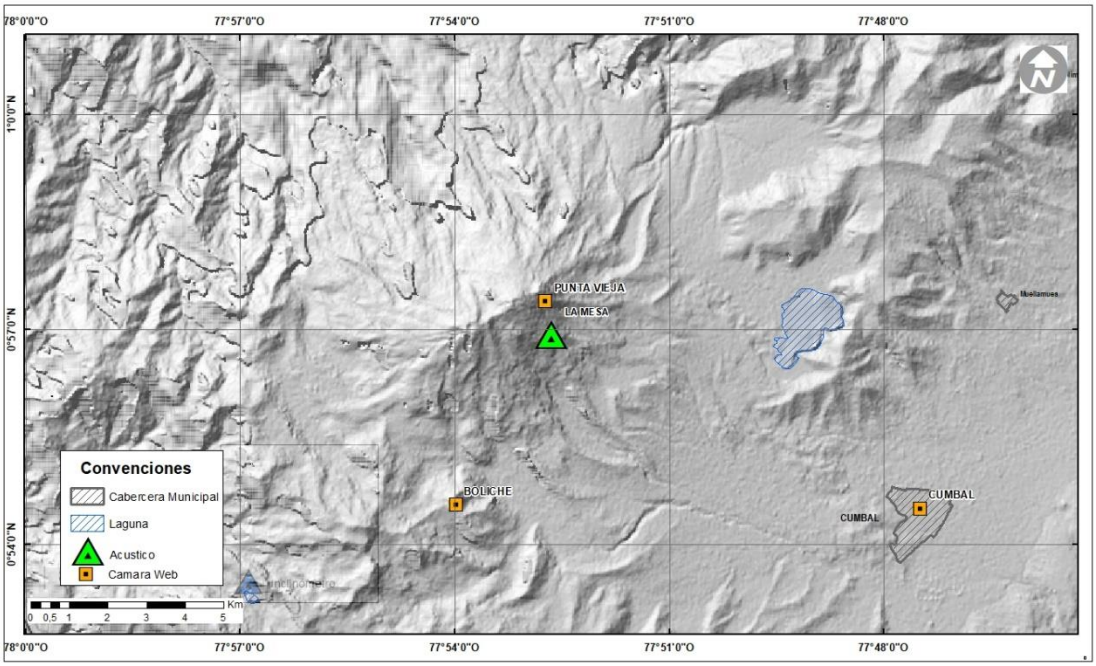


Figura 29 Mapa de localización de las estaciones de geofísica, cámaras web y sensor acústico que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de mayo de 2024

2.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

La red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia del CVC presentó un porcentaje promedio de funcionamiento del 52%. (Figura 5)

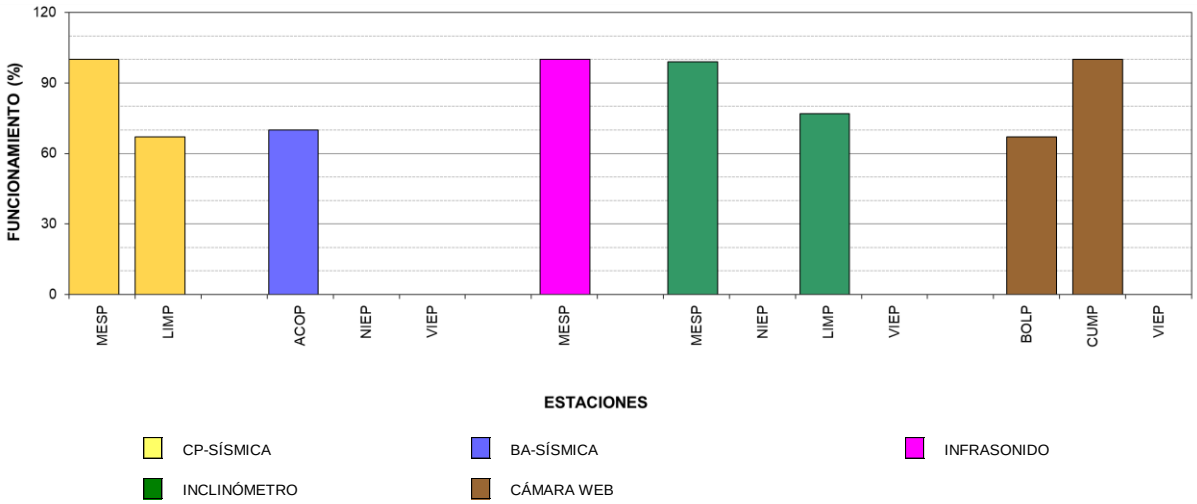


Figura 30 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVC en mayo de 2024

Las estaciones que presentaron afectaciones durante el periodo de análisis son:

- ***Estaciones Sísmicas e instrumentos para la medición de Deformación:*** Las estaciones de Agua Colorada (Sísmica) vieron afectadas también por la falla en Paja Blanca, pero se recuperan por que repiten en la estación Lagunas del Volcán Chiles: Las estaciones Nieve (sísmica, Inclinómetro) y Punta Vieja (Sísmica, Inclinómetro), presentan un porcentaje de 0% debido al daño en Paja Blanca y cambio de radios. Hasta que no se permita el ingreso por parte de la comunidad indígena a las estaciones para el mantenimiento no será posible la recuperación de la señal de estas estaciones.
  La estación de Limones presenta un porcentaje de 67 % debido a continuos bloqueos por falla en el digitalizador, se recomienda cambio del equipo en el próximo mantenimiento.

- ***Instrumentos seguimiento actividad superficial:*** Las cámaras web de Punta Vieja y Boliche se vieron afectadas también por la falla en Paja Blanca, pero se recuperan por que repiten en la estación Lagunas del Volcán Chiles.

2.2 Sismología

Con respecto al mes de abril, en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) en mayo 2024 se observó disminución del 34% en la ocurrencia sísmica, pasando de 3039 a 1992 eventos. El mayor aporte en ocurrencia provino de los sismos asociados con fractura de roca de material cortical (VT) con 1037 eventos que equivalen al 52%; seguido de 521 sismos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LP), que equivalen al 26%; seguido de 407 episodios de tremor (TRE) que equivalen al 20% y finalmente se registraron 27 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 2% del total (Tabla 8 y Figura 31). El 4 de mayo se registró el pico ocurrencia con 266 eventos (210 VT, 41 LP, 14 TRE y 1 HIB).

La energía sísmica de mayo en el CVC incrementó 22.7 veces su valor, pasando de $4.29x10^{10}$ ergios a $9.76x10^{11}$ ergios. El mayor aporte energético provino de los eventos de fractura VT con $8.12x10^{11}$ ergios, equivalente al 83%; seguido de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente persistente (TRE) con $1.49x10^{11}$ ergios, equivalente al 15%; seguida de la energía de los eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) con $1.44x10^{10}$ ergios, que equivale al 2%; finalmente los eventos de tipo híbrido registraron una energía de $5.64x10^{08}$ ergios (Tabla 9, Figura 32). El pico energético se registró el 19 de mayo con $7.48x10^{11}$ ergios, debida a 36 eventos (18 VT, 10 LP y 8 TRE).

Tabla 8 Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	1845	622	542	30	3039
Mayo 2024	1037	521	407	27	1992

Tabla 9 Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	2.14E+10	7.35E+09	1.40E+10	9.79E+07	4.29E+10
Mayo 2024	8.12E+11	1.44E+10	1.49E+11	5.64E+08	9.76E+11

Se localizaron 10 sismos, la mayoría de baja energía, 8 de ellos ubicados al oriente suroriente del CVC, en inmediaciones del costado sur de la Laguna de Cumbal, en distancias entre 7 y 8 km, con profundidades entre 7 y 9 km con respecto a la altura del cráter La Plazuela (4700 m) y magnitud local máxima de 2.3 (Figura 33). Los otros dos eventos se ubicaron respectivamente a 4 km al suroriente y a 6 km al nororiente de La Plazuela, ambos con profundidad de 5 km, con respecto a la altura de referencia (4700 m). La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las características de l ocalización del evento con ML de 2.3, sin reportes de sentido.

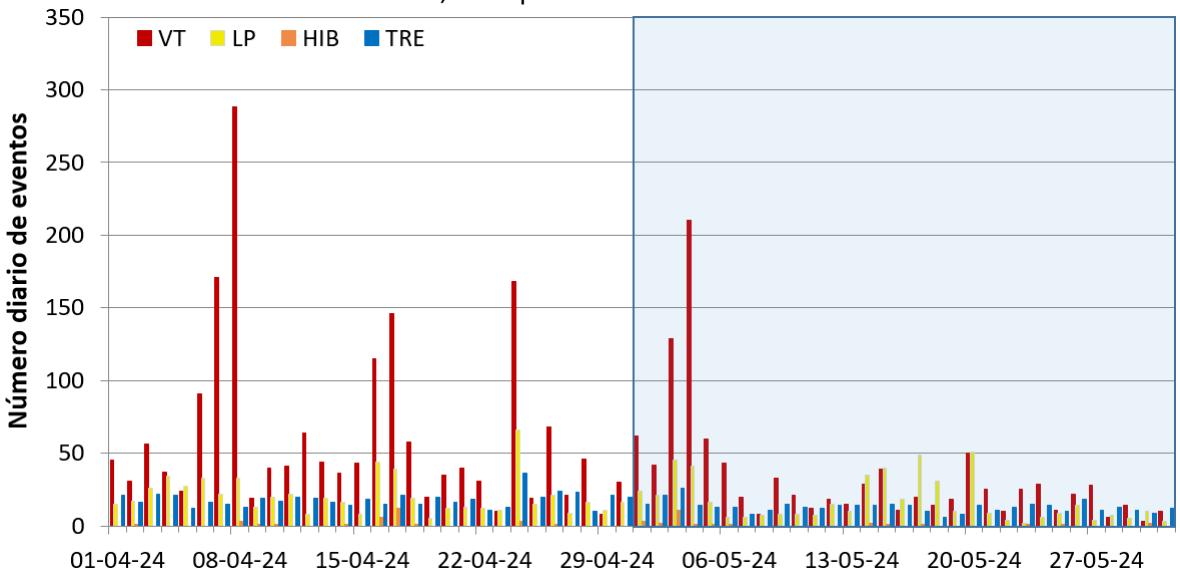


Figura 31. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado.

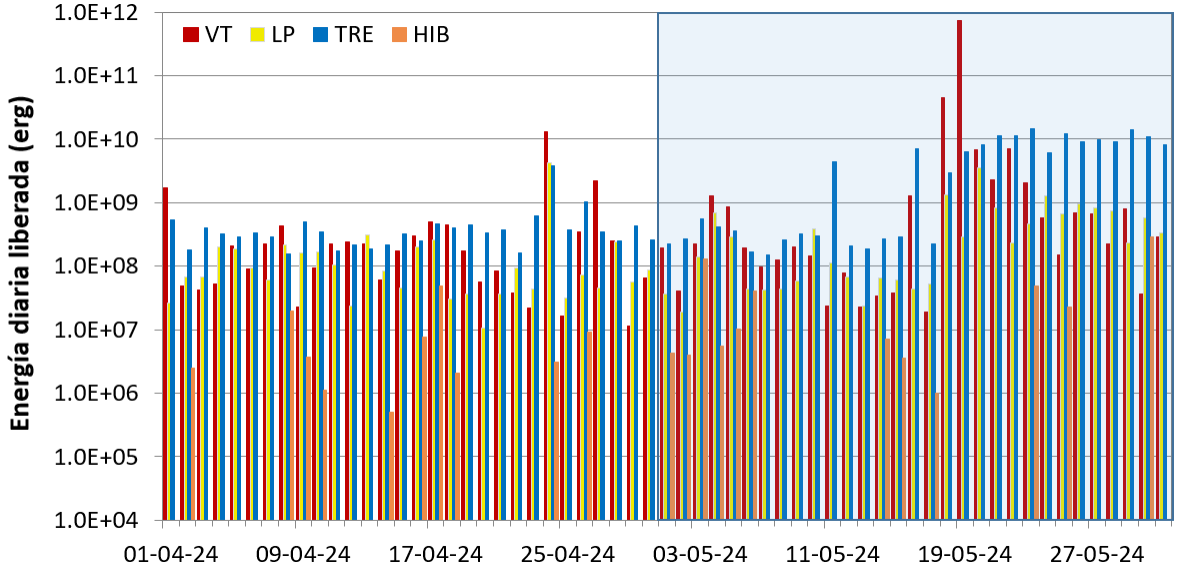


Figura 32. Energía diaria de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante abril y mayo 2024; el recuadro indica el periodo evaluado

En mayo en el CVC se registraron 2 eventos de baja energía asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria de tipo Tornillo (TOR), caracterizados por el decaimiento lento de su coda y

espectros en frecuencia con uno o varios picos. En la Figura 34 se muestra la señal, el espectrograma y el espectro de los dos TOR registrados en mayo, en la componente vertical de la estación de corto periodo La Mesa, ubicada a 1.3 km al suroriente del cráter La Plazuela (nororiente del CVC). Los eventos TOR de la figura se registraron respectivamente el 10 a las 01:51 hora local (06:51 UTC) y el 23 a las 06:58 hora local (11:58 UTC).

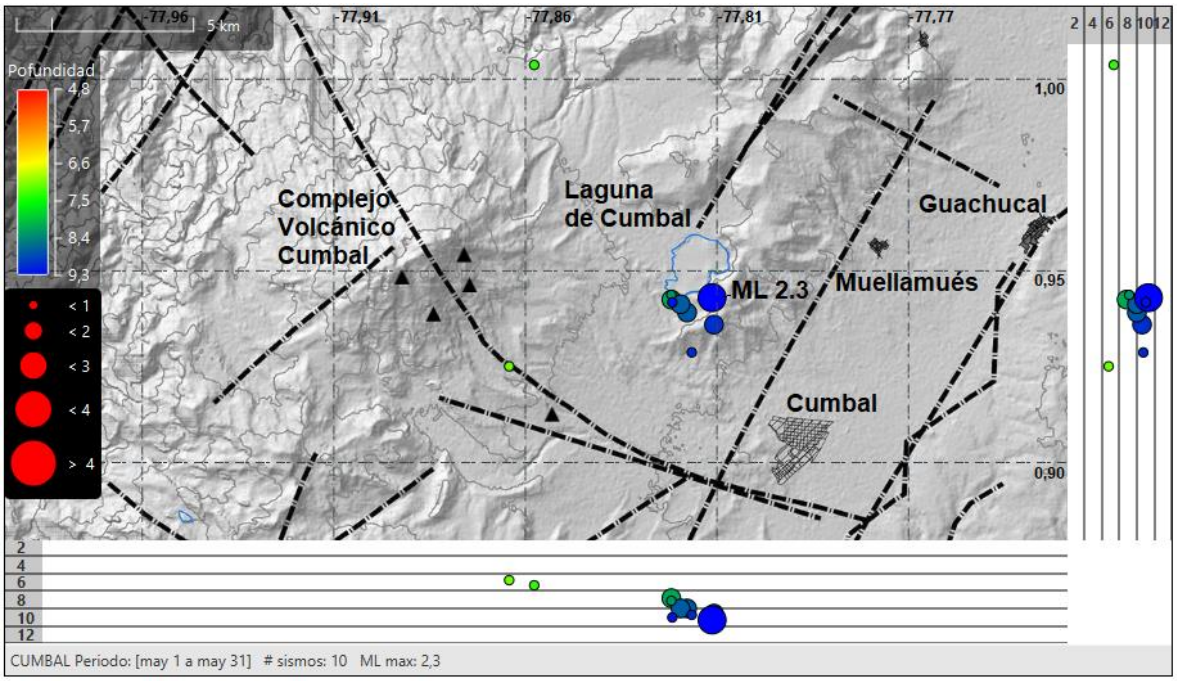


Figura 33. Sismos localizados en el CVC, mayo 2024

Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de mayo muestran respectivamente un pico dominante en 2.08 Hz y 2.75 Hz, adicionalmente el evento del día 23 también muestra otro pico en 1.72 Hz (Figura 34). Los eventos TOR del CVC en mayo alcanzaron una energía de 2.68×10^{08} ergios. 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 con el sistema hidrotermal del CVC.

Se registraron 7 eventos de baja energía, asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria que presentan muy baja frecuencia, denominados VLP. A manera de ejemplo, en la Figura 35 se muestra el sismograma y el espectro en frecuencia del evento registrado el 11 de mayo del 2024 a las 02:29 hora local (07:29 UTC), en la componente vertical de 4 estaciones ubicadas en el complejo volcánico a distancias entre 0.8 y 7 km del cráter la Plazuela; este evento mostró un pico dominante en las bajas frecuencias entre 0.9 y 1.2 Hz o un periodo entre 1.1 y 0.8 segundos, el periodo medido directamente en la onda de la estación LIMZ fue de 0.9 segundos. La energía de los eventos VLP de mayo del 2024 en el CVC alcanzó un valor de 7.14×10^{07} ergios.

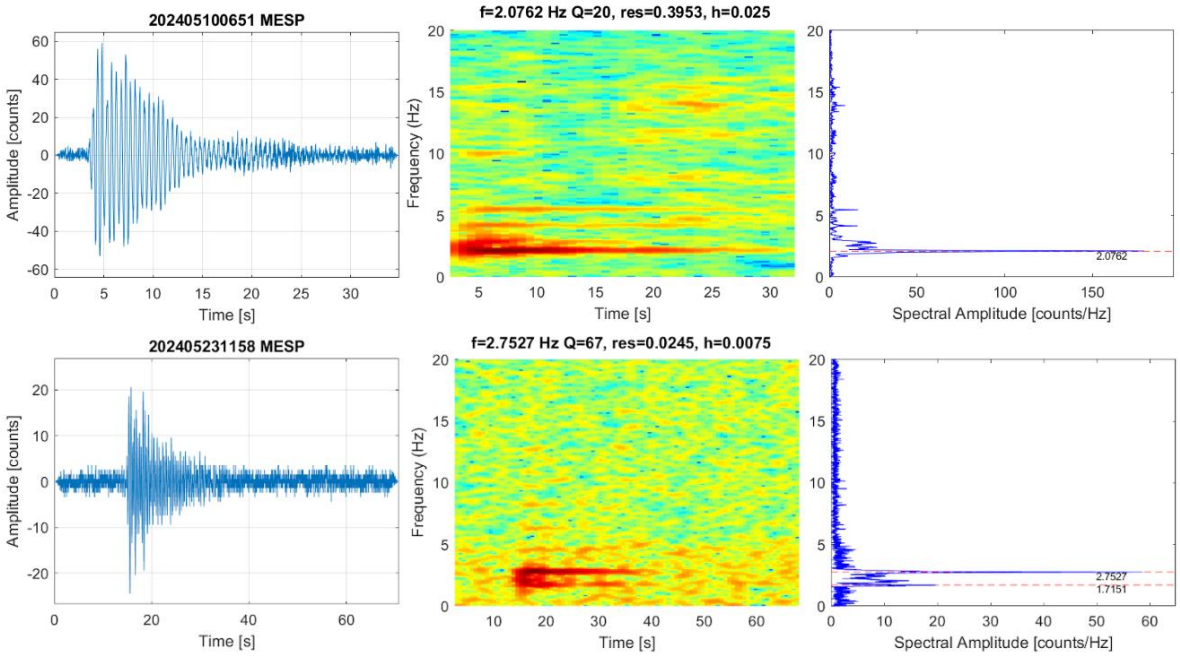


Figura 34. Sismogramas, espectrogramas y espectros en frecuencia de los dos eventos TOR de mayo 2024 en la componente vertical de la estación La Mesa del CVC

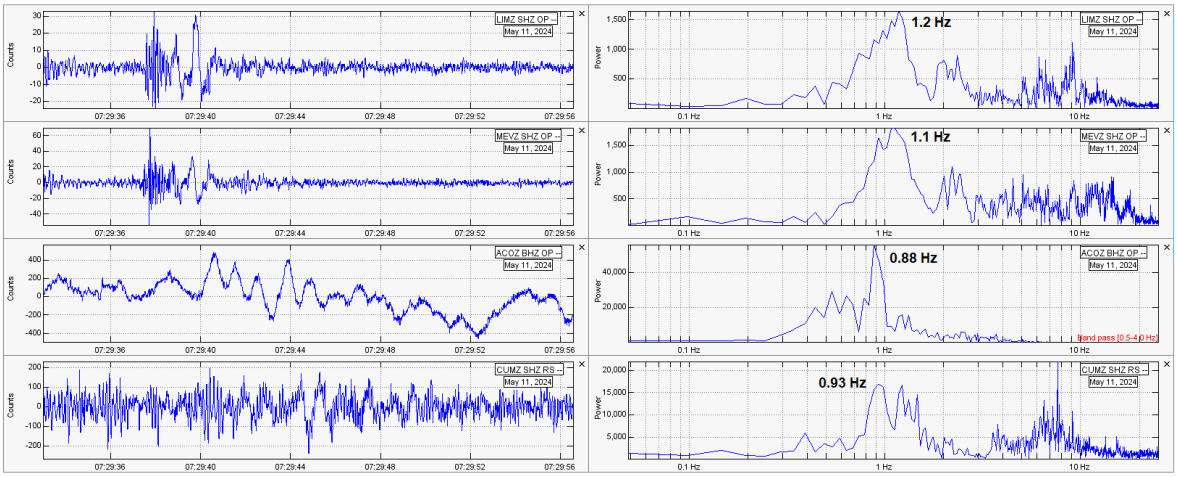


Figura 35. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento VLP del 11 de mayo del 2024 a las 02:29 hl (07:29 UTC), en la componente vertical de cuatro estaciones sísmicas del CVC

2.3 Deformación

2.3.1 Inclinometría Electrónica

El 22 de noviembre de 2023 en mantenimiento preventivo en la estación multiparámetro La Mesa se nivelo el sensor de inclinometría, observando estabilidad posterior a las tendencias descendentes que se tenía en las componentes tanto Norte, como Este (Figura 36). Las otras estaciones de inclinometría que conforman la red de deformación presentan estabilidad, algunas de las variaciones en los registros están asociados a las fluctuaciones de temperatura imperantes en la zona. A manera de ejemplo en la Figura 37 se presentan las series temporales de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Limones.

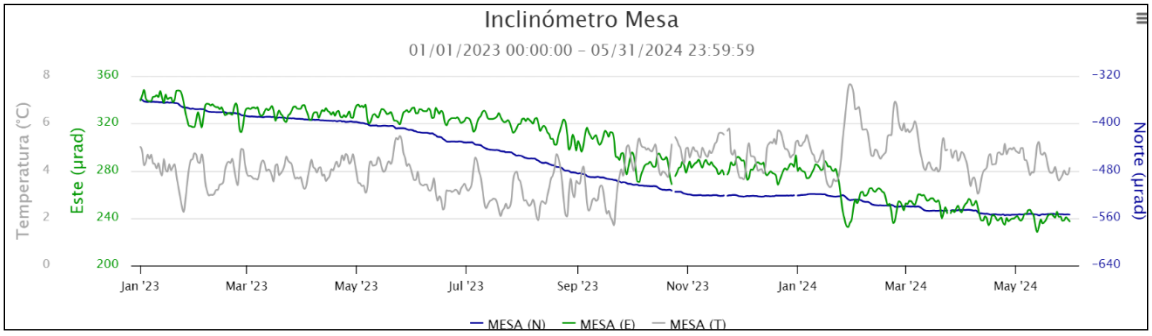


Figura 36. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

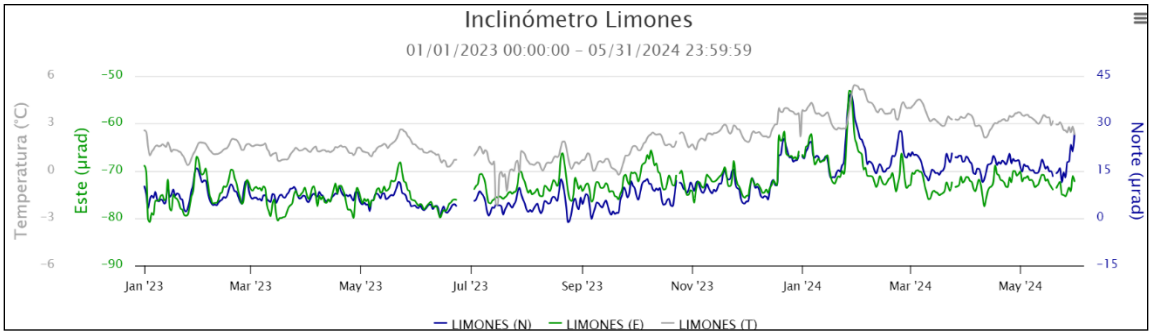


Figura 37. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

2.3.2 D- InSAR

En la Figura 38, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Cumbal obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

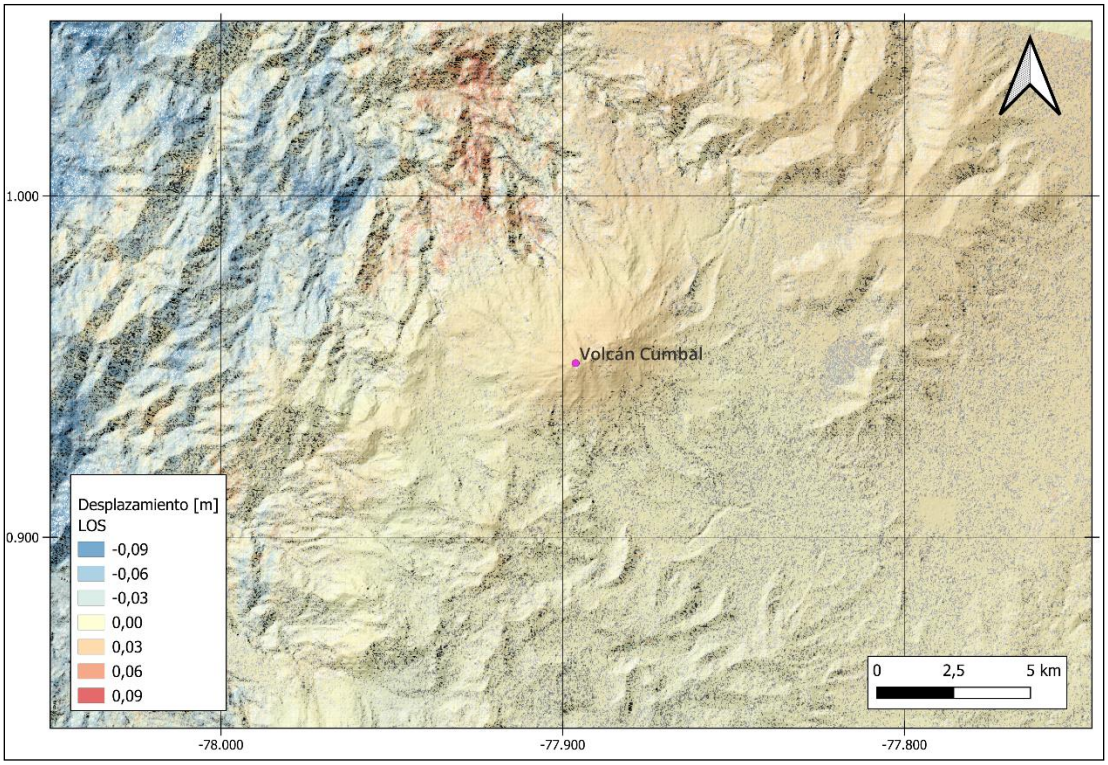


Figura 38. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal.

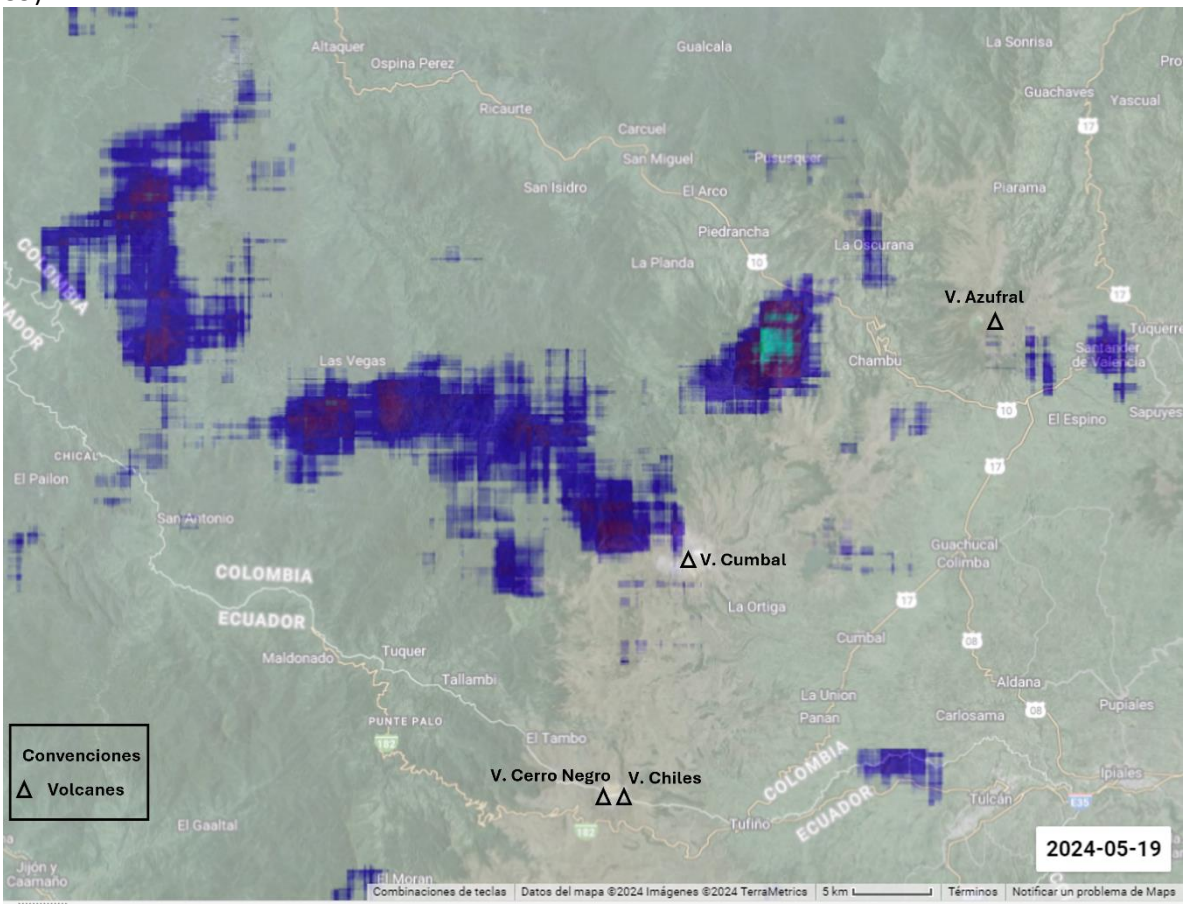
2.4 Electromagnetismo

2.5 Geoquímica

2.5.1 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2)

Con base en los registros del satélite Sentinel-5 Precursor (S-5P), que cuenta con un sensor TROPOMI (Instrumento de Monitoreo Troposférico), que permite estimar concentraciones de SO_2, entre otras especies, en los últimos 15 días del mes de mayo se identifican valores bajos de SO_2 (< 0.1 DU) para el promedio de este periodo de tiempo, presumiblemente procedentes del CVC (Figura

39)



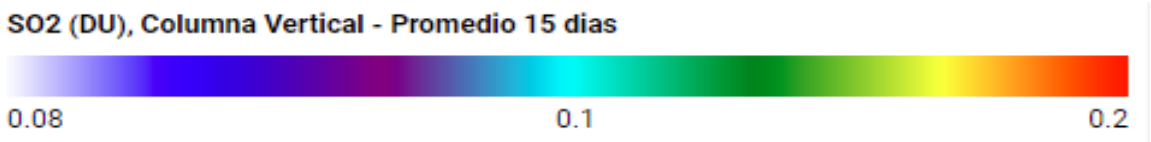


Figura 39. Estimación cualitativa de SO_2 obtenido con la aplicación TROPOMI para la segunda quincena de mayo de 2024. En la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores.

2.5.2 Muestreo de aguas en fuentes termales-volcán Cumbal.

No se realizó muestreo en este periodo.

2.6 Actividad Superficial

El registro y observación de la actividad superficial se realizó desde las cámaras instaladas en campo que transmiten datos al OVSPA. Durante el periodo de estudio las condiciones predominantes del estado del tiempo atmosférico permitieron identificar el cielo nublado con predominio de tiempo seco que permitió observar emisiones en un 32 % del total de los días durante el mes de mayo. Las características predominantes de estas emisiones fueron de baja altura y dirección variable por

cortos lapsos de tiempo desde las cámaras de Boliche y Cumbal. Los principales focos de emisión fueron los campos fumarólicos de El Verde, Los Rastrojos, Boca Vieja, El Patio y Las Bandas.

En la Figura 40, Figura 41, Figura 42 y Figura 43 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo Volcánico Cumbal.

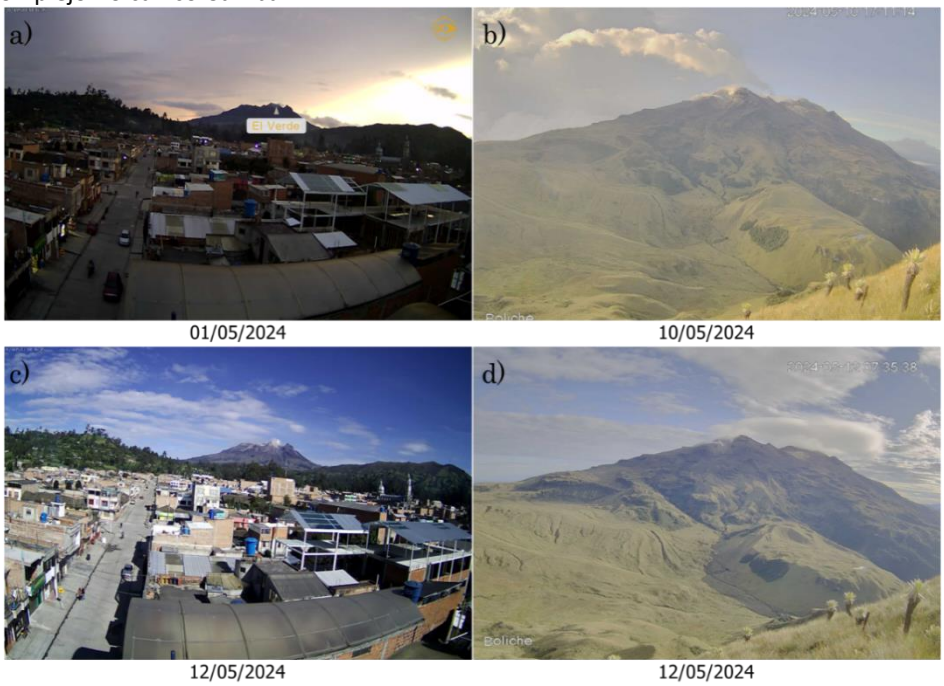


Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el complejo volcánico de Cumbal captadas por a) y c) la cámara Cumbal los días 01 y 12 de mayo del 2024 b) y d) la cámara de Boliche los días 10 y 12 de mayo del 2024.

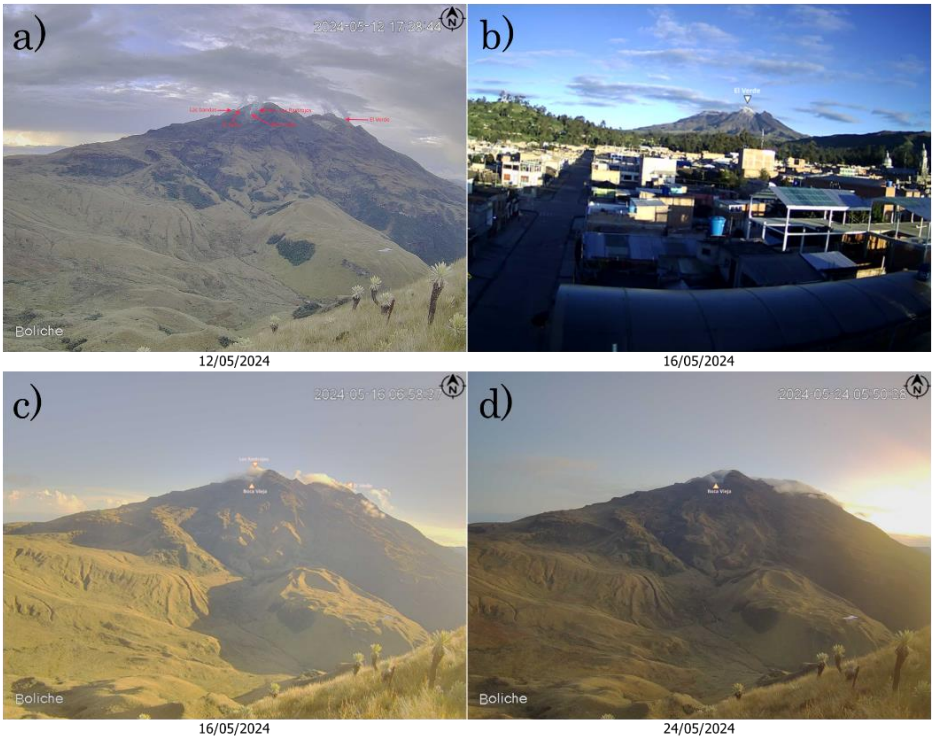


Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captados por la cámara Boliche los días a) 12 de mayo c) 16 de mayo y c) 24 de mayo y b) por la cámara Cumbal el día 16 de mayo del 2024

Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por la cámara Boliche los días a) 24 de mayo y b) 25 de mayo.

Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por a) la cámara Boliche el día 26 de mayo y b) la cámara Cumbal el día 28 de mayo.

2.7 Conclusiones

En mayo del 2024 en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), se observó disminución en la ocurrencia con incremento de la energía de los sismos, con el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior de la estructura volcánica, con ML máxima de 2.3, sin reportes de sismo sentido. Las estaciones de deformación muestran estabilidad sin registrar procesos importantes Mediante la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días”, se identifican valores bajos de SO_2 presumiblemente provenientes de CVC.

La evaluación de la actividad del CVC en mayo 2024 permitió mantener el estado de **ALERTA AMARILLA** ■ : “Volcán activo con cambios en el comportamiento del nivel base de los parámetros monitoreados y otras manifestaciones”.

3 Actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro de Mayasquer mayo de 2024

3.1 Red de vigilancia

La Tabla 10 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis, a nivel general los instrumentos se encuentran en sitios con altitudes aproximadas hasta de ~4.478 m.s.n.m. y distancia mínima de 1 kilómetro en inmediaciones del cono volcánico. (Figura 44)

Tabla 10 Red de vigilancia del volcán CVCCN para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO	No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Canguil	CANP	**16**	INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS	Cerro negro	CERP
2		Cerro Negro	CERP	**17**		Chiles	CHIP
3		Chiles	CHIP	**18**		La Tola	TOLP
4		Lagunas	LAGP	**19**		Morro	MROP
5		Moledora	MOLP	**20**	SENSORES GNSS	Canguil	CANP
6		Tola	TOLP	**21**		Cerro Negro	CERP
7		Morro	MROP	**22**		Chiles	CHIP
8		Nasate	NASP	**23**		Moledora	MOLP
9		Panám	PANP	**24**		La Tola	TOLP
10	ACELERÓMETROS	La Tola	TOLP	**25**		Morro	MROP
11	SENSORES DE INFRASONIDO	Canguil 1	CANP-1	**26**	TERMOCUPLAS	Rincón Bello	RBEP
12		Canguil 2	CANP-2	**27**	MAGNETÓMETROS	El Morro	MROP
13		Lagunas 1	LAGP-1	**28**			
14		Lagunas 2	LAGP-2	**29**	CÁMARAS WEB	Canguil	CANP
15		Morro	MROP	**30**		Lagunas	LAGP

Según la tabla anterior los sensores se encuentran distribuidos de la siguiente forma :

- ***Estaciones Sísmicas:*** La red está compuesta por nueve estaciones sísmicas telemétricas triaxiales de banda ancha y un (1) acelerómetro.

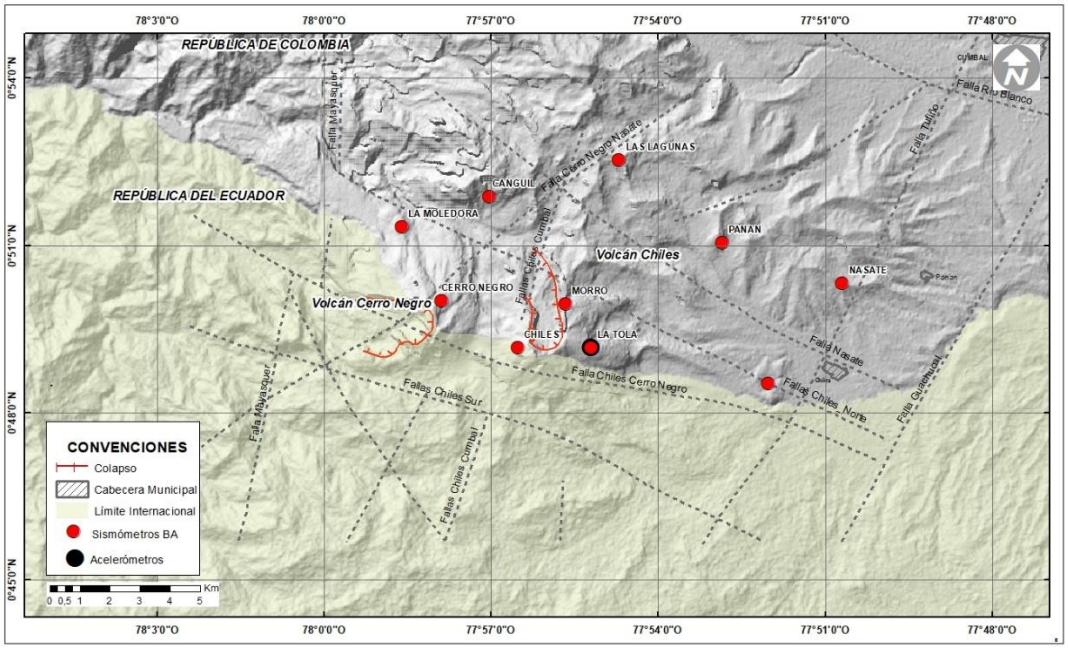


Figura 44 Ubicación de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de mayo de 2024.

- ***Instrumentos para el seguimiento de Deformación**:* Cuatro (4) inclinómetros electrónicos; seis (6) estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital). (Figura 45)

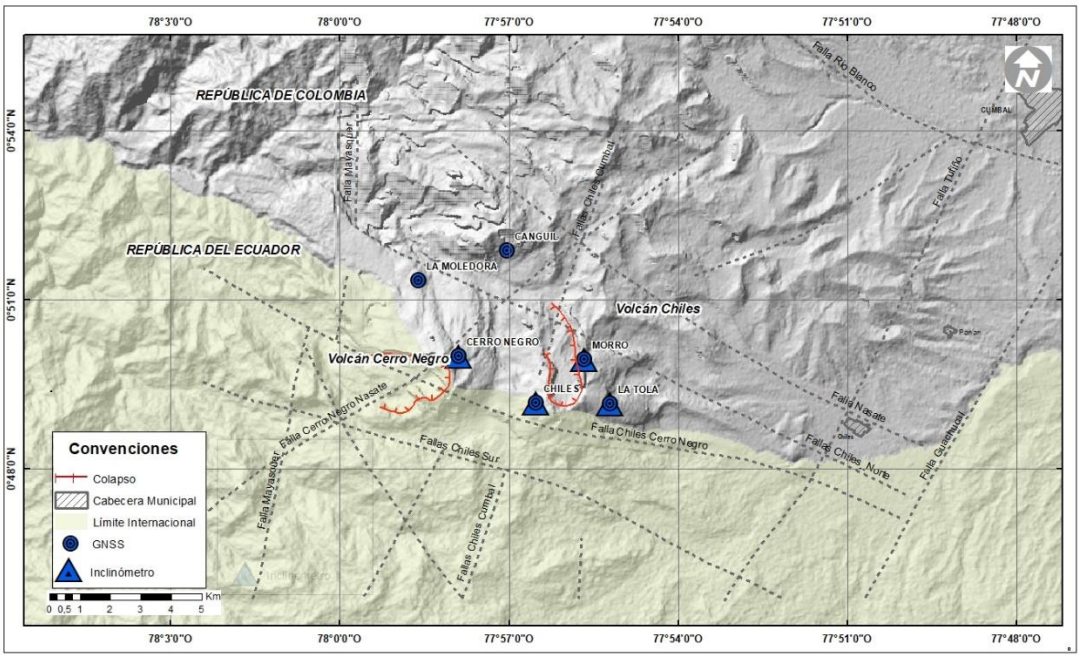


Figura 45. Ubicación de las estaciones para el seguimiento de la deformación que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2024.

- ***Instrumentos para el seguimiento de parámetros geoquímicos y geofísicos:*** Una (1) estación para monitoreo y seguimiento térmico (termocupla), un (1) magnetómetro, dos (2) cámaras web y tres (3) sensores acústicos. (

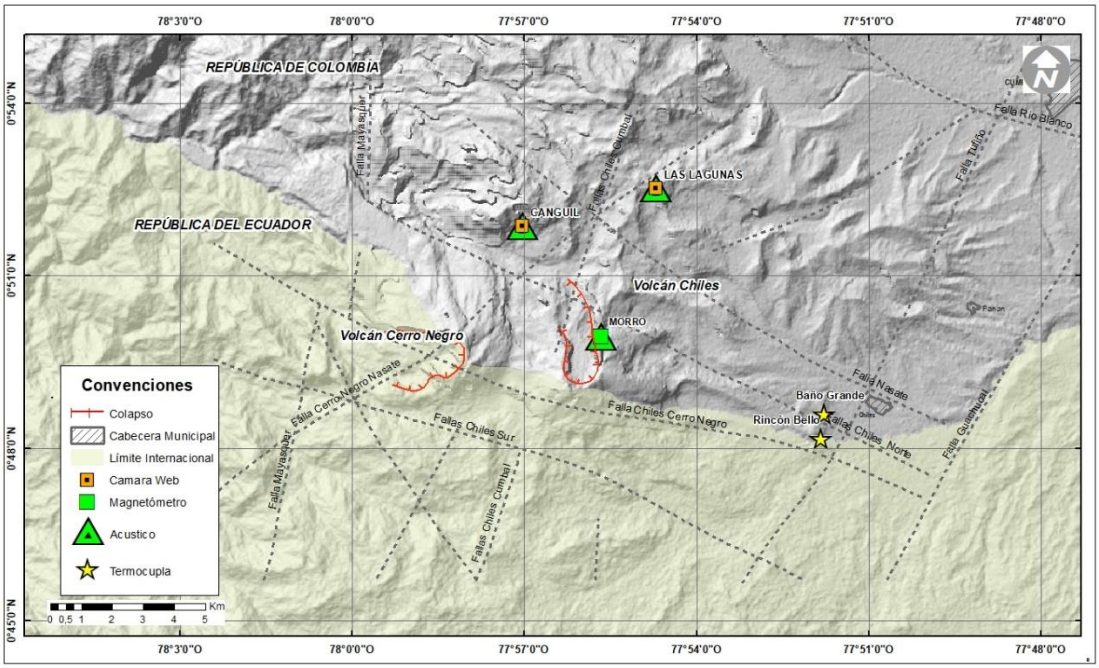


Figura 46)

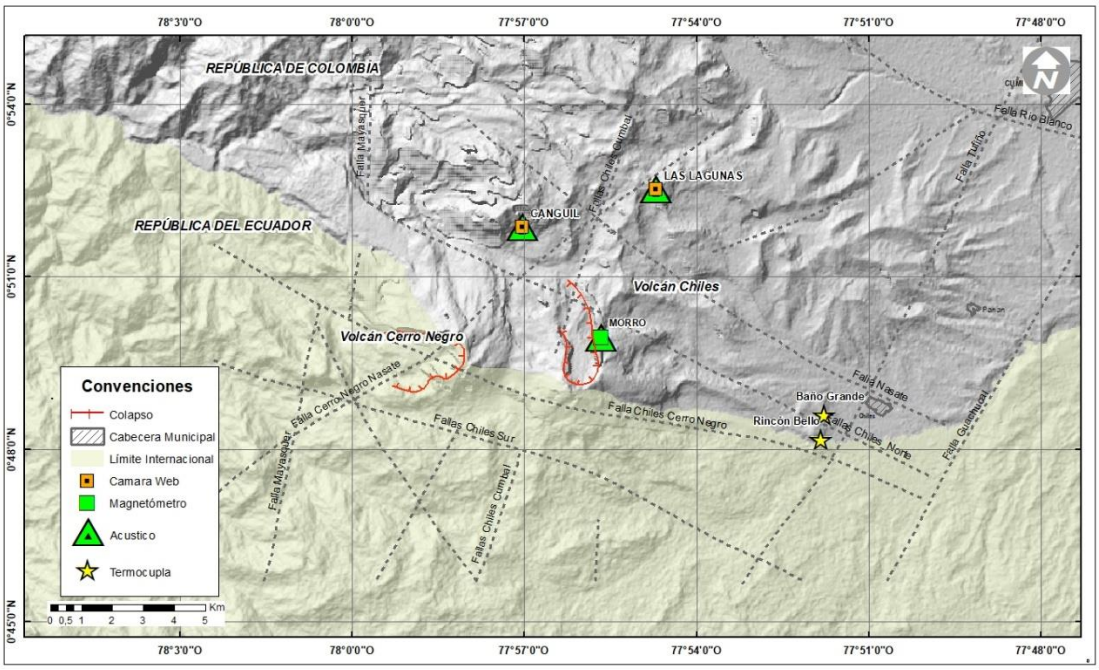


Figura 46. Ubicación de las estaciones para el seguimiento de parámetros geofísico y geoquímicos que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro para el mes de abril de 2024.

3.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

Las redes instrumentales de monitoreo y vigilancia de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvieron un porcentaje promedio de funcionamiento del 76% debido a que todas las estaciones se vieron afectadas por el daño en el sistema eléctrico de la estación repetidora de Paja Blanca. (Figura 47)

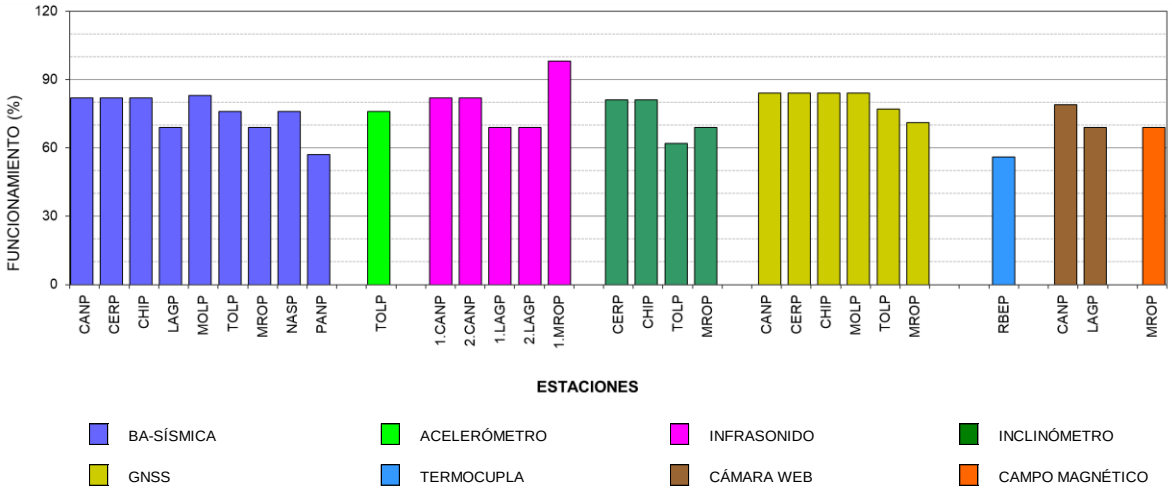


Figura 47 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVCCN en mayo de 2024.

3.2 Sismología

En mayo 2024 en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, se observó disminución del 26% en la ocurrencia sísmica, pasando de 3583 a 2670 eventos (Tabla 11 y Figura 48). El mayor aporte en ocurrencia provino de la sismicidad asociada con fractura de material cortical (VT) con 2094 eventos que representan el 78% del total; seguido de 353 eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LP) que representan el 13%; seguido de 156 eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria de muy baja frecuencia (VLP), que representan el 6%; también se presentaron 49 eventos de tipo híbrido (HIB), que representan el 2% y 18 episodios de tremor (TRE) que equivalen al 1%. El 2 y el 14 de mayo se registraron los picos de ocurrencia sísmica, que respectivamente fueron de 167 y 161 eventos, la gran mayoría de tipo VT (Tabla 11).

Tabla 11 Número de eventos volcánicos por tipo, Chiles - Cerro Negro, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LP	VLP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	3049	399	101	8	26	3583
Mayo 2024	2094	353	156	18	49	2670

De manera similar a lo registrado en meses anteriores, la energía sísmica presentó fluctuaciones en sus valores y en mayo 2024 disminuyó 82% su valor, al pasar de $9.75x10^{14}$ ergios a $1.71x10^{14}$ ergios (Tabla 12, Figura 49), correspondiendo un 74% a la energía de los eventos asociados con tránsito de fluidos de muy baja frecuencia VLP con $1.27x10^{14}$ ergios; seguida de los eventos asociados con fractura de roca VT, que liberaron una energía de $4.26x10^{13}$ ergios, correspondiente al 25%; seguida de los eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con $1.36x10^{12}$ ergios, que corresponde al 1%. La energía de los otros tipos de sismicidad es muy baja, los eventos de tipo híbrido HIB que muestran el efecto simultáneo de los procesos de fractura y tránsito de fluidos en su forma de onda aportaron con $3.76x10^{11}$ ergios y los episodios de tremor liberaron una energía

de $6.48x10^{10}$ ergios. El 18 de mayo se registró el pico energético con $9.38x10^{13}$ ergios, debido a 66 eventos, la mayoría de tipo VT (Figura 49).

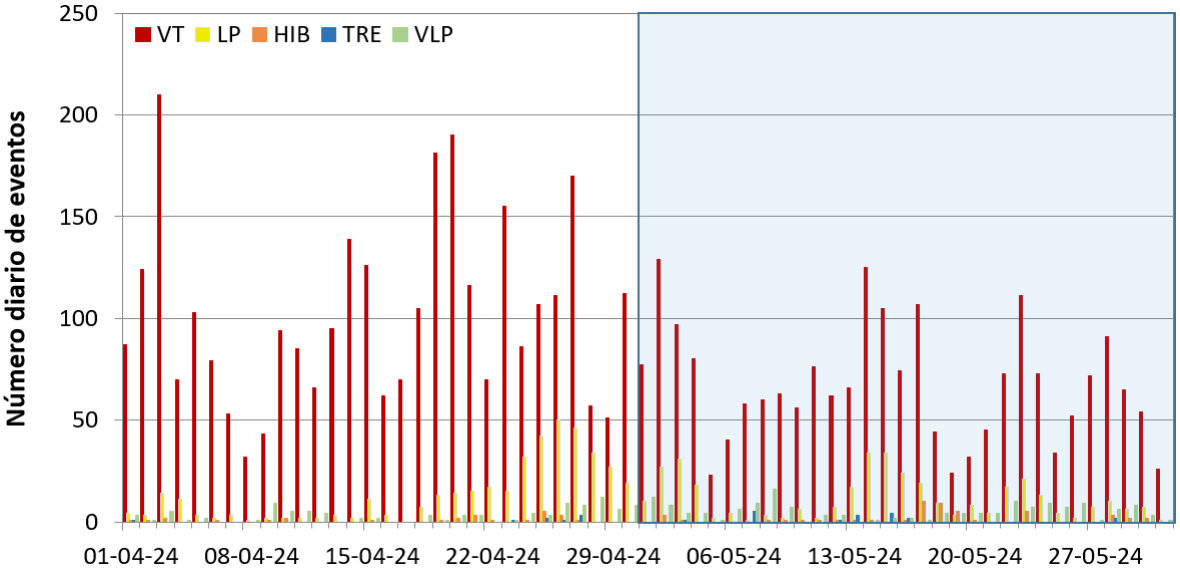


Figura 48 Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril y mayo 2024, el recuadro indica el periodo evaluado

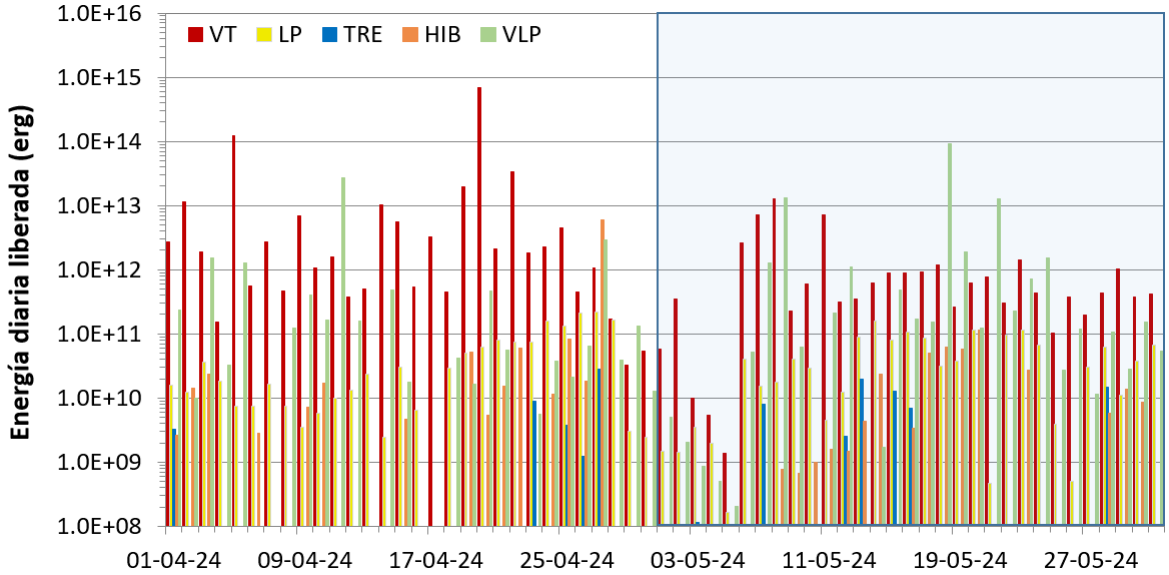


Figura 49. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado

Se localizaron 319 sismos (Figura 50), que se distribuyeron principalmente en 2 grupos. El primer grupo se ubicó en la cima de Chiles y la zona de colapso hacia el norte de esta, en distancias entre 0 y 1.5 km, con profundidades entre 1 y 6 km y ML máxima de 1.7 (Figura 50). El segundo grupo de sismos se ubicó hacia el sur de Chiles en distancias entre 1 y 4 km, con profundidades entre 1 y 8 km con respecto a su cima (~4700 m.s.n.m.) y ML máxima de 2 (Figura 50). El resto de los sismos se ubicó de manera dispersa en la región de los dos volcanes, en distancias entre 2 y 15 km, con profundidades entre 2 y 16 km con respecto a la cima de Chiles (~4700 m.s.n.m.) y ML máxima de

1.6. Solamente se registró un evento con ML de 2, a una distancia de 3 km hacia el sur de Chiles con profundidad de 5 km, sin reportes de sismo sentido.

Tabla 12 Energía de eventos volcánicos por tipo, Chiles - Cerro Negro, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo					
	VT	LP	VLP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	9.31E+14	1.47E+12	3.55E+13	4.56E+10	6.39E+12	9.75E+14
Mayo 2024	4.26E+13	1.36E+12	1.27E+14	6.48E+10	3.76E+11	1.71E+14

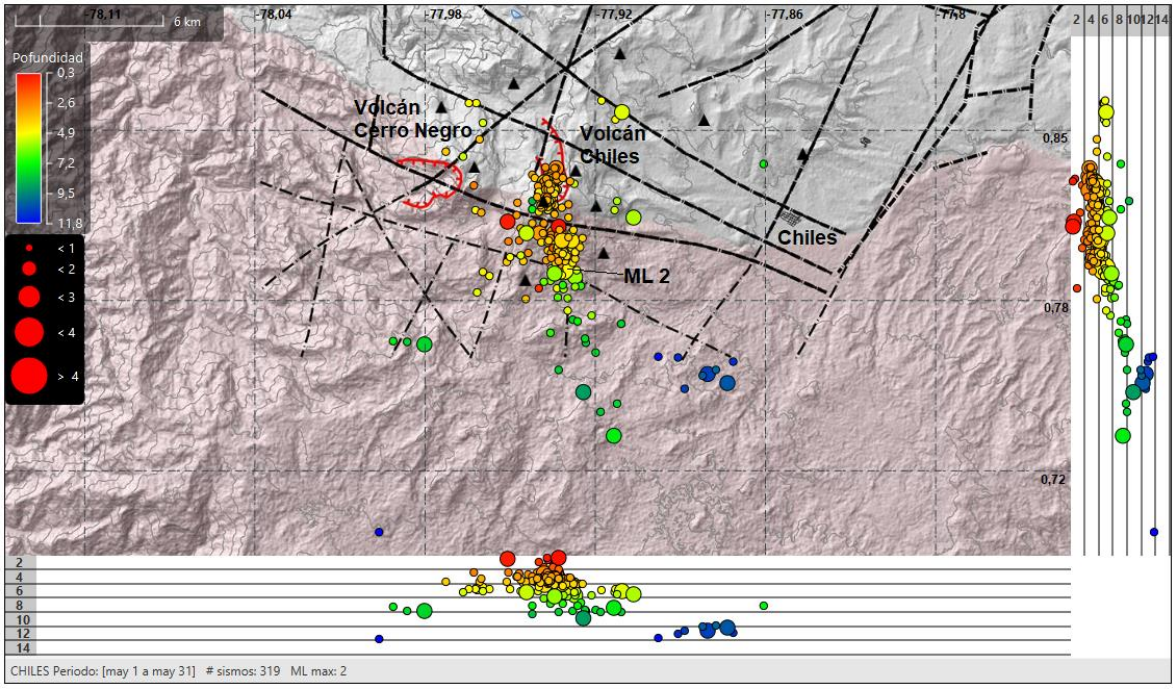


Figura 50. Localizaciones de sismos VT, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, mayo 2024

La gran mayoría de eventos son de baja energía y en Tabla 13 se consignan las características de localización del sismo con ML de 2.0 (Figura 50 y Figura 51).

Tabla 13. Sismo VT con ML 2.0, Chiles - Cerro Negro, mayo 2024

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
2/05/2024	04:18:36	0.7940	-77.9303	5	2.0

Se registraron 156 eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria que presentan muy baja frecuencia denominados VLP que alcanzaron un valor de energía de $1.27x10^{14}$ ergios. A manera de ejemplo, en la Figura 51 se muestra el sismograma y el espectro en frecuencia del evento registrado el 21 de mayo a las 09:30 am (14:30 UTC), en la componente vertical de 5 estaciones ubicadas en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro a distancias entre 0.7 y 5 km de la cima de Chiles; este evento mostró un pico dominante en las bajas frecuencias de 0.19 Hz o un periodo de 5.3 segundos; el periodo medido directamente en la onda fue de 5.2 segundos; fue localizado a 0.6 km hacia el noroccidente de la cima de Chiles en el sector del colapso, con profundidad de 3 km.

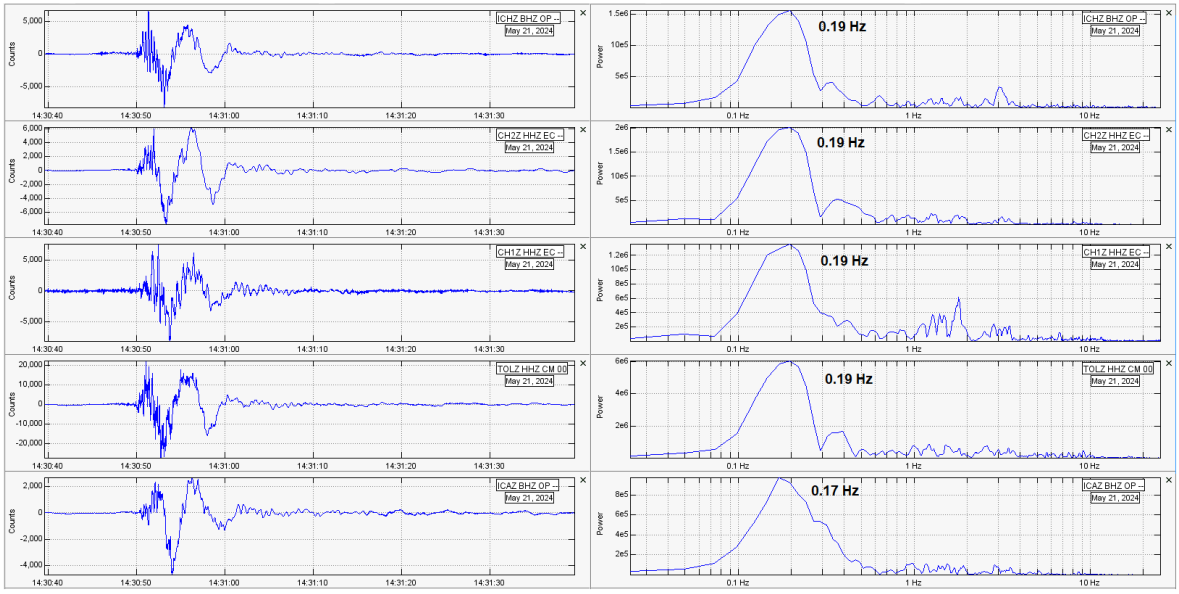


Figura 51. Sismogramas y espectro en frecuencia del evento VLP del 21 de mayo a las 09:30 am en la componente vertical de algunas estaciones sísmicas de los volcanes Chiles y Cerro Negro

3.3 Deformación

Para el seguimiento de los cambios deformativos del terreno sobre la superficie del complejo volcánico Chiles - Cerro Negro, se tiene instalado del lado colombiano por parte del SGC – OVSPA, cuatro inclinómetros electrónicos, tres instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y seis estaciones GNSS permanentes instaladas alrededor del complejo volcánico. Adicionalmente del lado ecuatoriano se tienen cuatro estaciones GNSS Permanentes instaladas por el IGEPN.

3.3.1 Inclinometría Electrónica

Para el inclinómetro El Morro, en la primera semana de diciembre de 2023 se cambió de sitio el inclinómetro electrónico, se ubicó junto con el sensor sísmico en el mismo sistema de protección, observando una ligera tendencia descendente en la componente Este acumulando cerca de 50 µrad hasta los primeros días de enero de 2024, posteriormente tiende a estabilizarse (Figura 52).

Para el inclinómetro Chiles, continua los cambios observados en sus componentes de inclinación, en la Este persiste la tendencia ascendente registrando 440 µrad desde el 15 de julio de 2023, en contraste se tiene un comportamiento levemente descendente en la Norte acumulando cerca de 320 µrad para el mismo periodo (Figura 53).

Las componentes de inclinación de la estación La Tola presentan estabilidad, algunas de las variaciones en los registros están asociados a las fluctuaciones de temperatura imperantes en la zona (Figura 54). El salto observado el 11 de diciembre de 2023 en las componentes de inclinación del sensor fue provocado por un sismo de magnitud 4,4, registrado a las 2:36:20 a.m.

En la Figura 55, se muestra el registro del inclinómetro electrónico Cerro Negro, desde diciembre de 2022 hasta mayo de 2023, se observó una ligera tendencia descendente en la componente Este, posteriormente un ascenso entre mayo y finales de junio de 2023. Desde inicios del mes de septiembre de 2023 se observó un comportamiento ascendente en sus dos componentes,

acumulando 66 µrad la Este y 7 µrad, la Norte, posteriormente desde finales de diciembre de 2023, tiende a estabilizarse.

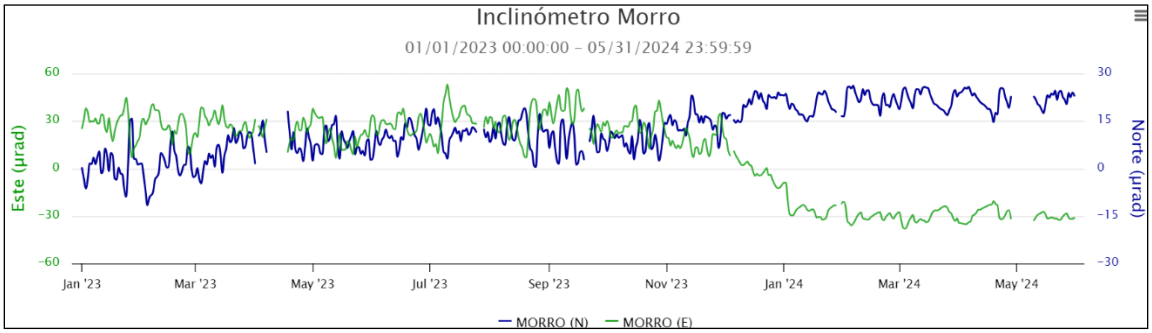


Figura 52. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico Morro, instalado en el volcán Chiles para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

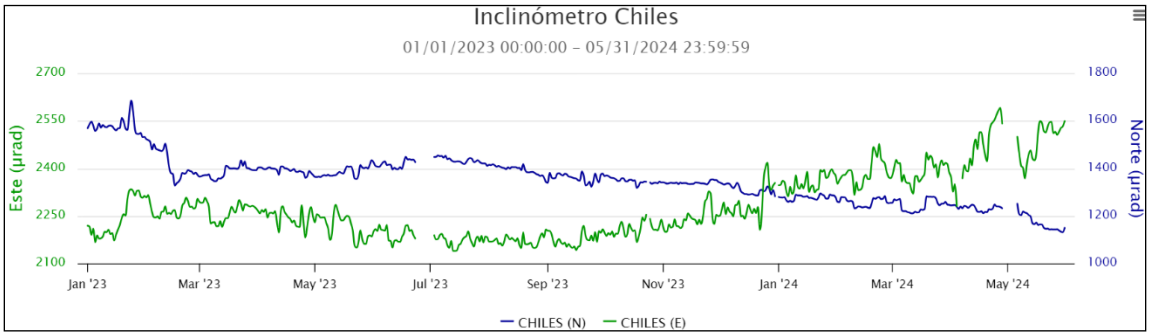


Figura 53. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

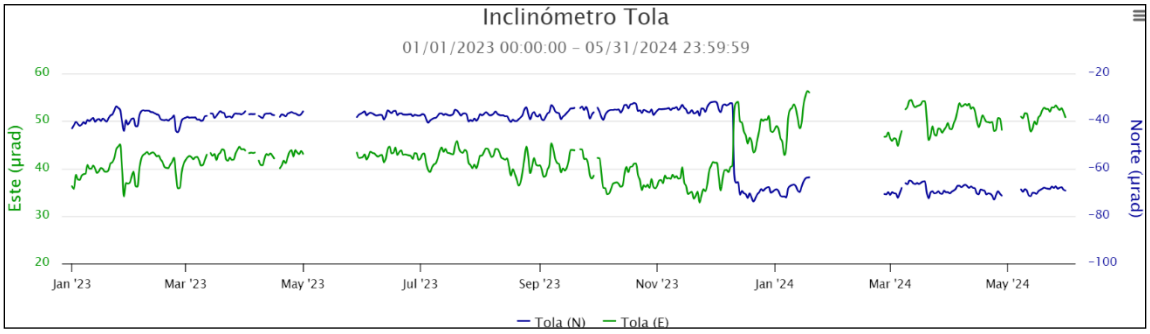


Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico La Tola, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

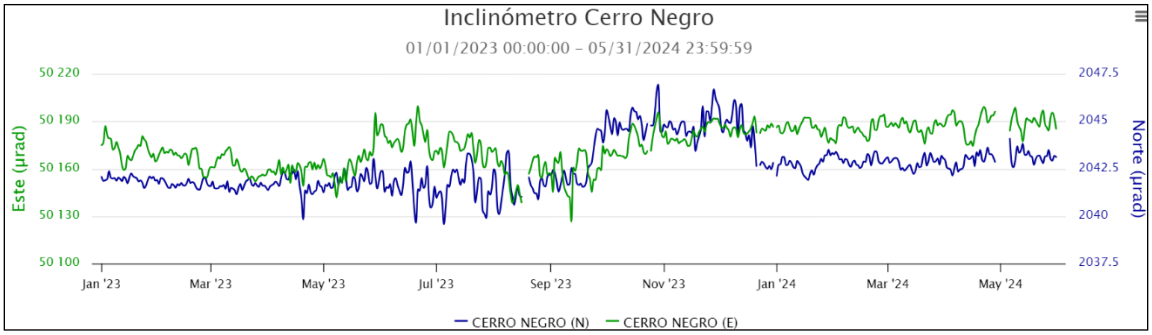


Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

3.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Sobre la superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro por parte del SGC – OVS Pasto se tienen instaladas seis estaciones GNSS Permanentes y del IGEPN se tienen cuatro estaciones GNSS, en la Figura 56 se muestra su ubicación.

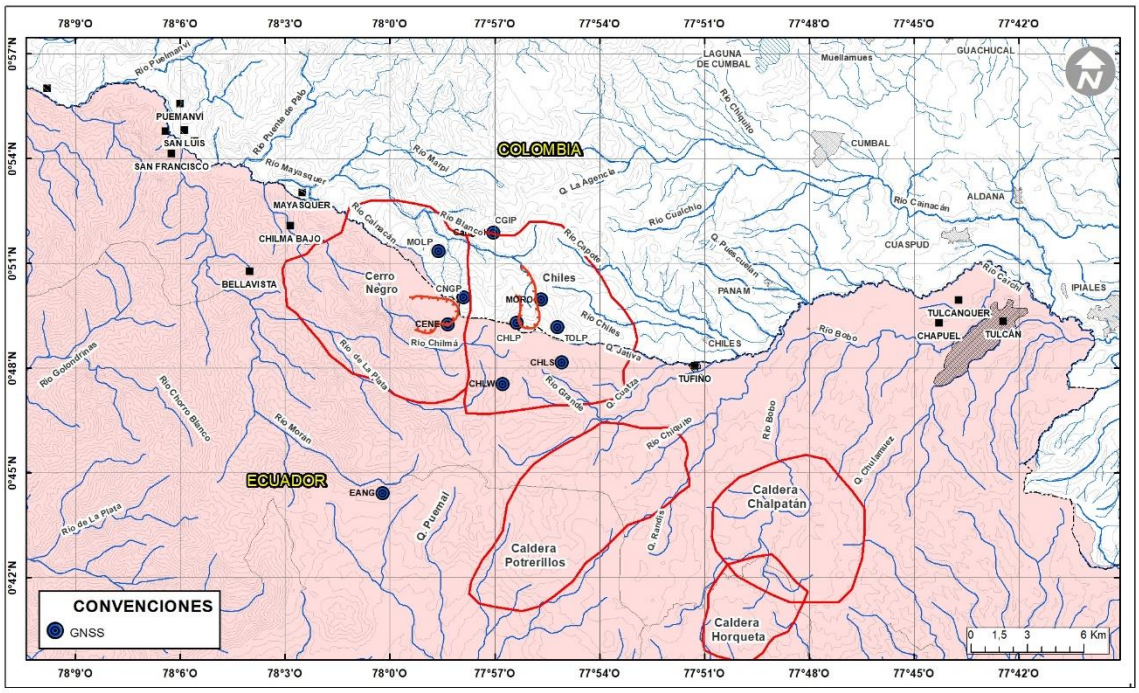


Figura 56. Ubicación de las estaciones GNSS permanentes dedicadas al monitoreo de los cambios en superficie del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, SGC (MORO, CGIP, CNGP, TOLP, CHLP, MOLP), e IGEPN (CENE, CHLW, CHLS, EANG).

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.

Es importante destacar que se tiene un comportamiento ascendente en las direcciones Norte y vertical de la mayoría de las estaciones, así como variaciones ascendentes y descendentes en la dirección Este, dependiendo de la ubicación de la estación GNSS.

En particular, se han identificado periodos en los cuales la pendiente de las series temporales ha experimentado aumentos significativos, especialmente en la dirección Norte. Este incremento en la pendiente de las mediciones ha estado acompañado con aumento en la actividad sísmica, principalmente en el número de eventos, observando de igual forma cambios resaltables en la tasa de deformación, primordialmente en las estaciones más próximas al cráter del volcán Chiles (Figura 57, Figura 58 y Figura 59).

En la estación CNGP, ubicada sobre el edificio volcánico de Cerro Negro, se ha observado una tendencia levemente ascendente en la dirección Norte y vertical, y descendente en la Este (Figura 60). En la estación MOLP, de manera similar se tiene un descenso en la dirección Este y ascenso en la Norte y vertical (Figura 20).

Para la estación Canguil (CGIP) se observa un leve comportamiento ascendente en la dirección Norte y descenso en la Este (Figura 61).

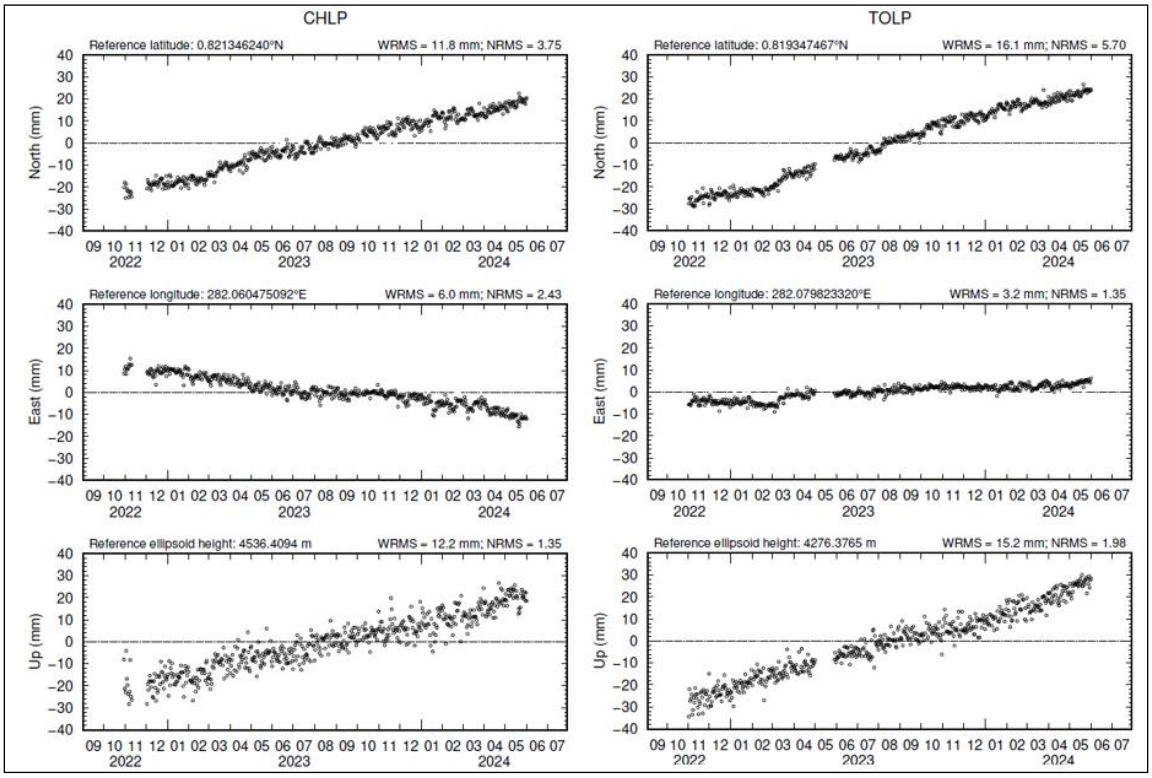


Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLP y TOLP instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

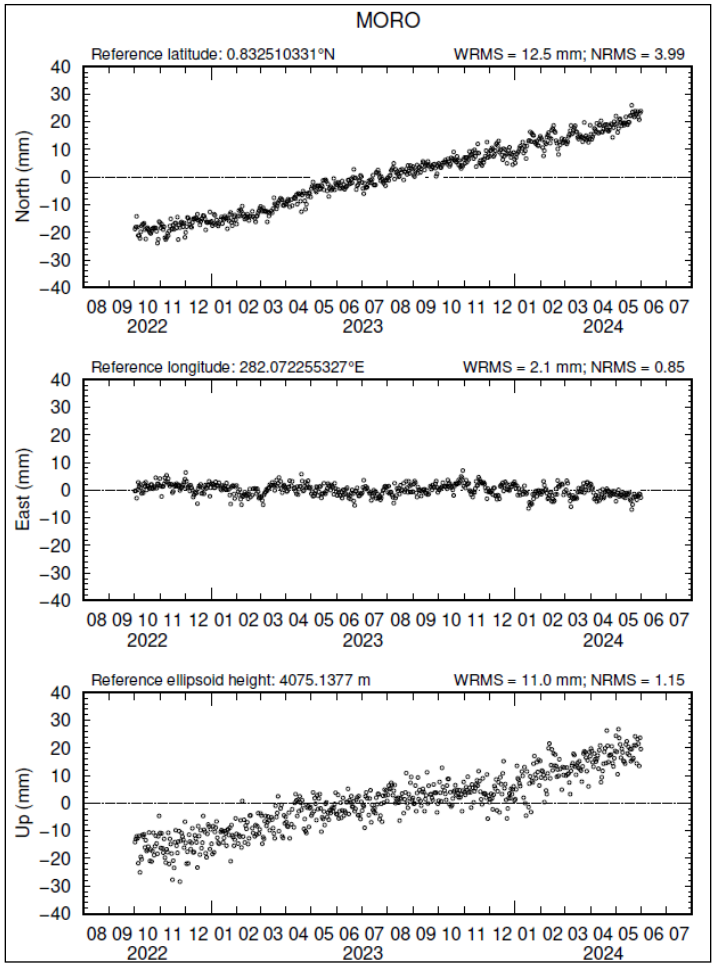


Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS MORO instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

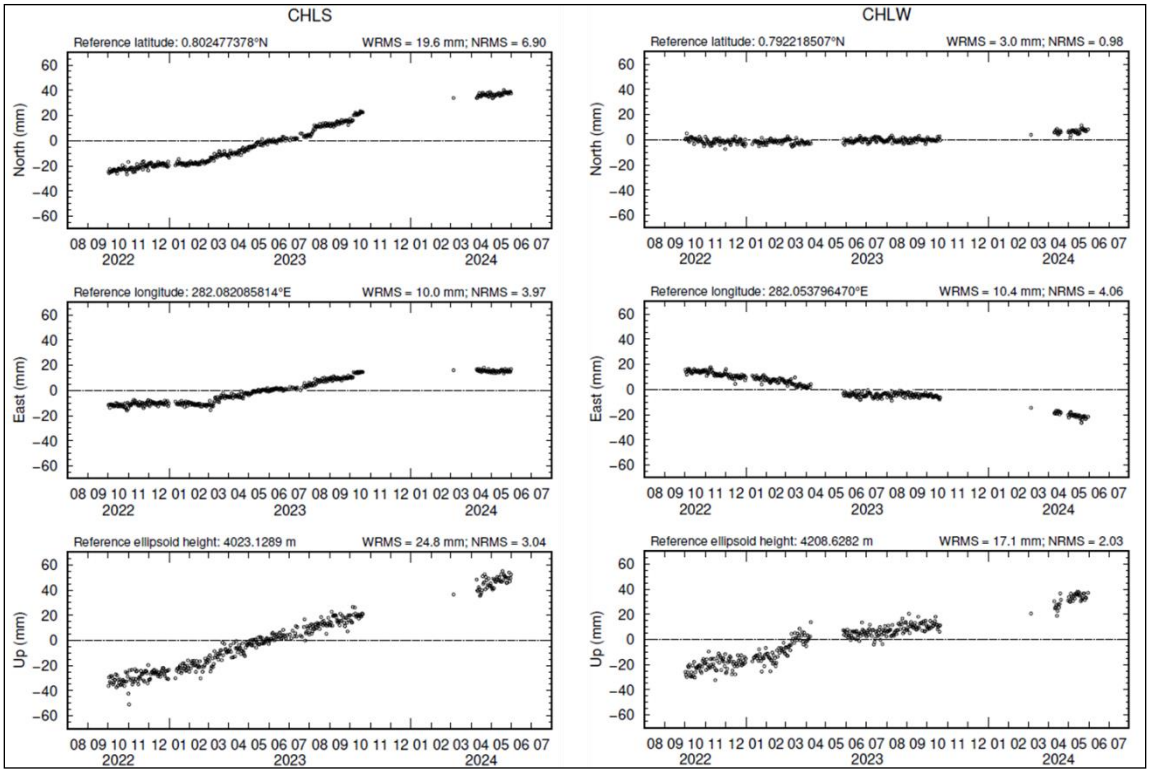

CHLS
Reference latitude: 0.802477378°N
WRMS = 19.6 mm; NRMS = 6.90
North (mm)
Reference longitude: 282.082085814°E
WRMS = 10.0 mm; NRMS = 3.97
East (mm)
Reference ellipsoid height: 4023.1289 m
WRMS = 24.8 mm; NRMS = 3.04
Up (mm)
CHLW
Reference latitude: 0.792218507°N
WRMS = 3.0 mm; NRMS = 0.98
North (mm)
Reference longitude: 282.053796470°E
WRMS = 10.4 mm; NRMS = 4.06
East (mm)
Reference ellipsoid height: 4208.6282 m
WRMS = 17.1 mm; NRMS = 2.03
Up (mm)
60 40 20 0 −20 −40 −60
08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07
2022 2023 2024

Figura 59. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

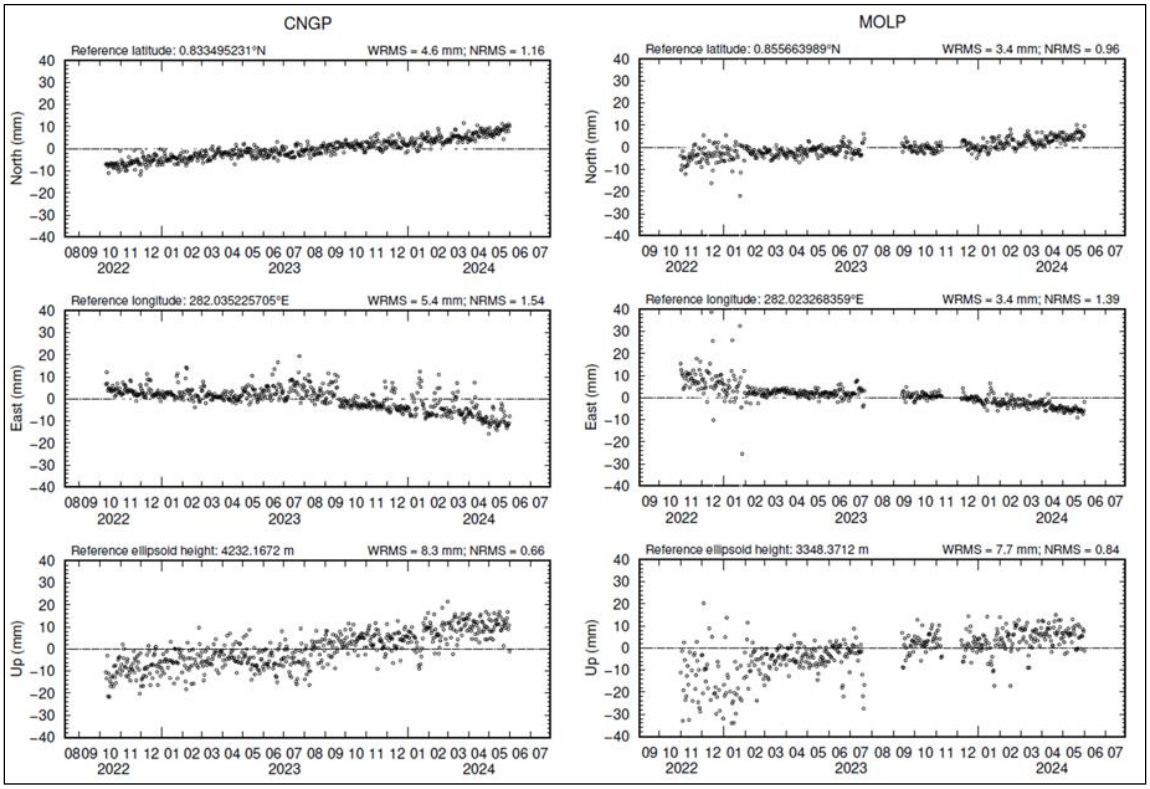


Figura 60. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CNGP y MOLP, instaladas en Cerro Negro, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

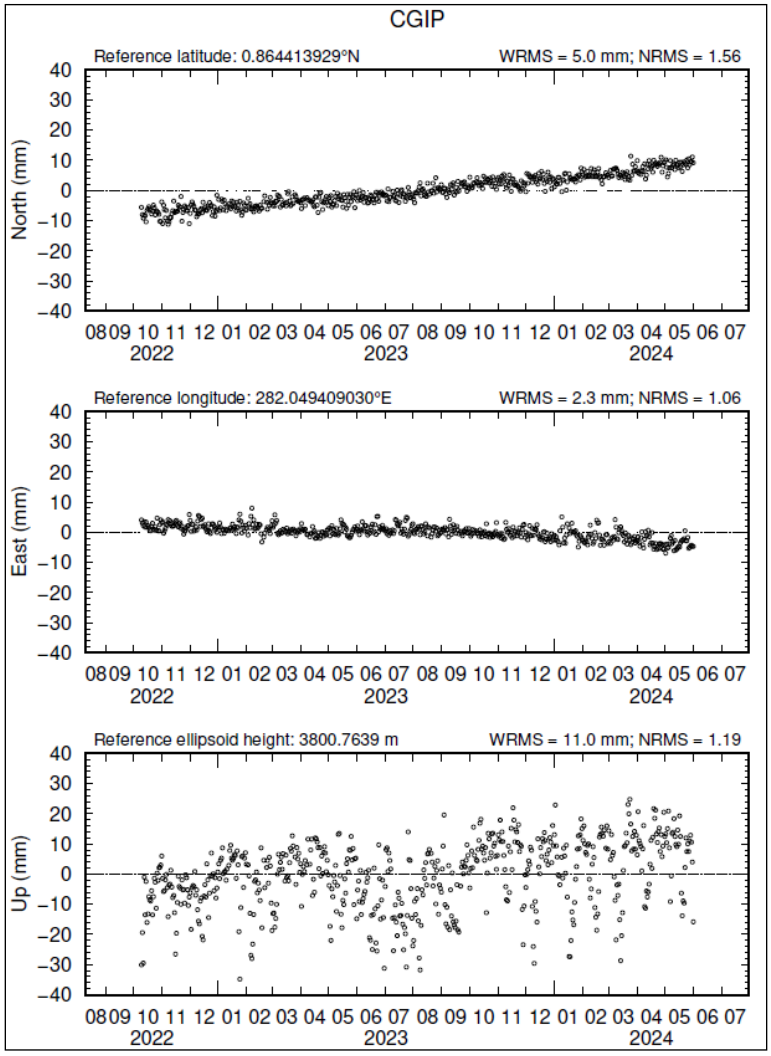


Figura 61. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CGIP, ubicada en cercanías del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro en la estación multiparámetro Canguil, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

Líneas Base: Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, 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 62, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 63, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

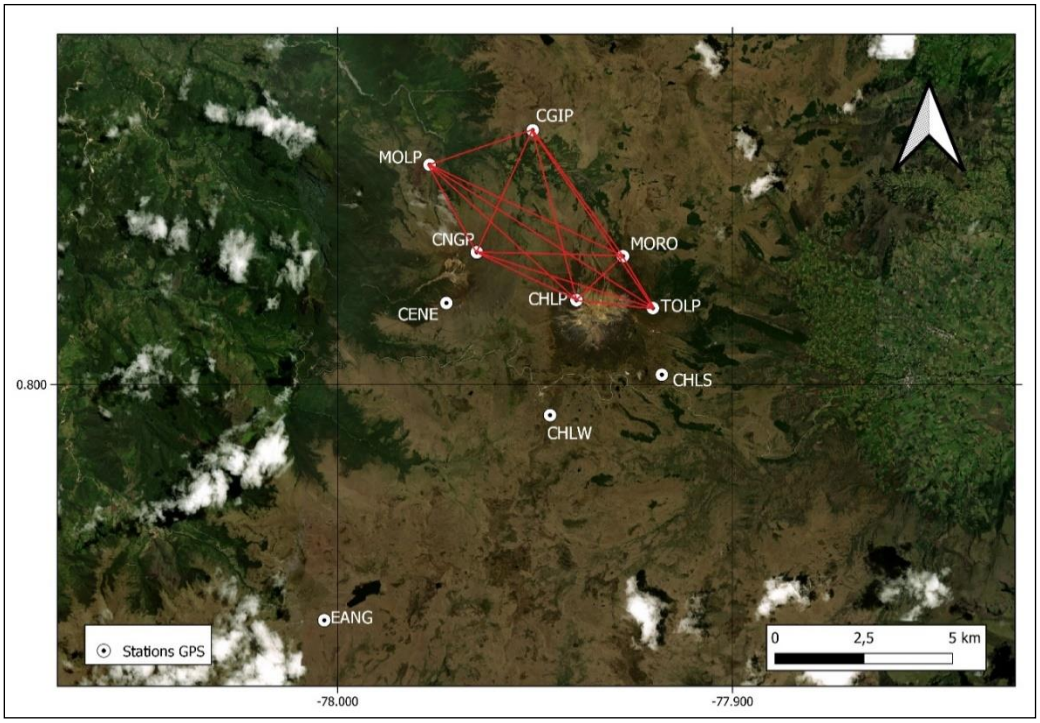


Figura 62. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base.

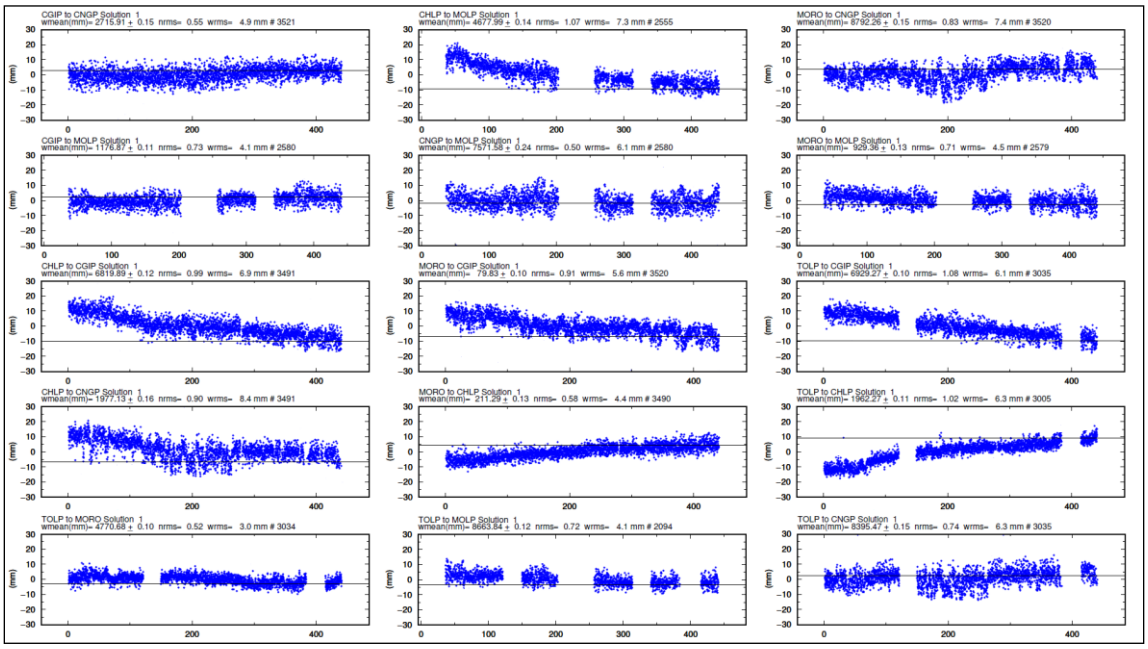


Figura 63. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada.

3.3.3 D-InSAR

En la Figura 64, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Chiles y Cerro Negro obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observan patrones de deformación.

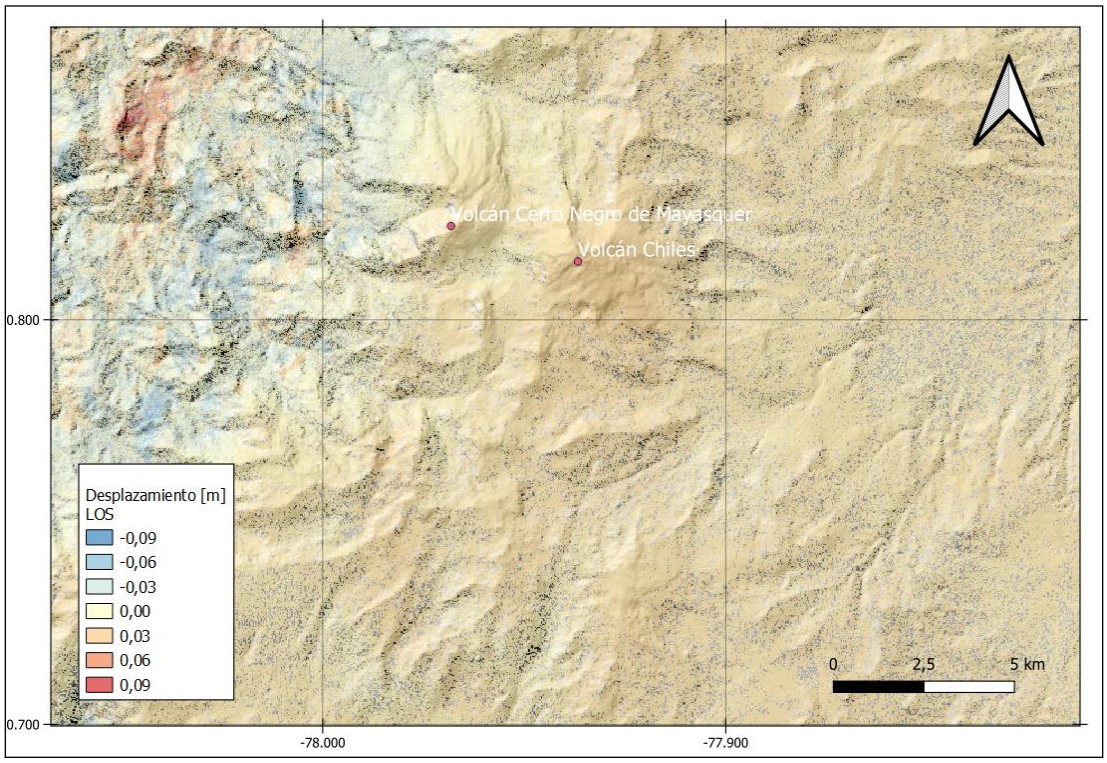


Figura 64. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.3.4 Series Temporales de Deformación con MintPy

En la Figura 65se presentan las series temporales obtenidas con el procesamiento interferométrico de imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, con el software ISCE y el apilamiento con MintPY (Miami InSAR time – series software in Python) para la zona del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, diferenciando dos zonas de deformación, una en Cerro Negro y otra en el volcán Chiles.

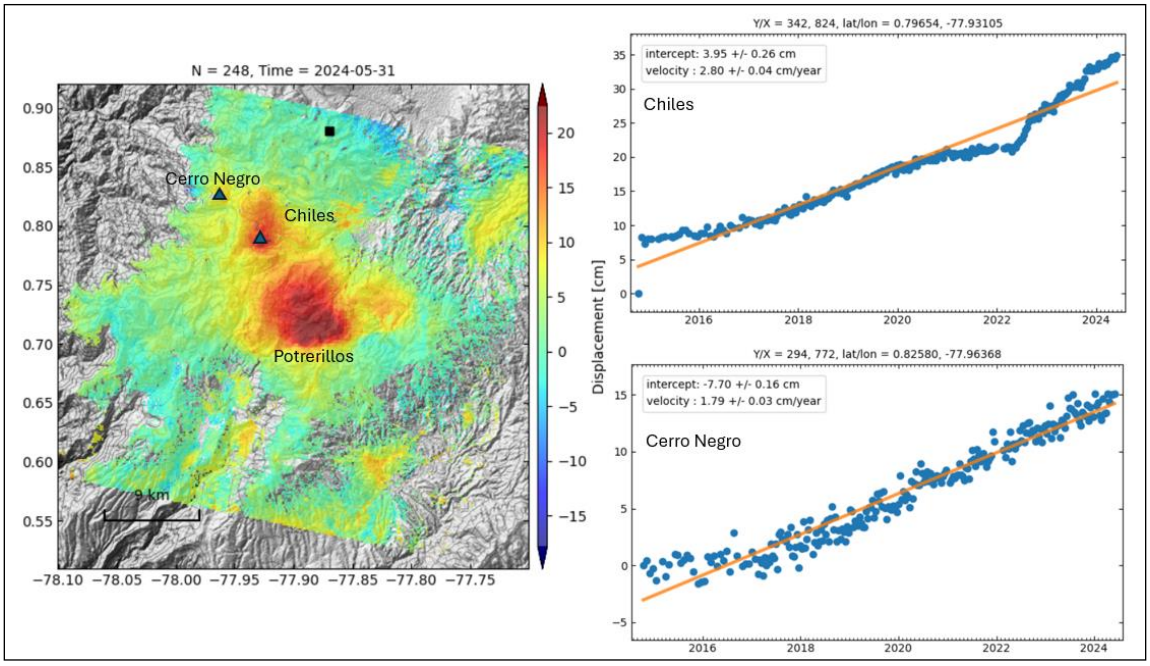


Figura 65. Desplazamientos obtenidos con imágenes Sentinel – 1 de orbita descendente, procesadas con el software ISCE para el área del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el periodo entre el 15 de octubre de 2014 y 31 de mayo de 2024, del lado derecho se muestran las series para las zonas indicadas con el triángulo, diferenciando dos zonas: el volcán Chiles (superior) y el volcán Cerro Negro (inferior), el cuadro de color negro indica un punto tomado como referencia para la generación de las series.

3.4 Electromagnetismo

Para mayo de 2024, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del Complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (CVCCN) se realizó con el análisis de la información procesada en la estación de monitoreo magnético Morro (MOR), equipada con un sensor magnético triaxial tipo fluxgate. Este tipo de sensores registra la intensidad de campo magnético total de la Tierra (CMT-F), en sus tres componentes X, Y y Z. Entre el 28 de abril de 2024 y el 10 de mayo de 2024, la estación no funcionó por problemas en una de las estaciones repetidoras, que permiten transmitir los datos desde la zona del volcán Chiles hasta la sede del OVS en Pasto. Entre el 27 de enero y el 26 de mayo de 2023, la componente vertical (Z), del sensor magnético de la estación MOR no funcionó, por lo tanto, los diferentes procesamientos que se realizan con la información de esta estación se reportan desde junio de 2023, cuando finalmente se recuperó el funcionamiento continuo, obteniéndose el valor del campo magnético total (CMT-F).

Con base en los registros obtenidos de la estación de monitoreo magnético MOR, se calcularon los valores del campo magnético total de la Tierra (CMT-F), en la zona donde se encuentra instalado el sensor. Adicionalmente esta señal del CMT en la estación de MOR registra también las señales electromagnéticas externas ocasionadas por efectos de las tormentas geomagnéticas y tormentas solares; por lo tanto es necesario aplicar metodologías que ayuden a eliminar o minimizar los efectos de las componentes magnéticas que no tienen relación con los procesos locales, ya que estos efectos locales son el objetivo del monitoreo magnético en zonas volcánicas, porque pueden estar asociadas con la actividad volcánica y hacen parte de los registros que llegan al OVSPA.

Para identificar las manifestaciones magnéticas externas a la Tierra, en las estaciones de monitoreo magnético instaladas en los volcanes de Nariño, se consultan los registros de una estación magnética lejana a la zona de estudio, denominada como estación de referencia. Para el caso de los volcanes de Nariño, se ha tomado como estación de referencia Kourou (KOU) de la BCMT.

La información de la estación KOU es fundamental, pues permite comparar con los registros de la estación magnética MOR que monitorean el CVCCN; así como también para verificar si las señales anómalas corresponden a efectos externos o no y tratar de minimizar estos efectos generados por fenómenos electromagnéticos externos en los datos de las estaciones ubicadas en la zona de Chiles – Cerro Negro.

Para el procesamiento y análisis de la información magnética, el OVSP consulta tanto los pronósticos de los índices Kp como las alertas asociadas con este tipo de tormentas que afectan tanto el clima espacial como el CMT y que son reportados por el SWPC. Esta información nos permite conocer los pronósticos de ocurrencia de estas tormentas solares, identificarlas en los registros de las estaciones magnéticas del CVCCN y, tratar de minimizar sus efectos con base en el procesamiento que se hace con la estación de referencia KOU, y así evitar interpretarlas como efectos del fenómeno volcánico. En general, las tormentas geomagnéticas que producen mayor perturbación en los registros de las estaciones de monitoreo magnético del CVCCN son aquellas con índice Kp ≥ 4 y sus efectos se evidencian tanto en el incremento o disminución de la amplitud de las señales, así como también en las características frecuenciales de los registros, donde se identifica un mayor contenido de altas frecuencias.

Entre febrero y mayo de 2024, se presentaron varias tormentas magnéticas con índice Kp mayor ≥ 4, que perturbaron el CMT medido en la estación MOR. Estas tormentas incrementaron tanto la amplitud promedio de las variaciones seculares diarias del CMT, como el contenido frecuencial de la serie temporal. Las tormentas más resaltables se registraron entre el 10 y el 13 de mayo, que inició con un índice Kp de 4 y fue subiendo paulatinamente a un valor de 5, 8 y, posteriormente disminuye ligeramente; sin embargo, vuelve y crece hasta llegar al valor máximo de índice Kp 9; posteriormente va disminuyendo hasta llegar a valores bajos. Justamente el 10 de mayo de 2024, la estación MOR volvió a registrar, luego de 12 días sin registro, debido a problemas en una de las repetidoras que permiten la transmisión de la señal desde la estación en el volcán de Chiles, hasta la sede del OVSPA en Pasto. Como la estación de MOR comenzó a funcionar aproximadamente una hora antes de registrarse el pulso más alto de la perturbación generada por esta tormenta, fue posible evaluar la amplitud total de la perturbación, en MOR, que para este caso fue de 640 nT, en KOU la amplitud de esta perturbación máxima fue de 650 nT; evidenciando que la dos estaciones, MOR y KOU, por ser las más cercanas al ecuador magnético, muestran las máximas perturbaciones, en comparación con otras que están a mayores latitudes

Teniendo en cuenta que las variaciones seculares diarias promedio, en la estación MOR, son del orden de los 65 a 75 nT y las de KOU entre 60 y 70 nT; la perturbación ocasionada por estas tormentas incrementó en más de diez veces su amplitud

En general, las variaciones más resaltables en los registros del CMT se asociaron con los efectos de las tormentas geomagnéticas que al incidir sobe la magnetósfera de la Tierra perturban el CMT y por consiguiente, también perturban, tanto las amplitudes del CMT medidos en la estación como el contenido frecuencial de estas series temporales. Los grandes pulsos que se registran en el CMT-F de las estaciones magnéticas se corroboran con los pronósticos de tormentas emitidos por la NOAA,

con intensidad referida como índices Kp. La amplitud de perturbación en cada estación magnética dependerá de la intensidad y duración de estas tormentas en la zona donde éstas se ubican. Por lo tanto, es importante mantener el seguimiento para identificar si esta tendencia descendente que se dan cuando ocurren las tormentas geomagnéticas, tanto en MOR como en KOU corresponde o no a los efectos de las tormentas solares o a efectos del campo local. Las otras tormentas significativas en el periodo entre febrero y mayo de 2024 fueron: entre el 3 y 4 de marzo, la estación MOR muestra una afectación en la amplitud ocasionada por el efecto de tormentas geomagnéticas de índice Kp de 4, que aun cuando son bajas, el hecho que se superponen varias tormentas de índice Kp 4 en un corto periodo de tiempo, genera una mayor afectación en las amplitudes del CMT, que se corrobora con los registros de la estación de referencia KOU; para estas fechas, la variación de amplitud fue de alrededor de 184 nT para MOR y de alrededor de 140 nT para KOU. Otra tormenta significativa, fue la ocurrida entre el 18 y 19 de abril de 2024, con índice Kp de 5, que generó variaciones de amplitud de alrededor de 170 nT para MOR y de 200 nT en KOU

Adicionalmente, se aclara que las tormentas geomagnéticas afectan el nivel base del CMT y, considerando la tormenta más intensa, con índice Kp de 9; ocurrida entre el 10 y el 13 de mayo, que afectó en más de diez veces la amplitud de variación, podemos considerar que las series temporales pueden tomar un tiempo más largo de recuperación, hasta llegar a sus niveles usuales del CMT (Figura 1). El valor promedio del CMT-F para MOR fue de alrededor de los 28.720 nT, con variaciones día-noche de aproximadamente 70nT; y un valor de CMT-F en KOU de 28.470 nT, con variaciones día-noche de los 80 nT.

En mayo de 2024, la estación MOR, que estaba fuera de funcionamiento, comenzó a registrar el día 10, justo cuando se inició la tormenta geomagnética con índice Kp máximo de 9. El gran pulso que genera esta tormenta entre el 10 y 13 de mayo produce una variación máxima de alrededor de los 640 nT, que en estos cuatro días se recupera casi en un 90 % y el 10 % restante lo va recuperando de manera mucho más lenta (Figura 2). Este efecto observado en la estación MOR es evidente también en la estación de referencia KOU, que tuvo un pulso de 650 nT y, donde se puede identificar claramente el cambio de nivel del CMT-F, al comparar con los datos que traía la estación antes de la tormenta (Figura 66). El valor del CMT-F para MOR en mayo fue de alrededor de los 28.690 nT, con variaciones día noche de alrededor de 60 nT, para KOU fue de aproximadamente 28.445 nT, con variaciones día-noche de 65 nT (Figura 66).

En el dominio de las frecuencias, el CMT-F, se evidencian el contenido frecuencial más representativo, a manera de pulsos, asociados con variaciones seculares, que corresponden a los periodos de: un día, que son los contenidos más representativos y de 12 horas. Adicionalmente, se identifican frecuencias más bajas que se asocian con los largos periodos que se generan posiblemente por los efectos de las tormentas geomagnéticas y que en mayo de 2024 corresponden a periodos mayores de 1,5 días (Figura 67).

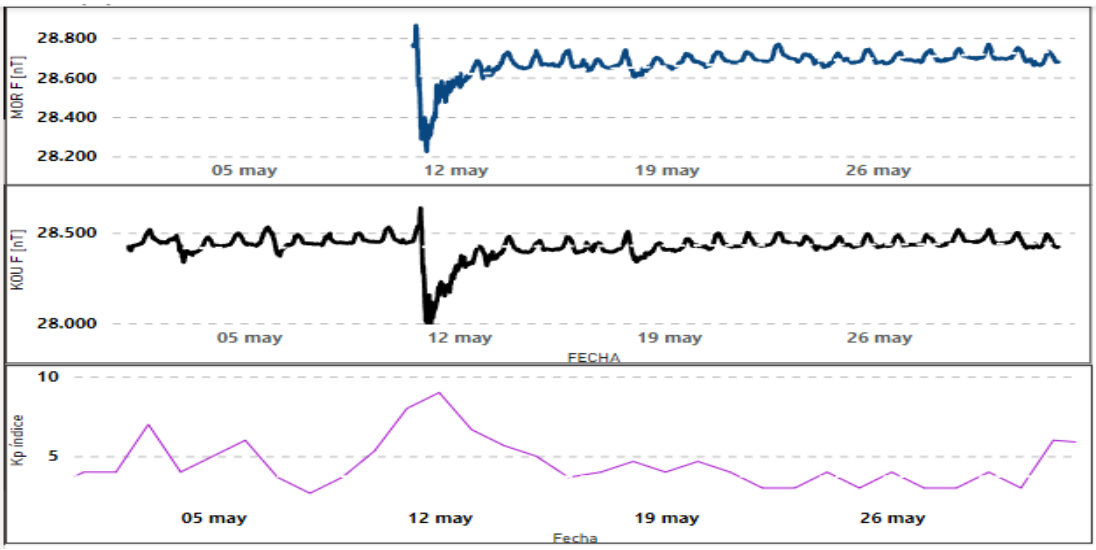


Figura 66 CMT-F en la estación de monitoreo magnético del CVCCN, MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo evaluado, correspondiente al mes de mayo de 2024.

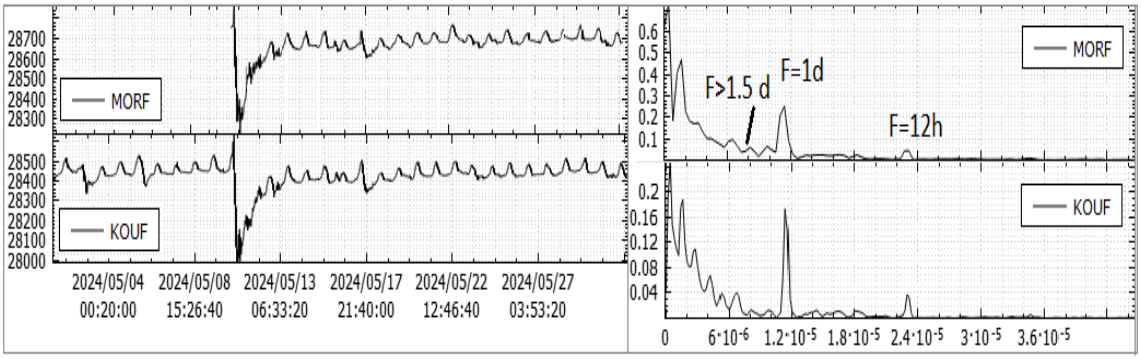


Figura 67. Izq. CMT-F en la estación de monitoreo magnético del CVCCN, MOR comparada con el registro de la estación de referencia KOU, Der. Registro en frecuencias de la señal magnética. El periodo evaluado corresponde a mayo de 2024.

En el procesamiento de las series temporales, para obtener las variaciones locales del CMT se usa el valor teórico del CMT, (IGRF-13), tanto para la estación MOR como para la estación de referencia KOU y para todas las estaciones magnéticas que estén funcionando en la zona de estudio. Posteriormente, los resultados de cada estación se relacionan con los mismos de otras estaciones magnéticas de la zona y con la estación de referencia, si existe (KOU para el caso de los volcanes de Nariño). Esta relación se realiza con el propósito de identificar si la tendencia que muestran se debe a efectos propios de la estación o si son consistentes con los resultados obtenidos al comparar esta relación de MOR con una o más estaciones de referencia (Figura 68).

Teóricamente se considera que los campos magnéticos pueden tener un gradiente temporal de hasta los ±100 nT/año, rango en el cual se puede considerar que hay estabilidad en esta área de conocimiento. Para el análisis de la información de la serie temporal del CMT-F en MOR, se tomó el periodo entre junio de 2023 y mayo de 2024; cuando funcionaron de manera regular la mayoría de las estaciones. Entre el 28 de abril y el 9 de mayo, no hubo datos de MOR, pero fue posible continuar con el procesamiento de toda la serie, aun cuando la única estación de referencia fue

KOU. Se aclara también que el primero de enero de 2024, MOR tuvo un salto al eliminar el campo teórico, salto que se mantiene en el registro, sin embargo, la tendencia es similar, aun cuando con un nivel un poco superior. El resultado de procesar MOR con KOU da un gradiente de alrededor de -16 nT/año, que indica que aun cuando la tendencia es ligeramente descendente, el gradiente está muy por debajo del valor desde el cual se puede considerar que existen cambios asociados con la actividad volcánica, desde el área de magnetismo, por lo cual, hasta el momento, el área de monitoreo magnético estaría indicando estabilidad en el comportamiento (Figura 4). Se identifica también, el salto asociado con el efecto de la tormenta geomagnética de índice 9, que aun cuando muestra su presencia, la tendencia de las series se recupera y vuelve al comportamiento anterior (Figura 68).

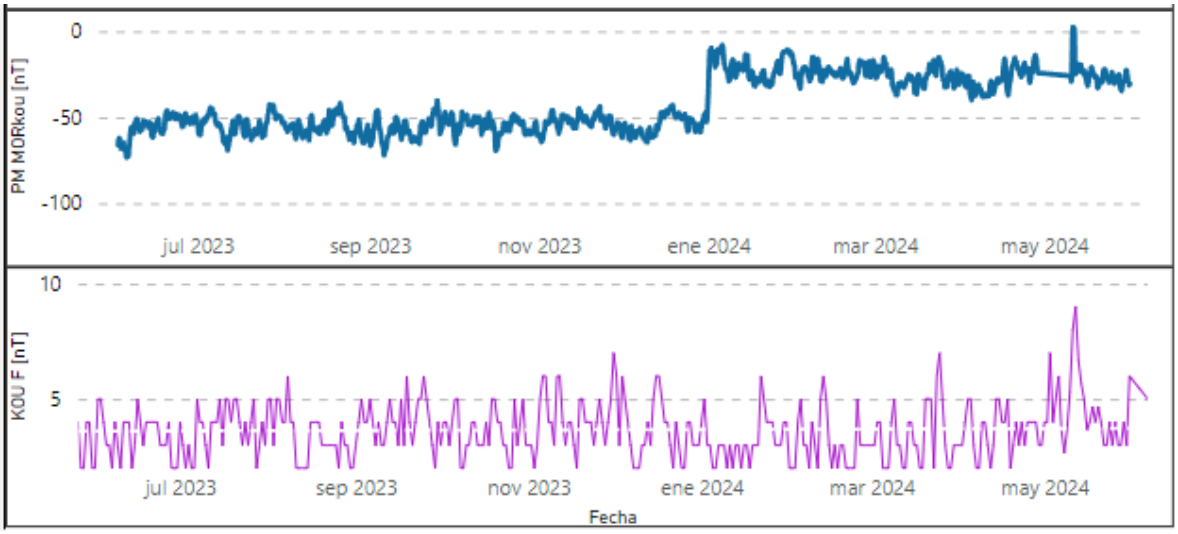


Figura 68. Comportamiento del gradiente magnético anual de la estación MOR (CVCCN), procesada con base en la estación de referencia KOU (azul), comportamiento de las tormentas geomagnéticas (magenta), para el periodo entre junio de 2023 y mayo de 2024.

3.5 Geoquímica

3.5.1 Termocupla en fuente termal "Rincón Bello".

Desde noviembre de 2022 se cuenta con una termocupla para el registro de temperatura de manera telemétrica en la fuente termal del balneario Rincón Más Bello, en la vereda la Calera del corregimiento de Chiles- Cumbal. A continuación, se observa el registro en lo corrido del año (Figura 69 y Tabla 14), en el periodo graficado, se tuvo días sin datos que responde a días en donde la estación estuvo por fuera; sin embargo, las variaciones son menores a 1 °C, indicando estabilidad en su comportamiento.

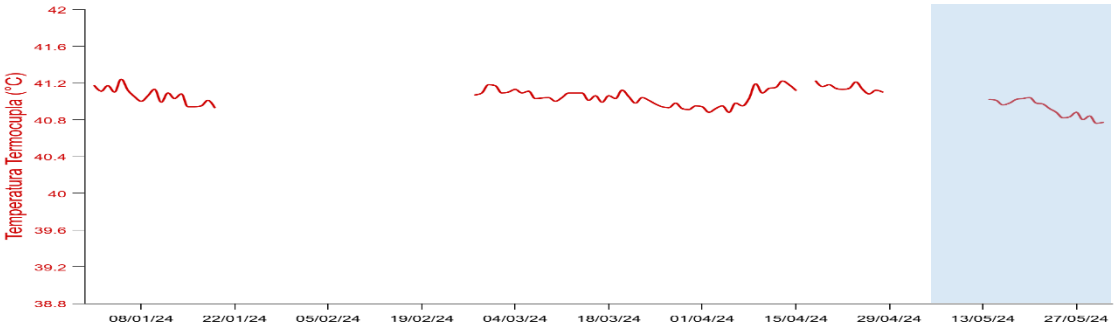


Figura 69. Temperatura horaria en Fuente Termal Rincón Bello, durante los meses de enero a abril de 2024, el recuadro azul representa el periodo evaluado: mayo 2024.

Tabla 14 Valores de temperatura horario en ° C – FT Rincón Bello - Volcán Chiles de los meses de abril a mayo de 2024.

Valor	Abril	Mayo
Mínimo	40.9	40.8
Promedio	41.1	40.9
Máximo	41.2	41.0

El seguimiento de parámetros fisicoquímicos y composición química se realiza en siete sitios de muestreo en el lado ecuatoriano: Aguas Hediondas, Potrerillos, Lagunas Verdes, Artezón, Hondón, Aguas Negras, Monte Lodo, Tablones y siete sitios de muestreo en el lado colombiano: Tambo, La Peña, Río Blanco, La Cristalina, Rincón Bello, El Infiernillo y Baño Grande. En el mes de mayo, se muestrearon las fuentes termales de Baño Grande, La Cristalina, El Infiernillo y Rincón Bello (Figura 70

Figura 70 Imágenes fotográficas de las fuentes termales visitadas. A) Baño Grande, B) La Cristalina, C) El infiernillo, D) Rincón Bello.

En la Figura 71, Figura 72 y Figura 73 se muestra el registro de las variaciones de los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura y conductividad eléctrica) de las fuentes termales muestreadas, desde el 2014 hasta el último muestreo realizado el día 20 de mayo del 2024. En general, en la mayoría de fuentes termales no se evidencia cambios representativos, con excepción de la fuente termal La Cristalina en donde las oscilaciones mostradas en el comportamiento temporal posiblemente sean influencia de factores climáticos, precisión de los equipos usados y a que fueron tomados en un lugar diferente al que se venía realizando por modificación de la fuente realizada por los propietarios donde se encuentra este punto de muestreo, de tal manera que las variaciones no se encuentran relacionados con la actividad del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro.

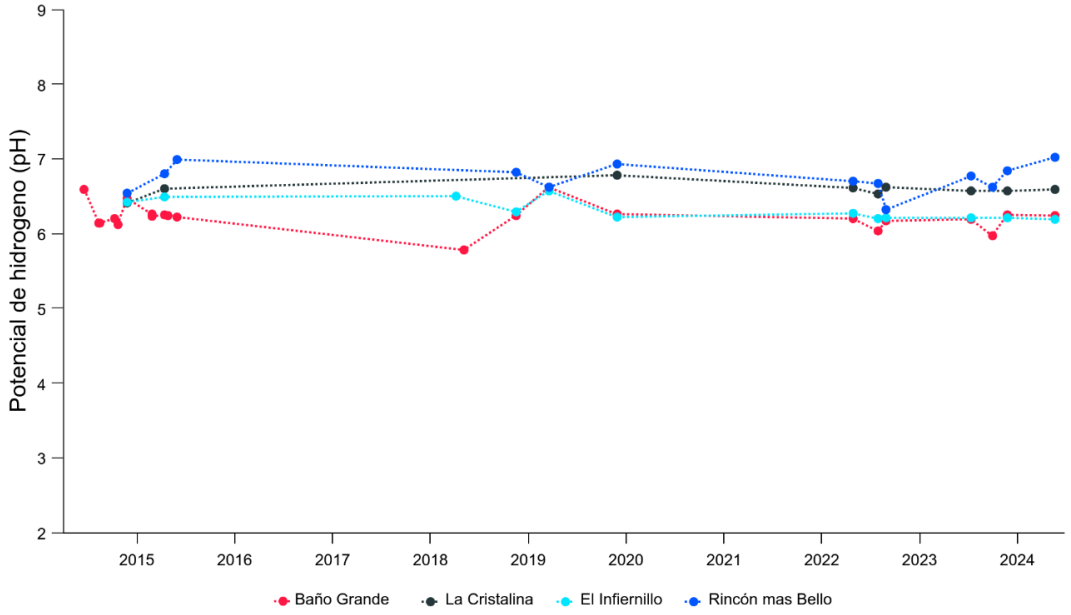


Figura 71. Variación temporal de pH FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024.

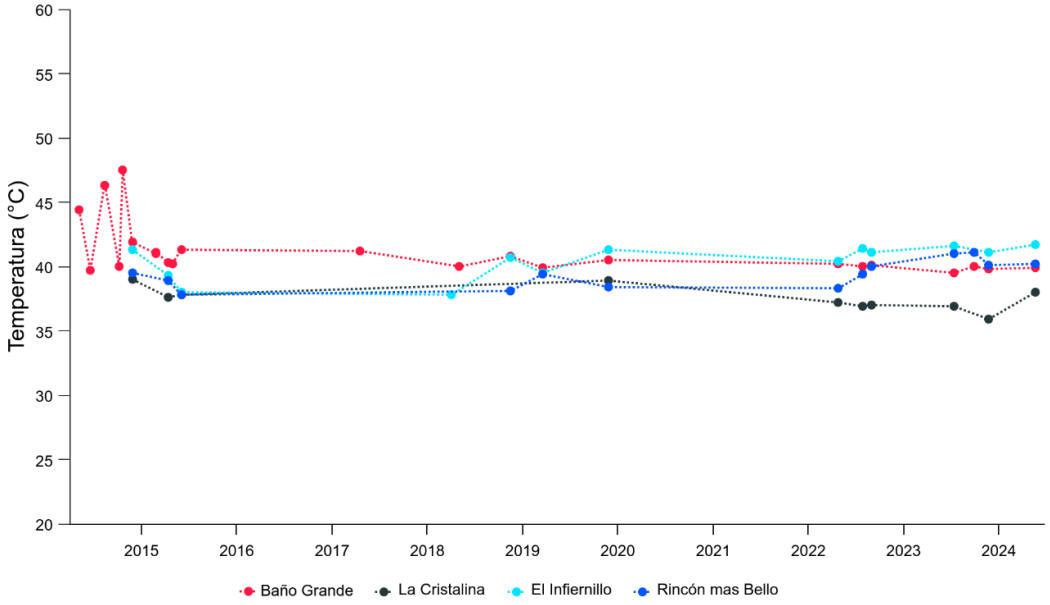


Figura 72. Variación temporal de Temperatura FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024.

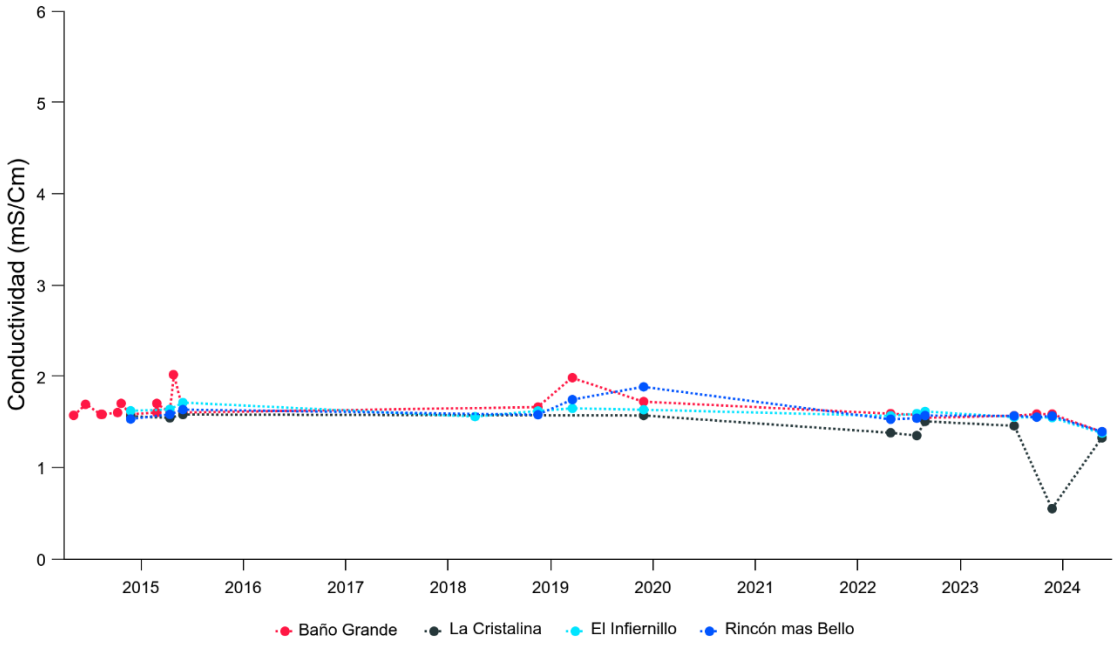


Figura 73.Variación temporal de C.E FT- Volcán Chiles-Cerro Negro- 2014-2024.

3.6 Actividad Superficial

Durante el mes de mayo de 2024 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro de Mayasquer.

3.7 Conclusiones

La sismicidad registrada en mayo 2024 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, mostró disminución en su ocurrencia y energía con respecto a lo registrado en abril, con predominio en ocurrencia de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán VT y con predominio en energía de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria de muy baja frecuencia VLP. Se destaca que sigue el registro de sismicidad hacia el norte de la cima de Chiles en el sector del colapso, en distancias menores de 2 km y profundidades entre 1 y 6 km. Solamente se registró un evento con ML de 2, ubicado a 3 km hacia el sur de Chiles, con profundidad de 5 km y sin reportes de sismo sentido.

La actividad actual en la zona de los volcanes Chiles y Cerro Negro se interpreta como una intrusión magmática en profundidad que hasta el momento no ha tenido manifestaciones en superficie y que ha presentado variaciones en los niveles de ocurrencia, energía, localización y tipo de sismicidad, indicando que aún no se ha retornado a un estado de equilibrio; por lo tanto, persiste la probabilidad de que se presenten sismos con magnitudes significativas que podrían ser sentidos por habitantes de la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, o que se presente otro tipo de cambios asociados con el proceso volcánico.

Del seguimiento de los parámetros de Deformación, es importante resaltar que se tiene un comportamiento ascendente en las direcciones Norte y vertical de algunas de las estaciones, y ascendente y descendente en la dirección Este dependiendo de la ubicación de la estación. Se han

observado periodos en los cuales incrementa la pendiente de las series temporales, principalmente en la dirección Norte, lo cual ha estado acompañado de aumento en el número de sismos, observando de igual forma cambios resaltables en la tasa de deformación, primordialmente en las estaciones más próximas al cráter del volcán Chiles evidenciando un proceso deformativo inflacionario, proceso que igualmente se evidencia mediante la técnica de monitoreo interferométrico.

Con relación a los parámetros geofísicos, en el seguimiento de la temperatura del manantial Rincón Bello, desde la estación de temperatura, se observa estabilidad, de manera similar, a los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica medidos hasta mayo de 2024. El SGC y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Ecuador, permanecen atentos a la actividad volcánica, para informar oportunamente los cambios que se puedan detectar.

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en mayo 2024 permitió mantener el estado de **ALERTA AMARILLA** ☐ : "Volcán activo con cambios en el comportamiento del nivel base de los parámetros monitoreados y otras manifestaciones".

4 Actividad de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral mayo de 2024

4.1 Red de vigilancia

La Tabla 15 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis, a nivel general los instrumentos se encuentran en sitios con altitudes aproximadas hasta de 3.553 m.s.n.m. y distancia mínima de 4.6 km.

Tabla 15 Red de vigilancia del CVDJA para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE CORTO PERIODO	Lavas	LAVP
2	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Altamira	ALTP
3		Florida	FLOP
4		Páramo	PARP
5		Petroglifo	PETP
6		Troje	TROP
7	INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS	Altamira	ALTP
8		Lavas	LAVP
9		Páramo	PARP
10		Petroglifo	PETP
11	SENSORES GNSS	Florida	FLOP
12		Lavas	LAVP
13		La Palma	PALP
14		La Sombra	SOMP
15		Petroglifo	PETP
16	CÁMARAS WEB	Petroglifo	PETP

Según la tabla anterior los sensores se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- ***Estaciones Sísmicas:*** La red está compuesta por cuatro estaciones sísmicas telemétricas triaxiales de banda ancha y una estación telemétrica de corto periodo. (Figura 74)

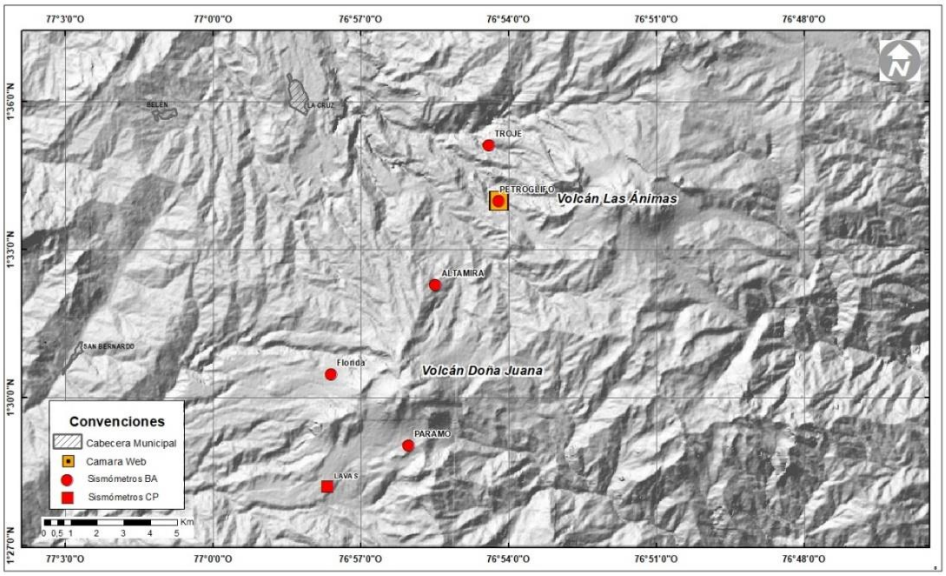


Figura 74. Ubicación de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Ánimas y Doña Juana para el **mes de mayo de 2024.**

***Instrumentos para el seguimiento de Deformación*: Cuatro (4) inclinómetros electrónicos y cinco (5) estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital). (Figura 75)**

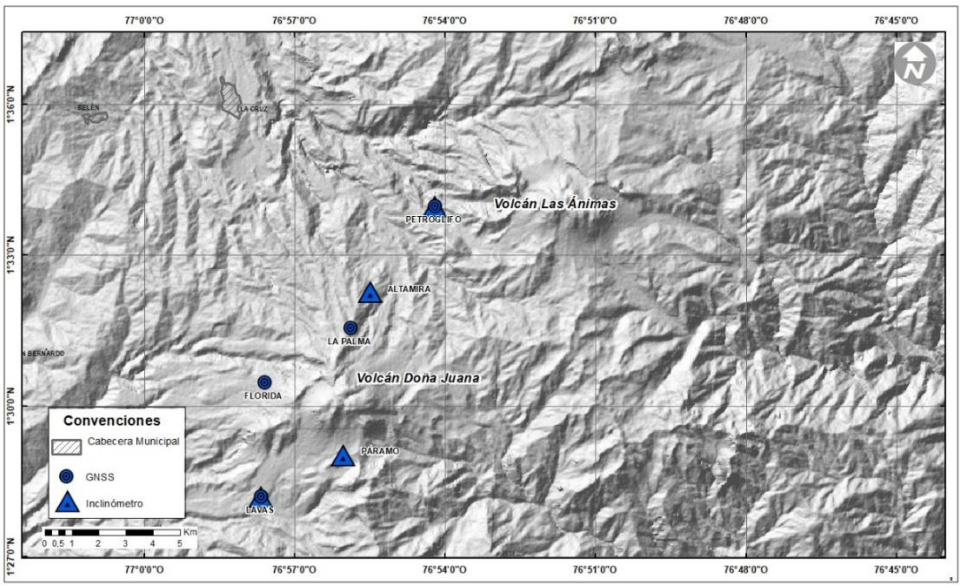


Figura 75. Ubicación de las estaciones de deformación que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Ánimas y Doña Juana para el **mes de mayo de 2024**

4.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

Las redes instrumentales de monitoreo y vigilancia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas presentaron un porcentaje de funcionamiento promedio del 86%. (Figura 76)

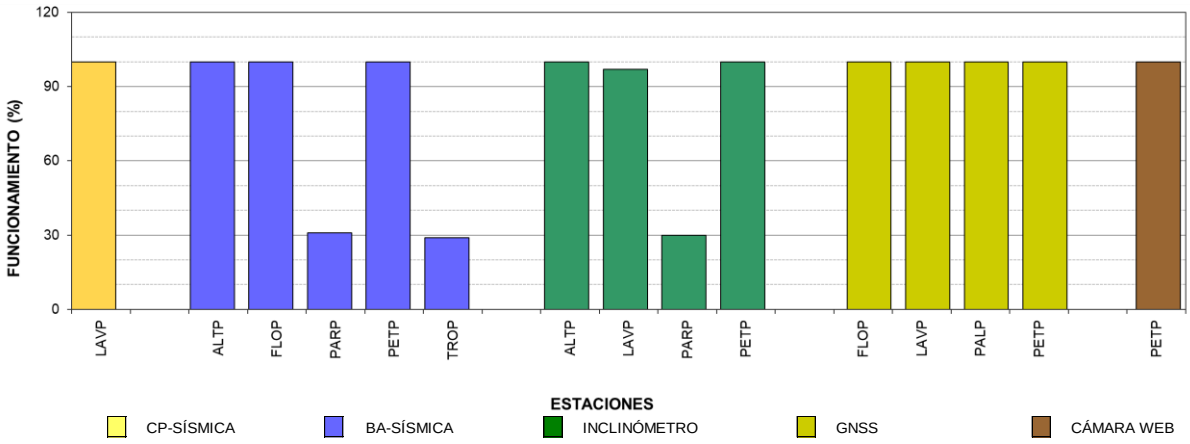


Figura 77 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVADJ en mayo de 2024

- ***Estaciones Sísmicas e instrumentos para la medición de Deformación:*** La estación de Paramo (Sísmica, Inclinómetro) presenta un porcentaje de 31% debido a Daño en le radio transmisor que ya fue reemplazado y se recupera señal a partir del 22 de mayo desde donde

ya se tiene registro de señal al 100%. La estación sísmica de Troje con porcentaje del 29% presenta también daño en el radio receptor de la repetidora el Pulpito y requiere cambio del par Transmisor- Receptor. Las otras estaciones funcionaron con normalidad.

4.1.2 Sismología

En mayo y dentro de niveles bajos de actividad, en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, se mantuvo el mismo número de eventos con disminución de la energía sísmica, registrándose 11 sismos asociados con fractura de material cortical (VT) que liberaron una energía de 6.30×10^{12} ergios. (Figura 78, Tabla 16).

Tabla 16 Número de eventos volcánicos por tipo, Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	11	0	0	0	11
Mayo 2024	11	0	0	0	11

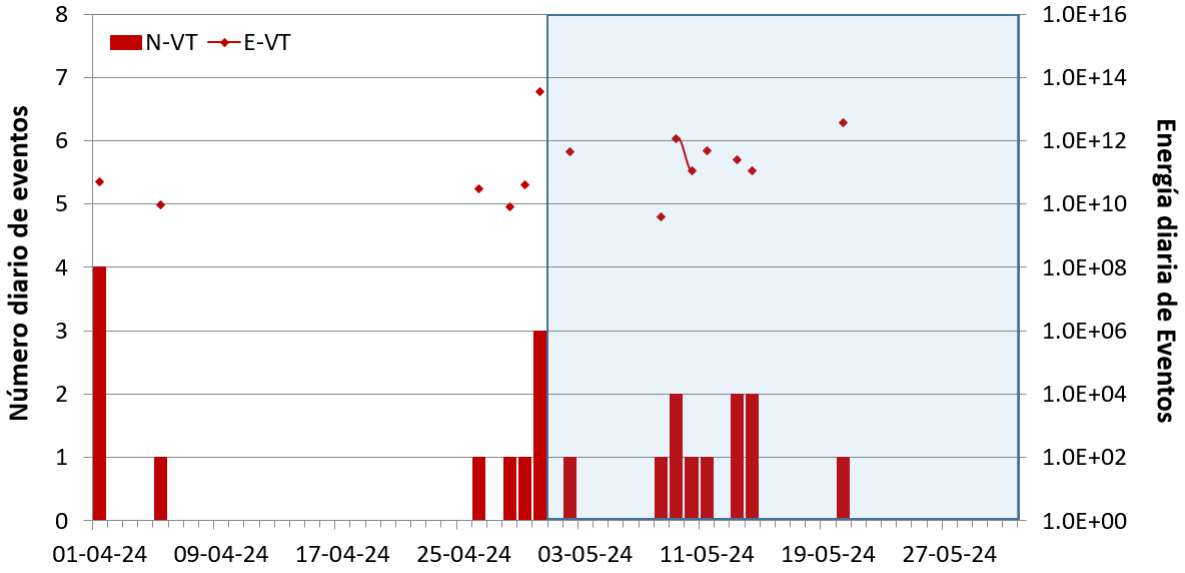


Figura 78. Ocurrencia y energía diaria de sismos de fractura VT en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado.

Se localizaron 8 sismos VT, ubicados de manera dispersa pero preferencialmente hacia el volcán Las Ánimas, en distancias entre 1.5 y 9 km, con profundidades entre 5 y 15 km con respecto a la altura de su cima (4200 msnm) y magnitud local máxima de 1.1 (Figura 79). La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, las características de localización del evento con ML de 1.1 se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 Energía de eventos volcánicos por tipo, Doña Juana y Las Ánimas, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL

Abril 2024	3.63E+13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.63E+13
Mayo 2024	6.30E+12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.30E+12

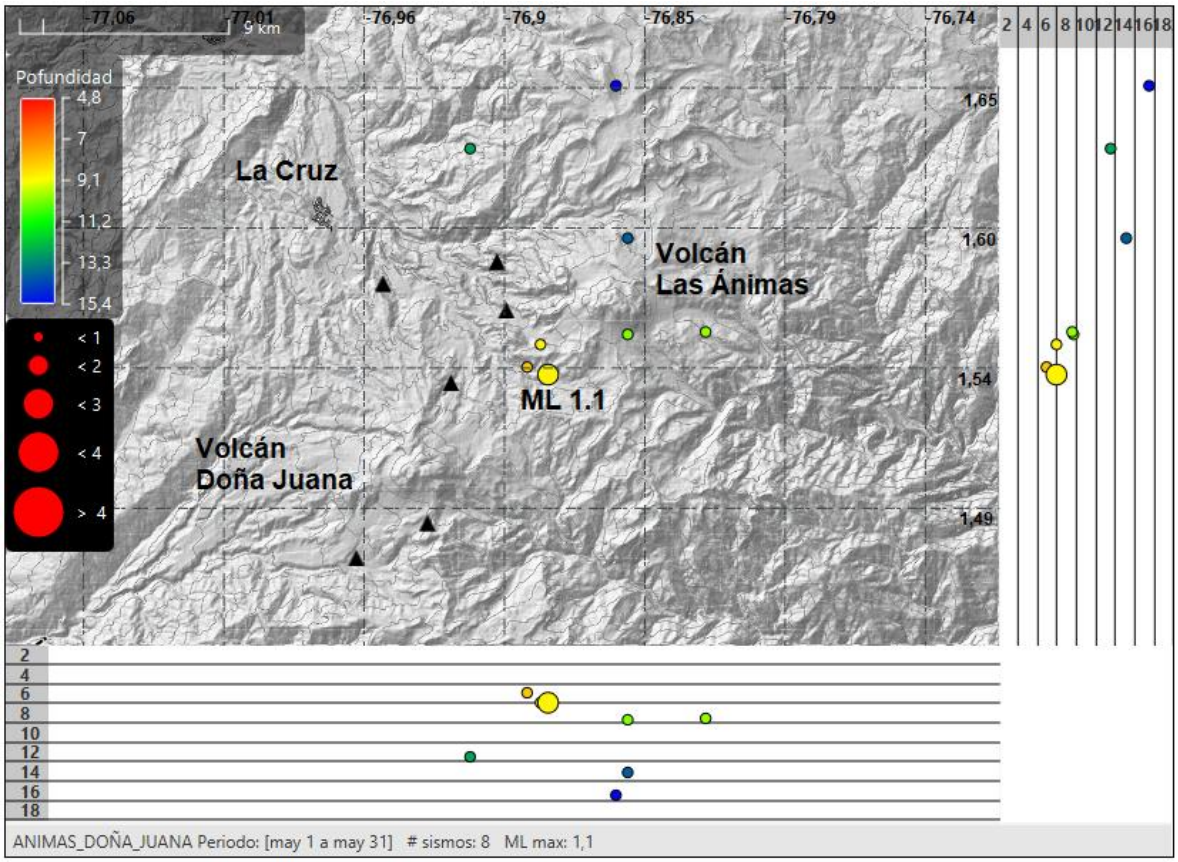


Figura 79. Localizaciones de sismos VT en Doña Juana y Las Ánimas, mayo 2024

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclinometría Electrónica

Para el volcán las Ánimas en la Figura 80, se presenta el registro del inclinómetro Petroglifo, observando que las variaciones en las componentes están directamente relacionadas con los cambios en el sensor de temperatura, por lo tanto, se considera estable (Figura 80). De igual forma se observa estabilidad en los registros del inclinómetro Altamira (Figura 81).

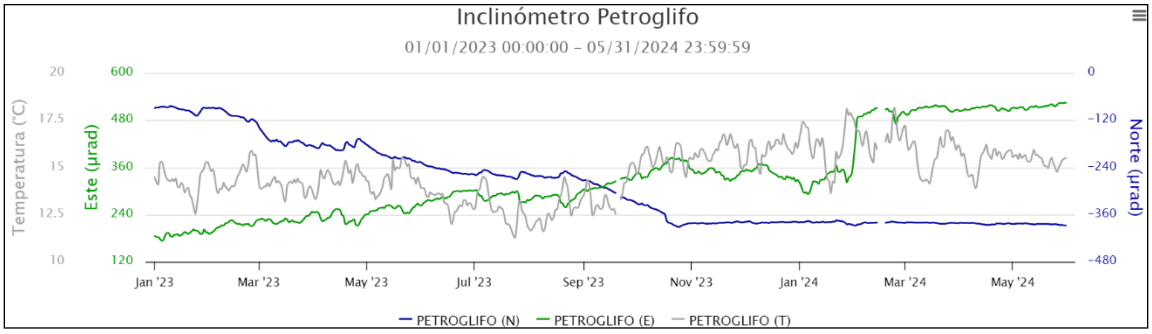


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

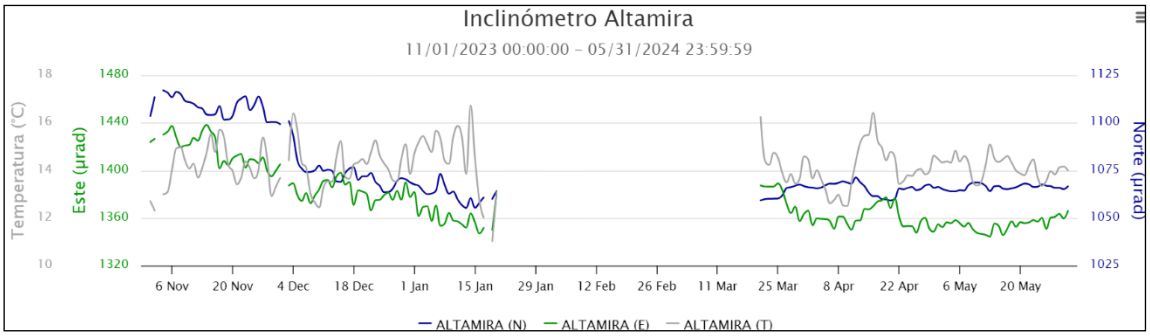


Figura 81. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

Continuando con el volcán Doña Juana, posterior al comportamiento levemente ascendente mostrado por la componente Norte del inclinómetro Lavas, se observó un cambio de tendencia, en descenso desde el 25 de marzo de 2023, el cual acumula cerca de 189 µrad, mientras tanto la Este presentó un ligero ascenso desde el 5 de mayo de 2023 hasta la primera semana de agosto con 33 µrad (Figura 82), luego muestra descenso y desde inicios de diciembre de 2023 tiende a estabilizarse.

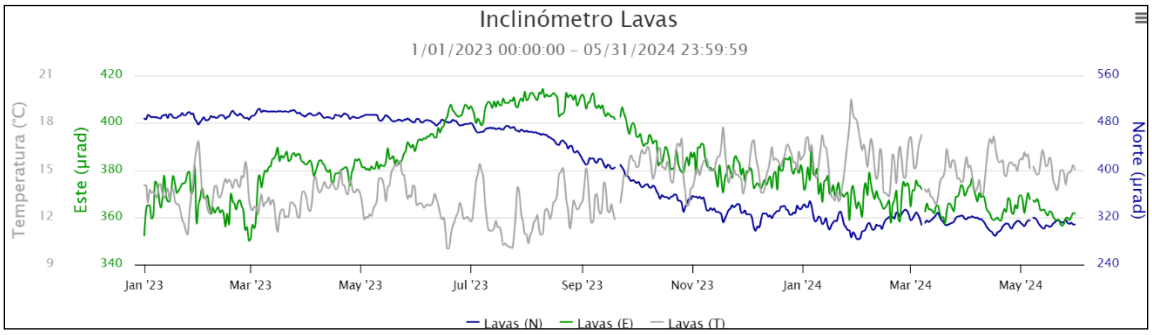


Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

En la Figura 83 se muestran los registros de las componentes de inclinación de Páramo, este sensor presenta variaciones muy altas en la componente Norte por lo cual hacia finales del mes de marzo de 2023 fue necesario visitar la estación en campo, se niveló el sensor, pero la componente Norte continúa mostrando fluctuaciones en su registro, sin describir alguna tendencia claramente diferenciable, por lo cual se considera estabilidad en sus dos componentes.

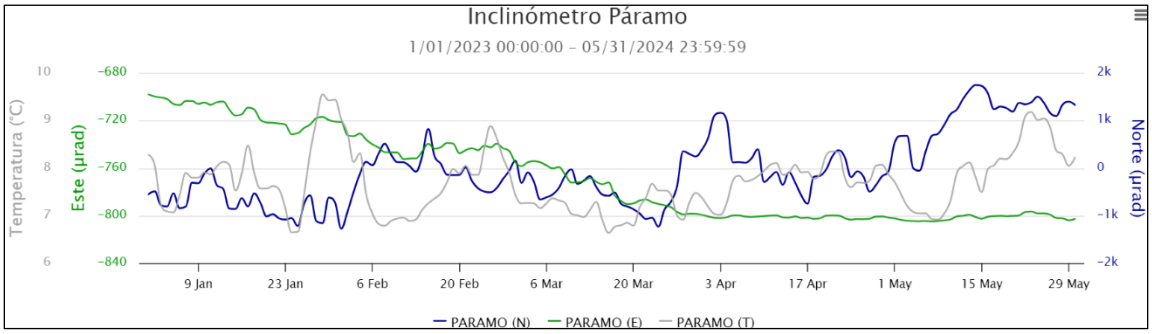


Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Doña Juana, tres estaciones GNSS Permanentes, La Palma, Lavas y Florida, esta última instalada desde el 2 de noviembre de 2023, y en el volcán Las Ánimas se tiene un GNSS emplazado en el sitio de la estación multiparámetro Petroglifo. Adicionalmente se dispone con información de la estación GNSS LEDE, instalada en cercanías del volcán Doña Juana por el grupo de trabajo GeoRED – SGC.

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 84 se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Petroglifo y Palma, observando estabilidad en las direcciones Norte, Este y Vertical.

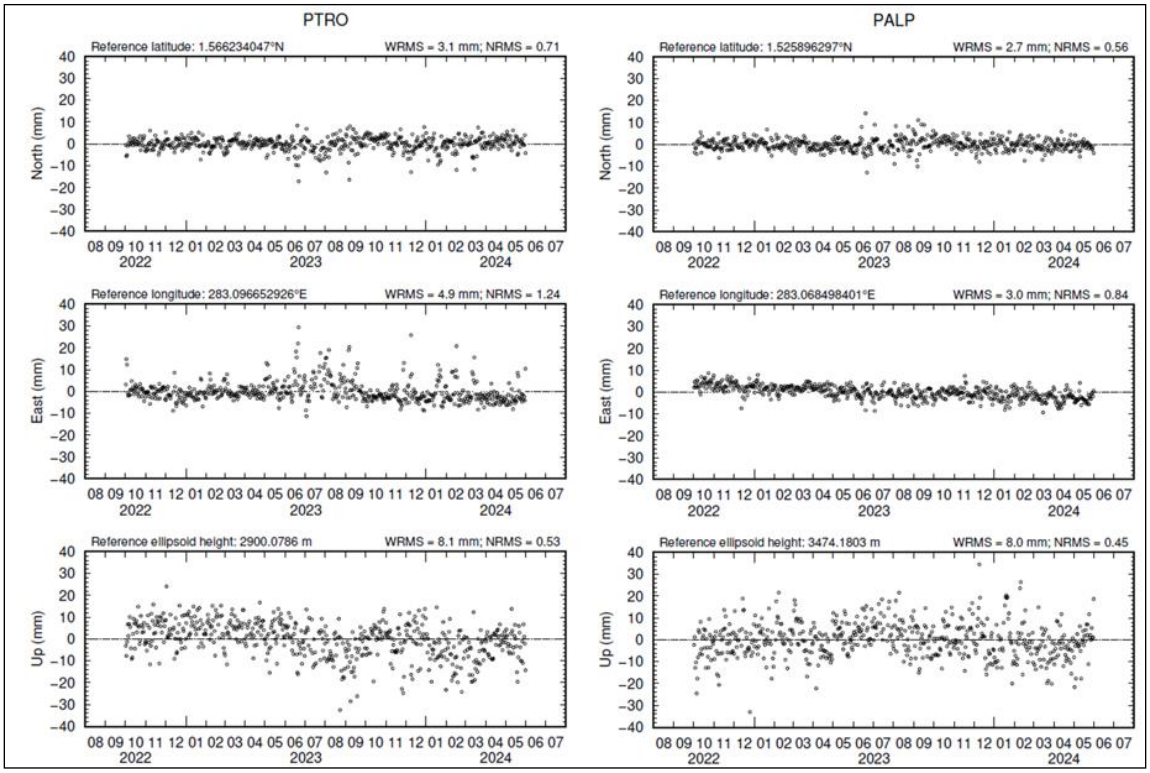


Figura 84. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Petroglifo y Palma, instaladas sobre la superficie del complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024.

Líneas Base: Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, 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 tres estaciones GNSS Permanentes y en Las Ánimas, una estación; la estación LEDE fue instalada por el grupo de trabajo GeoRED - SGC, en la Figura 85, se muestra su ubicación y en la Figura 86, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas; observando estabilidad en estas series temporales.

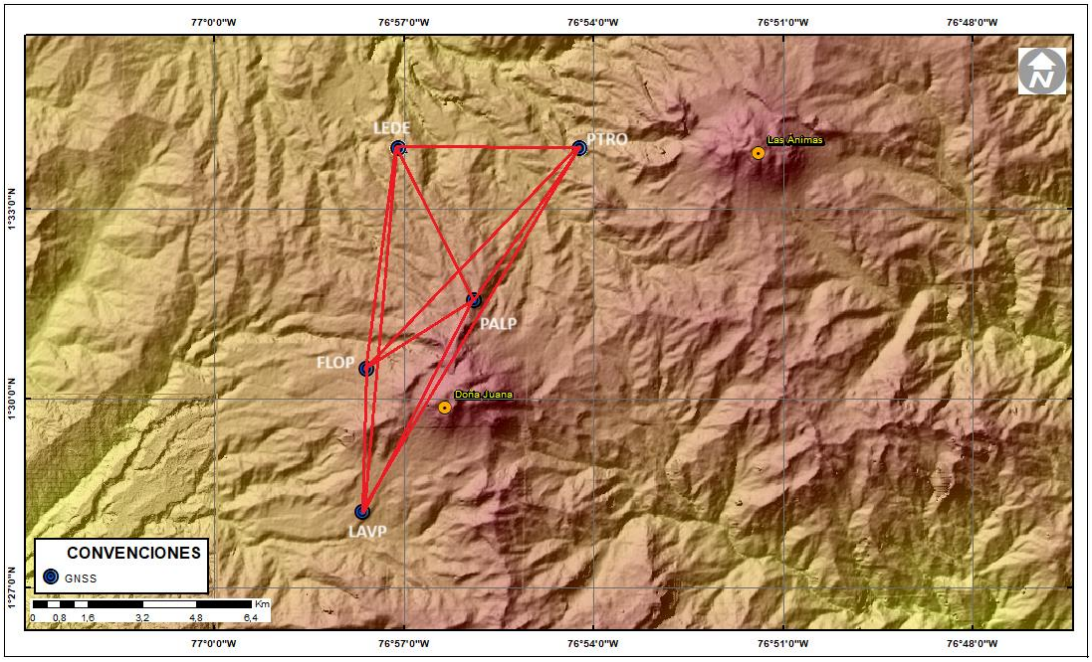


Figura 85. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana y Las Ánimas, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base.

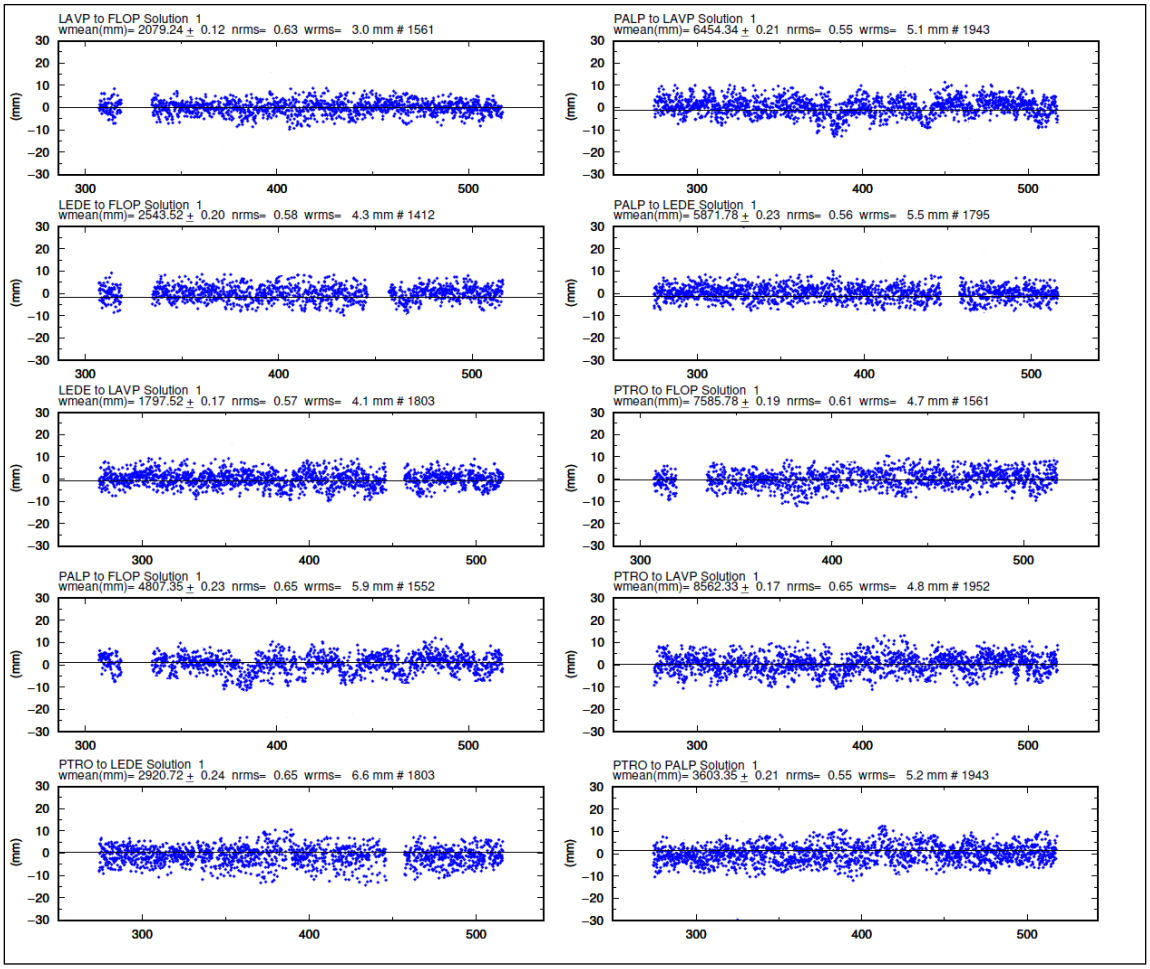


Figura 86. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada.

4.1.3.3 D-InSAR

En la Figura 87, 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 haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

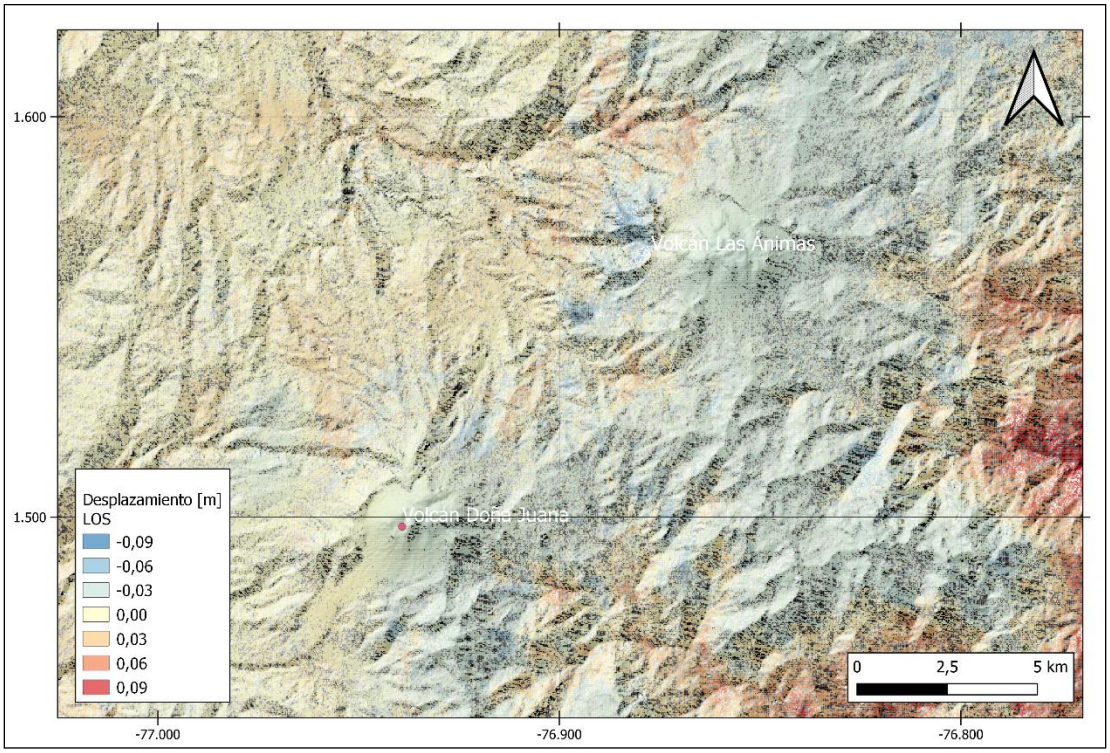


Figura 87.Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas.

4.1.4 Electromagnetismo

No cuenta con monitoreo electromagnético.

4.1.5 Geoquímica

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

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

4.1.6 Actividad Superficial

Durante el mes de mayo de 2024 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial.

4.1.7 Conclusiones

Dentro de niveles bajos de actividad en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, en mayo se mantuvo la ocurrencia sísmica con disminución de la energía liberada, en su totalidad asociada con fractura de material cortical, con ML máxima de 1.1. Las estaciones de deformación muestran estabilidad sin registrar procesos importantes.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en mayo 2024 permitió mantener el estado de **ALERTA VERDE** 🟢: “Volcán activo en reposo”.

4.2 Actividad del volcán Azufral

4.2.1 Red de Vigilancia

La Tabla 18 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis, a nivel general los instrumentos se encuentran en sitios con altitudes aproximadas hasta de 4.025 m y distancia mínima de 0.5 m sobre inmediaciones de la laguna cratérica.

Tabla 18 Red de vigilancia del volcán Azufral para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Chaitán	CHAP
2		Lagunas	LVRP
3		Roca	ROCP
4		Lobo	LOBP
5		Mallama	MALP
6		Ventana	VENP
7	INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS	Chaitán	CHAP
8		Roca	ROCP
9	SENSORES GNSS	Lagunas	LVRP
10		Roca	ROCP
11		Lobo	LOBP
12		Mirador	MIRP
13		Ventana	VENP
14	TERMOCUPLAS	Mallama	MALP
15	SENSORES METEOROLÓGICOS		ROCP-AN
16			ROCP-BA
17			ROCP-PI
18			ROCP-PL
19			ROCP-TH
20	CAMPO ELÉCTRICO	Lobo	LBMP
21	CÁMARAS WEB	Lagunas	LVRP
22		Mallama	MALP

Según la tabla anterior estos se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- ***Estaciones Sísmicas:*** La red está compuesta por seis estaciones sísmicas telemétricas triaxiales de banda ancha. (Figura 88 Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2024. (Figura 88)

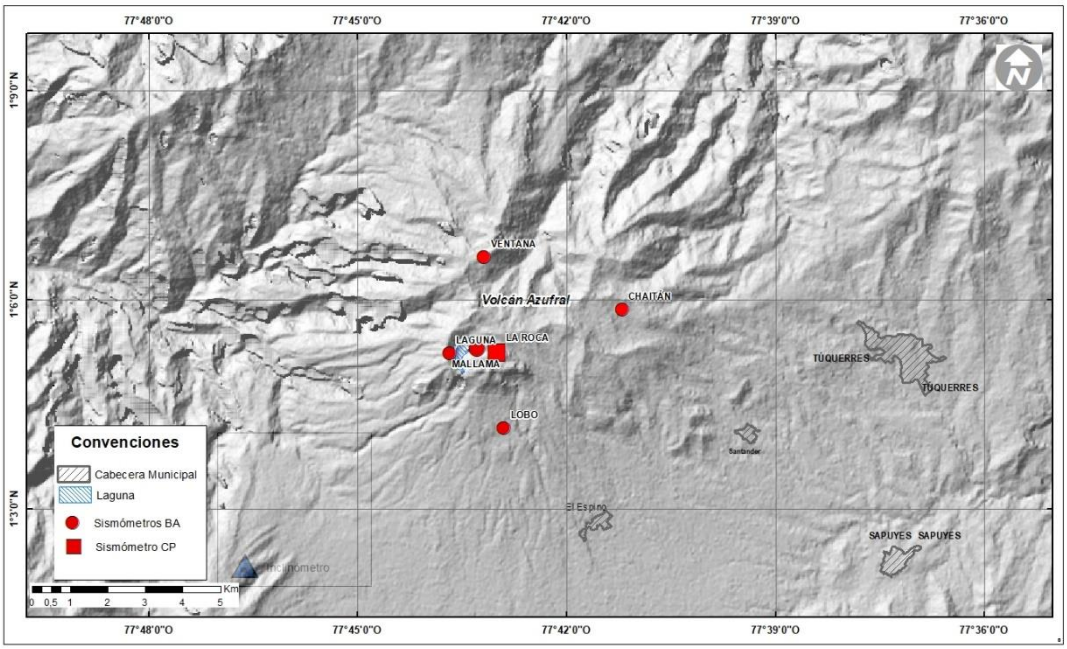


Figura 88 Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2024

- ***Instrumentos para el seguimiento de Deformación:*** Dos (2) inclinómetros electrónicos y (5) estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite). (Figura 89)

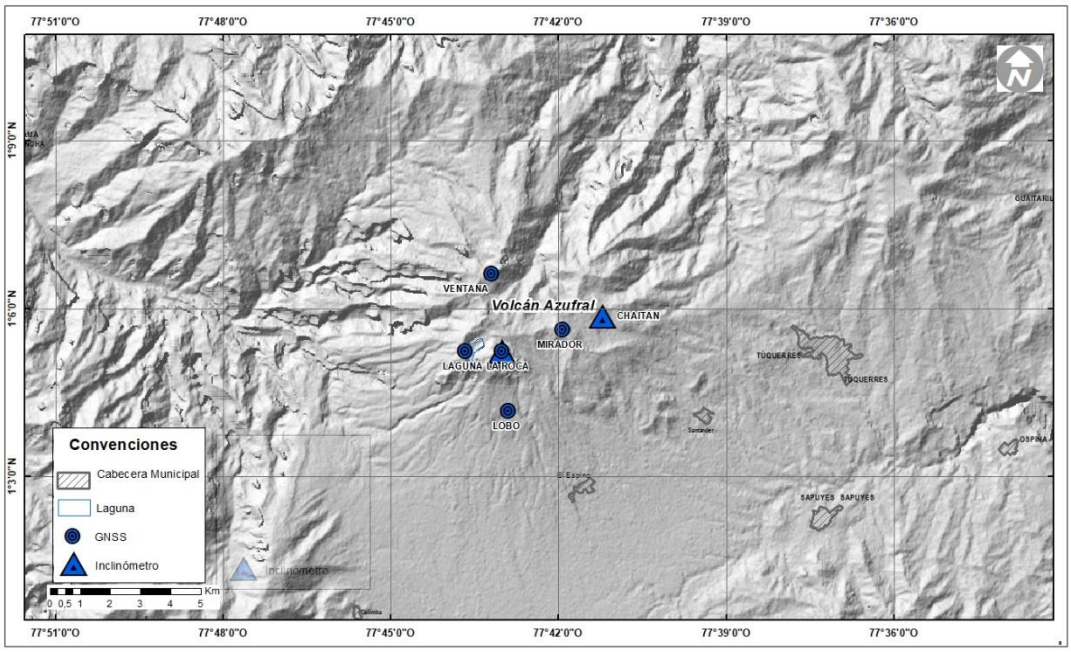


Figura 89. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del volcán Azufral en el mes de abril de 2024

- ***Instrumentos para el seguimiento de parámetros Geoquímicos y geofísicos:*** Una (1) estación para monitoreo y seguimiento térmico (termocupla), Un (1) magnetómetro, dos (2) cámaras telemétricas y una (1) estación meteorológica. (Figura 90)

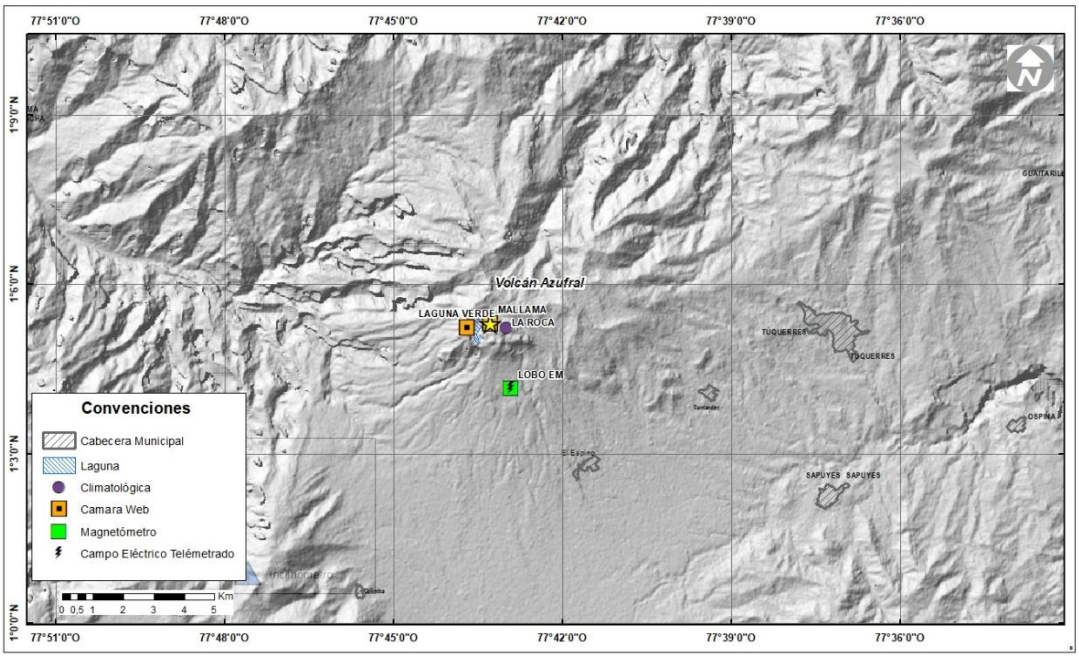


Figura 90. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo geoquímico y geofisico del volcán Azufral en el mes de abril de 2024.

4.2.2 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Azufral funcionó con un porcentaje promedio del 87 %. (Figura 91)

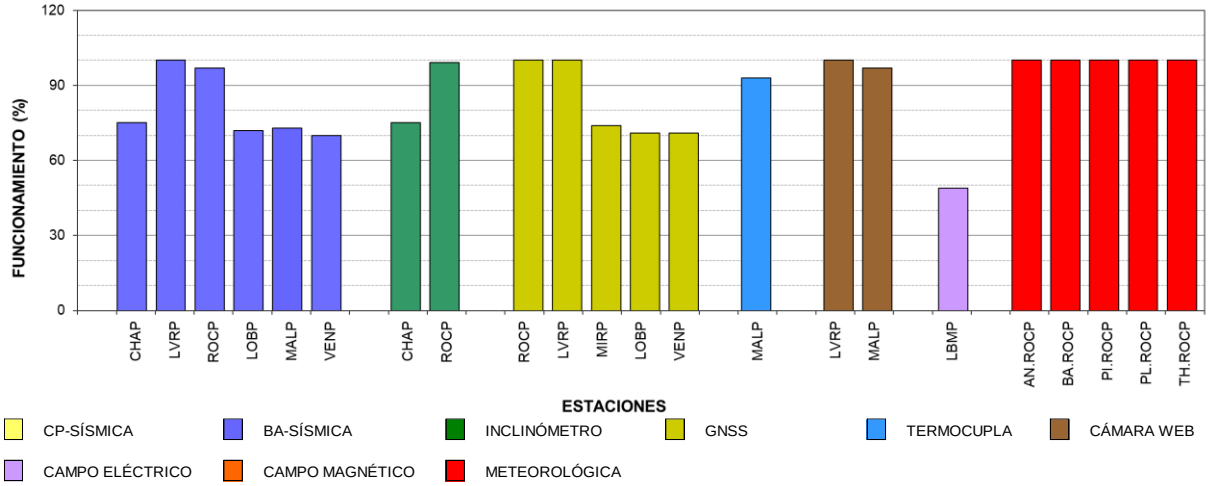


Figura 91. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Azufral en mayo de 2024

Las estaciones que presentaron afectaciones durante el periodo de análisis son:

- ***Estaciones Sísmicas e instrumentos para la medición de Deformación:*** Las estaciones de Chaitan (sísmica, Inclinómetro), Ventana (sísmica, GNSS) y GNSS Mirador, presentan

porcentajes de funcionamiento del orden del 70 al 74% debido al daño en el sistema eléctrico de la estación repetidora de Paja Blanca. Las otras estaciones no presentaron novedad.

- ***Instrumentos seguimiento Geomagnético:*** La estación Lobo EM que se encontraba por fuera se recupera por mantenimiento realizado el día 16 de mayo y sus porcentajes desde 49 %.

4.2.3 Sismología

Dentro de niveles bajos de actividad, en mayo 2024 el volcán Azufral registró disminución en la ocurrencia sísmica con respecto al mes anterior, pasando de 24 a 9 eventos, la gran mayoría asociados con fractura de material cortical VT (Figura 92 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La energía sísmica también disminuyó al pasar de $4.34x10^{10}$ ergios a $3.20x10^{09}$ ergios (Tabla 20 y Figura 93).

Tabla 19 Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	21	3	0	0	24
Mayo 2024	8	1	0	0	9

Tabla 20 Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LP	TRE	HIB	TOTAL
Abril 2024	4.34E+10	3.39E+07	0.00E+00	0.00E+00	4.34E+10
Mayo 2024	4.84E+08	2.72E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.20E+09

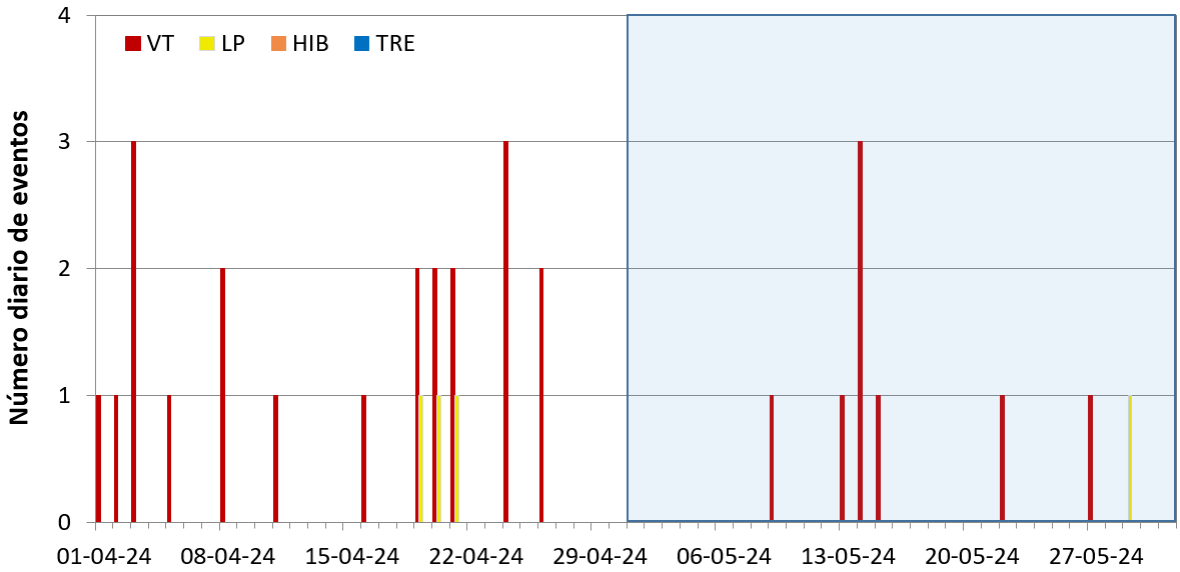


Figura 92. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado.

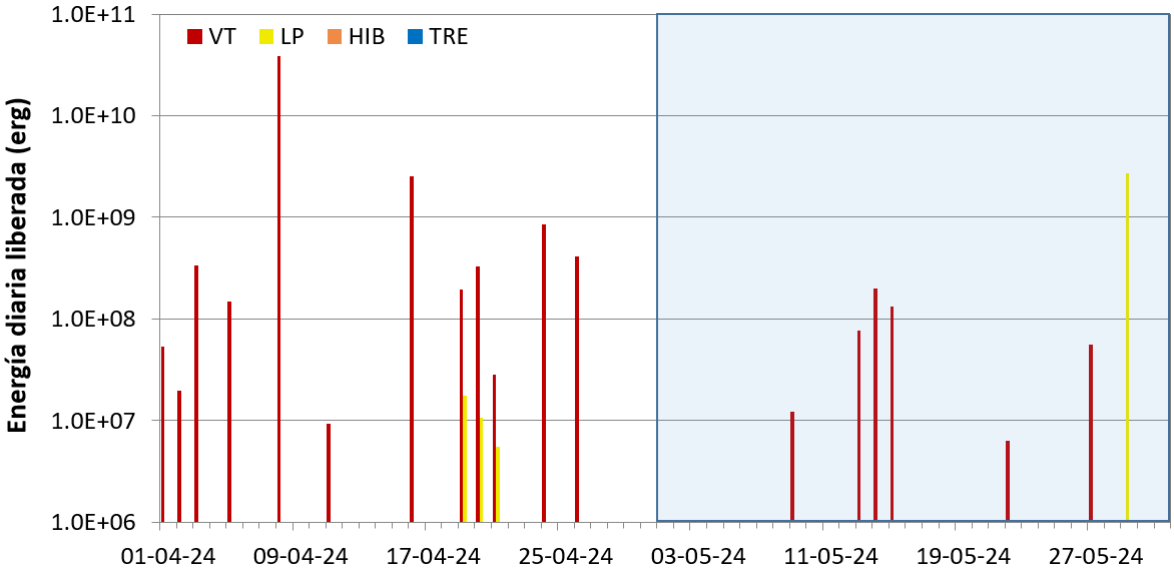


Figura 93. Energía diaria de sismos volcánicos por tipo en Azufral, abril y mayo 2024. El recuadro indica el periodo evaluado.

Se localizaron 5 sismos que se ubicaron de manera dispersa en la región volcánica, en general en distancias entre 0.2 y 6 km del domo Mallama, con profundidad entre 2 y 8 km respecto a la altura de referencia (4000 m) y magnitud local máxima de 0.8 (Figura 94). La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, en la Tabla 21 se muestran las características de localización del evento con ML de 0.8.

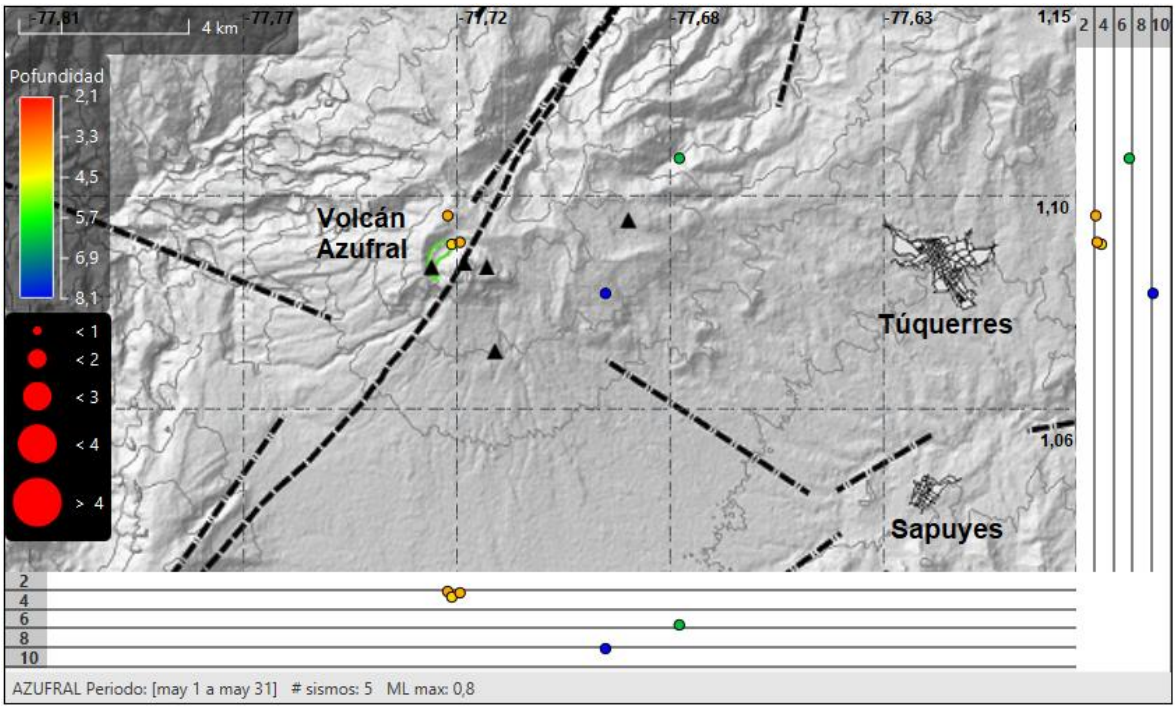


Figura 94. Localizaciones de sismos VT en Azufral, mayo 2024

Tabla 21Sismo con ML de 0.8, volcán Azufral, mayo 2024.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
14/05/2024	04:49:38	1.0802	-77.6900	8	0.8

4.2.4 Deformación

4.2.4.1 Inclinometría Electrónica

Posterior a las variaciones observadas desde 2018, que incluyeron una tendencia ascendente en la componente de inclinación Norte y una tendencia descendente en la Este de la estación La Roca, estas tendencias tienden a estabilizarse a partir de principios de octubre de 2023 (Figura 95). En la Figura 96 se muestra el registro del inclinómetro Chaitán desde su reinstalación con algunas variaciones en sus componentes asociadas al comportamiento de la temperatura.

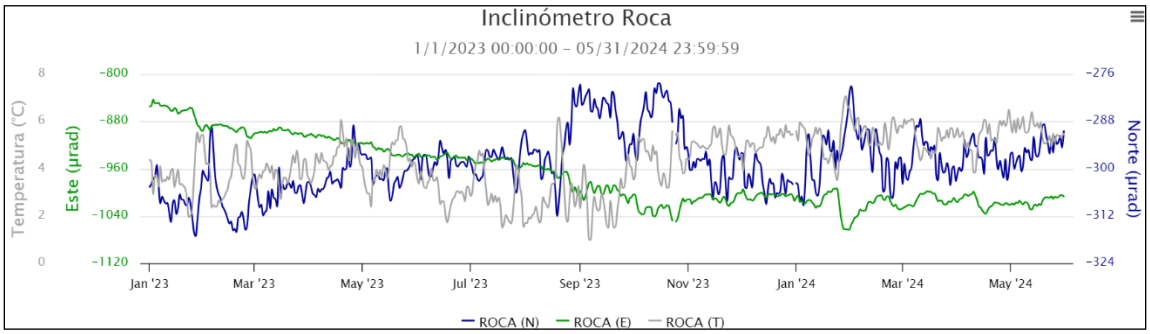


Figura 95. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de mayo de 2024.

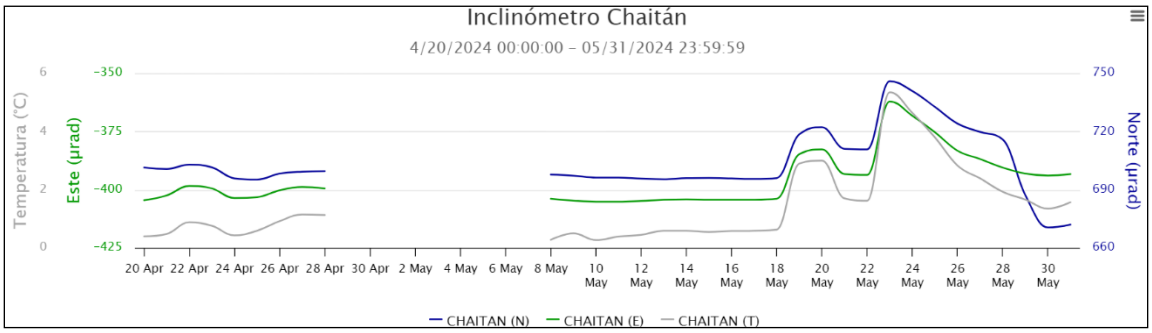


Figura 96. Componentes de inclinación Norte y Este (µrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 20 de abril de 2024 y el 31 de mayo de 2024.

4.2.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azufral, cinco estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Laguna, Lobo, Ventana y Mirador, esta última instalada desde el 10 de noviembre de 2023.

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 97, a manera de ejemplo se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Roca y Mirador evidenciando estabilidad en estas series temporales.

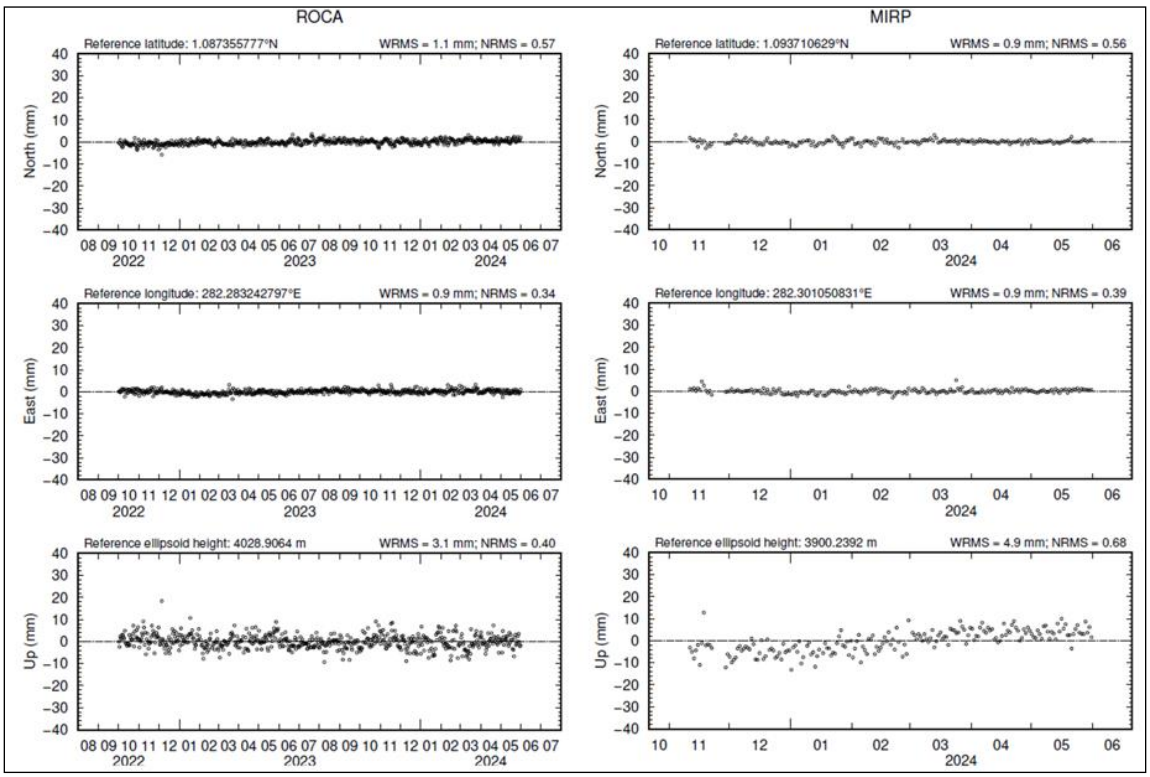


Figura 97. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Roca (para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2022 y el 31 de mayo de 2024) y Mirador (para el periodo entre el 11 de noviembre de 2023 y el 31 de mayo de 2024) instaladas en Azufral.

Líneas Base: Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, 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 **98**, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la
Figura 99, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas series temporales.

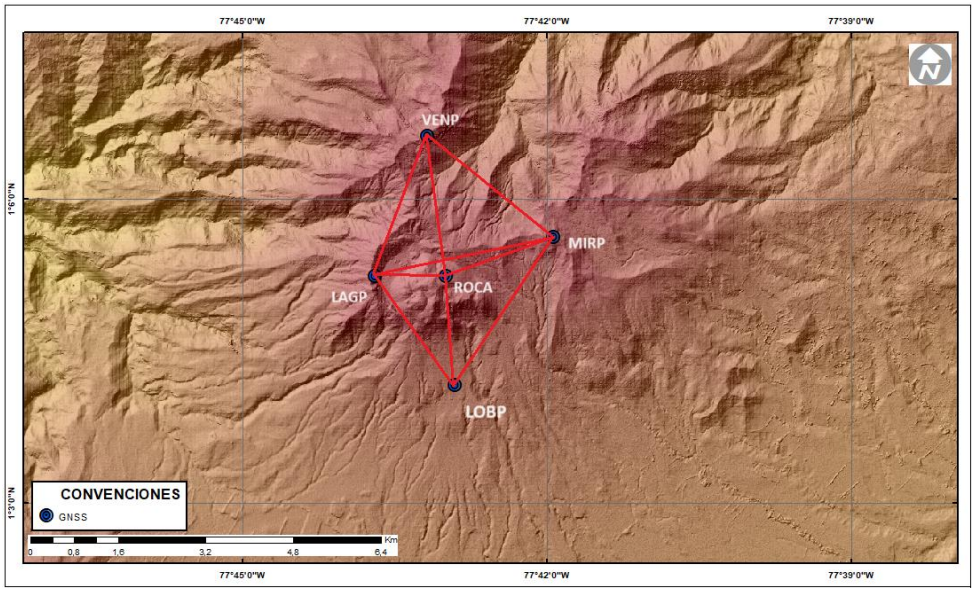


Figura 98. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base.

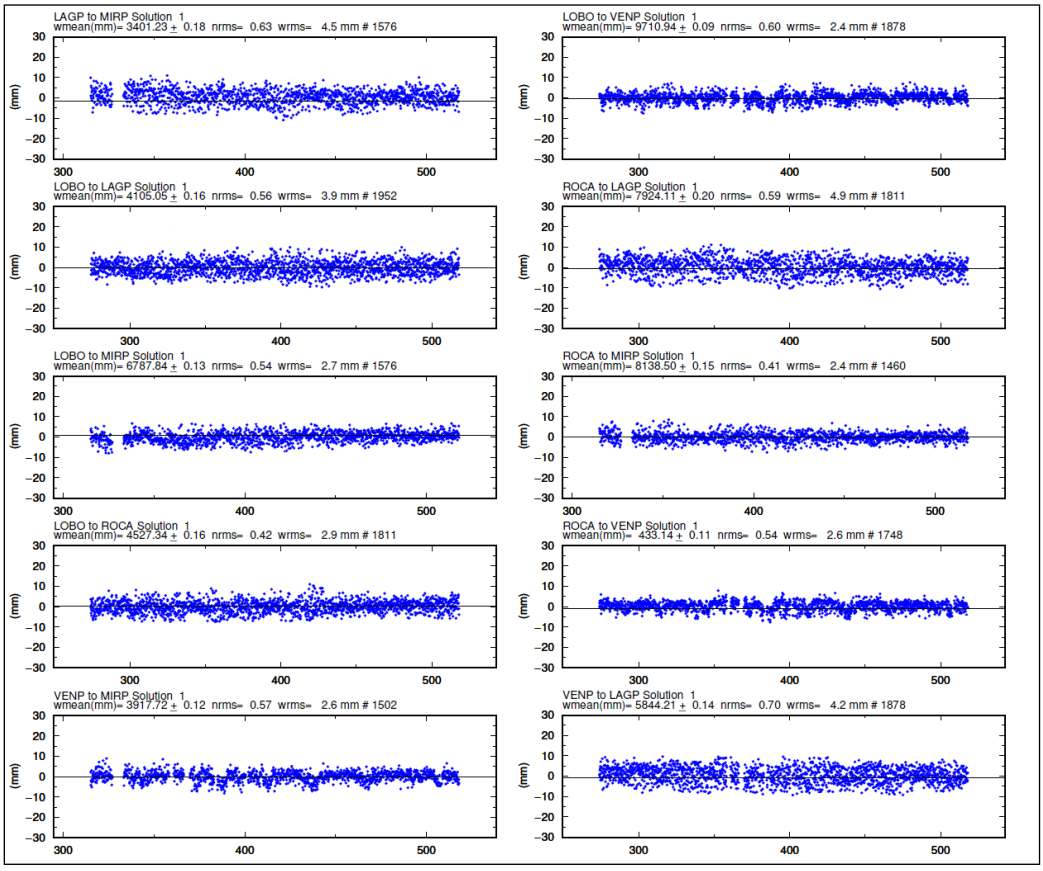


Figura 99. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de octubre de 2023 y el 31 de mayo de 2024. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada.

4.2.4.3 D- InSAR

En la

Figura 100, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Azufral obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

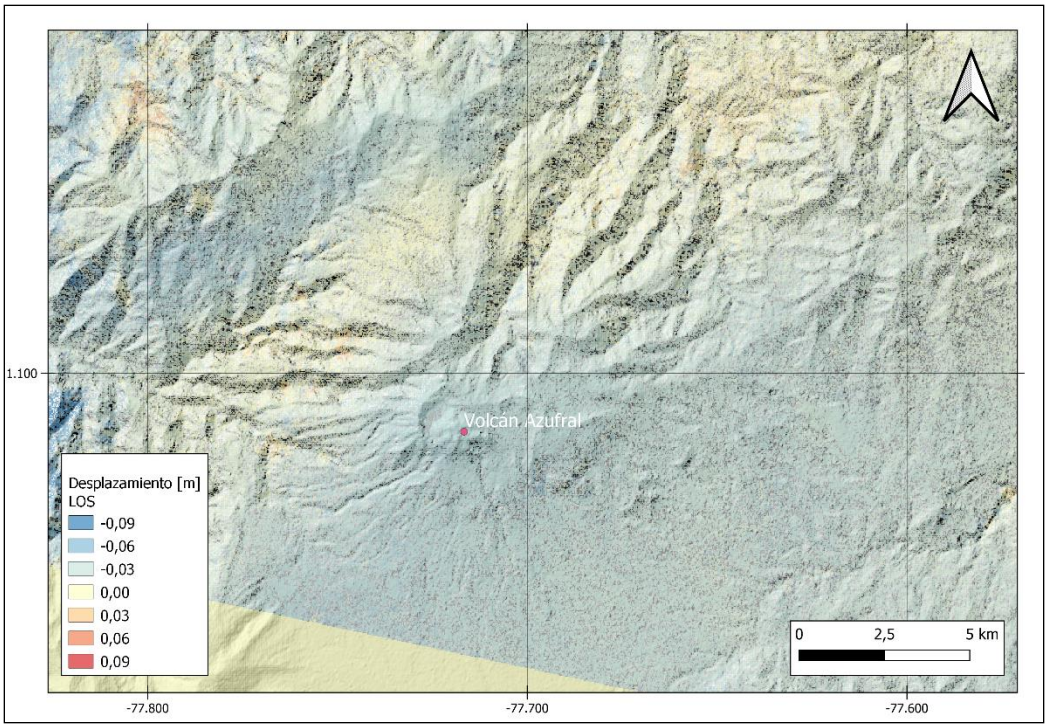


Figura 100. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia volcán Azufral.

4.2.5 Electromagnetismo

El monitoreo eléctrico, en la zona de influencia del volcán Azufral, en mayo de 2024, se realizó con la información registrada en la estación de monitoreo eléctrico Lobo (LOB) que cuenta con dos dipolos dispuestos en dirección NS y EW que permiten calcular el campo eléctrico horizontal (CEH) en la zona de estudio. La estación LOB se instaló para identificar las variaciones del potencial eléctrico en el sitio y adicionalmente en julio de 2023 se instaló una segunda estación eléctrica (LOB2), paralela a LOB, para verificar el funcionamiento de la primera, pues los sensores se deben reemplazar cada año por el desgaste de sus componente, pero como no se han podido adquirir se están haciendo pruebas con la estación paralela que tiene varillas de cobre como sensores y que hasta el momento ha dado muy buenos resultados, considerando que la estación original ha mostrado un comportamiento deficiente, evidenciado por la ocurrencia de pulsos que pueden estar asociados con la lluvia o con el mal funcionamiento de los sensores (**Figura 101**).

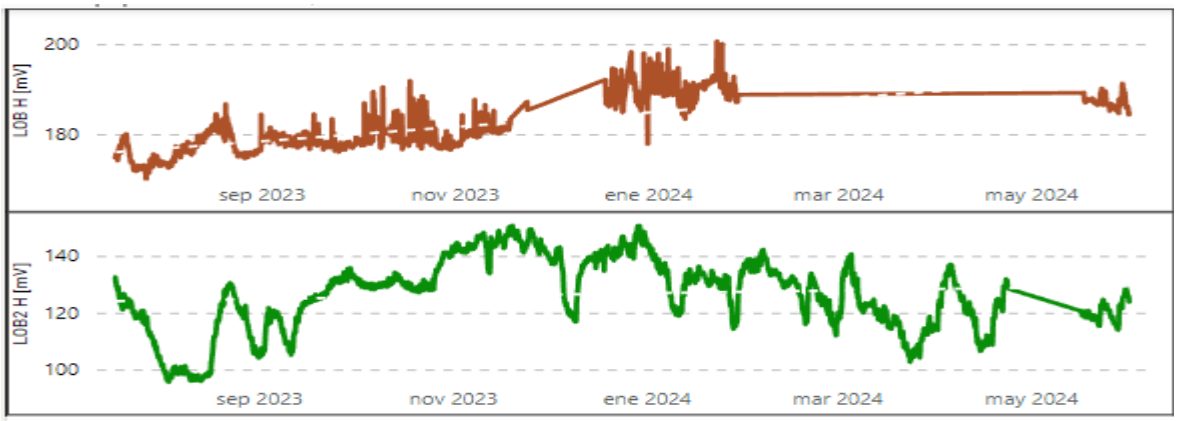


Figura 101. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde) entre julio de 2023 y mayo de 2024.

Depurando la información y tomando el promedio móvil se obtuvo en LOBH una tendencia mucho mas estable, especialmente, a partir del mantenimiento realizado en mayo de 2024, con un valor promedio del campo de alrededor de los 187.6 mV, con variaciones menores de los 5 mV en menos de tres días, que es una variación muy baja para este tipo de muestreos

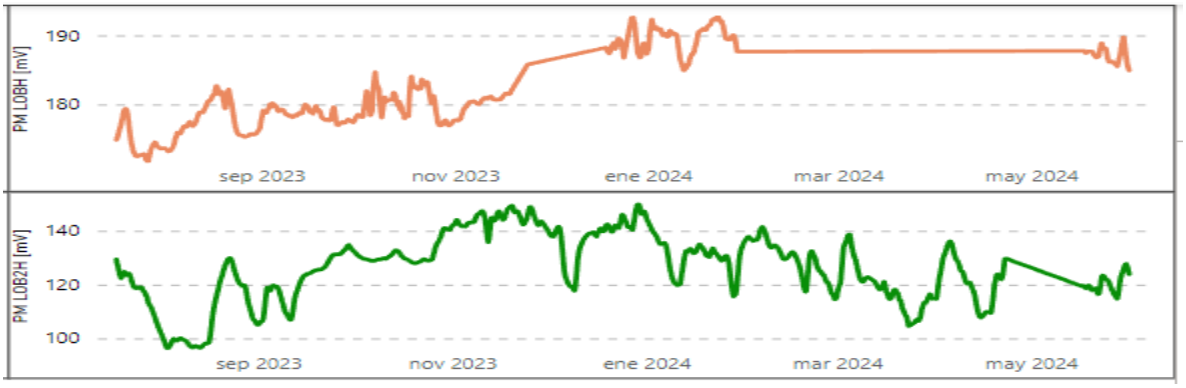


Figura 102). En LOB2H el valor promedio del campo, en todo el periodo de tiempo graficado (julio 2023 a mayo 2024) fue de alrededor de los 130 mV, con variaciones máximas de hasta 30 mV en 5 días, que pueden considerarse como bajas.

Tomando la serie procesada, solamente para el periodo de mayo, luego del mantenimiento a las estaciones (17 de mayo de 2024), vemos que el procesamiento muestra unas series más limpias. Los valores promedios del CEH son alrededor de los 187 mV para LOBH y de aproximadamente 120 mV para LOB2H; con variaciones máximas, menores de 5 mV diarias, y en LOB2H, el valor promedio del CEH fue de aproximadamente 120 mV y variaciones diarias máximas, menores de 10 mV, lo que estaría indicando que, desde esta área del conocimiento, se presenta estabilidad en la evaluación de la actividad volcánica

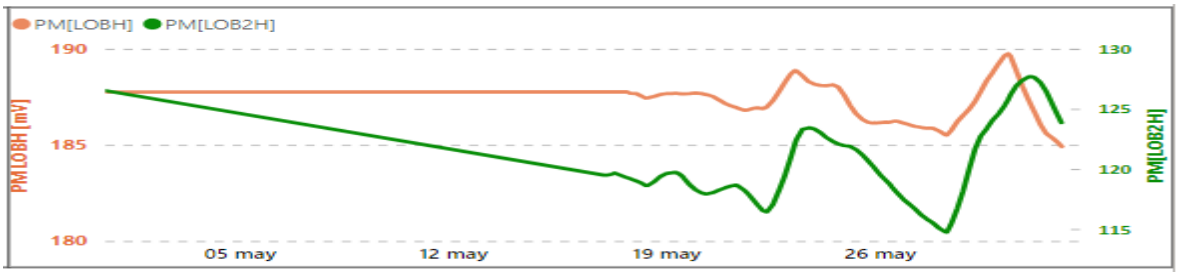


Figura 103).

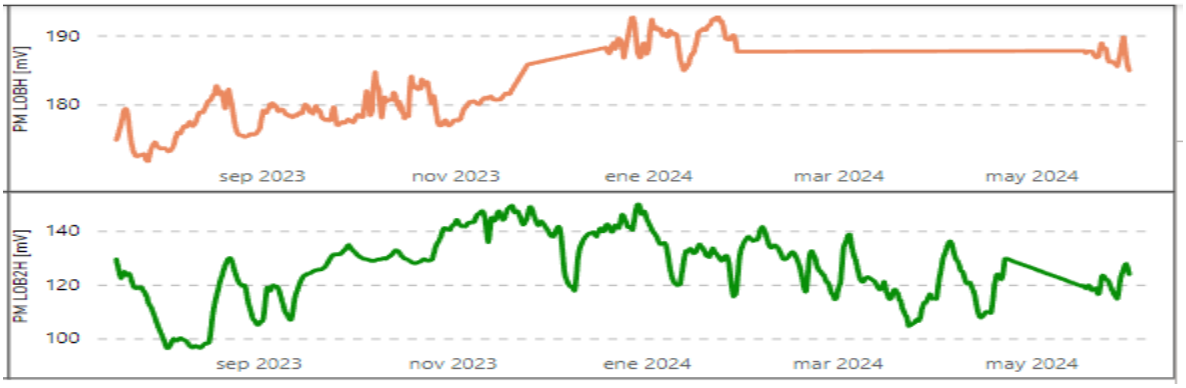


Figura 102. Variaciones del promedio móvil del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde) entre julio de 2023 y mayo de 2024.

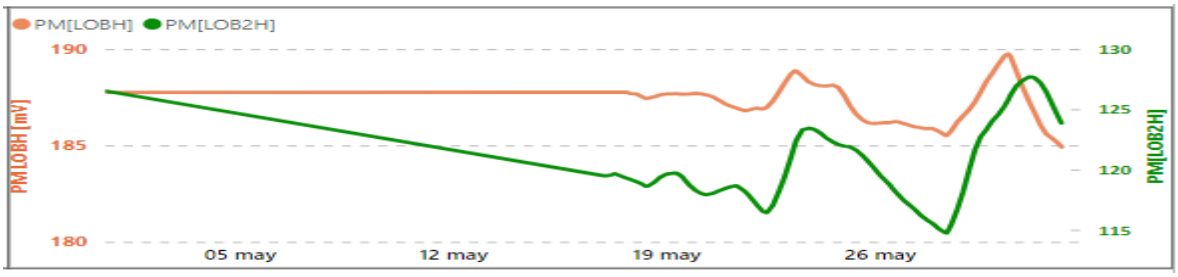


Figura 103. Variaciones del promedio móvil del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOBH (naranja), y en la estación LOB2H (verde), en mayo de 2024.

4.2.6 Geoquímica

En el volcán Azufral se hace seguimiento a 8 manantiales termales y fríos, cuyos nombres corresponden a LV N°1, San Ramón, La Cabaña, Qualanquizán, Salado de Malaver, Arrayán Salado, Tutachag y Quebrada Blanca, así como también a la Laguna Verde (laguna cratérica) y tres puntos de anomalías térmicas nombrados como LV N°2, LV N°3 y LV N°4, los cuales se muestrearon en el mes de mayo. En la Figura 104 se muestra fotografías de los lugares de muestreo visitados. Para uno de los puntos de anomalías térmicas de la Laguna Verde (LV N°2) no fue posible tomar la muestra en donde anteriormente se había hecho dado el incremento en el nivel del agua de la Laguna Verde, dificultando el acceso al punto de anomalía

Figura 104. Imágenes fotográficas de las fuentes termales visitadas. A) La Cabaña, B) San Ramón, C) LV N°4, D) LV N°1, E) LV N°3, F) Laguna Verde, G) Quebrada Blanca, H) Tutachag, I) Arrayán Salado, J) Salado de Malaver.

4.2.6.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

En la Figura 105 se presenta el comportamiento del pH, se puede evidenciar que se dividen en dos grupos, uno muy cercano a la neutralidad, los cuales hacen referencia a los que se encuentran más alejados del volcán, por ende, tienen mayor mezcla con aguas superficiales, mientras que el otro grupo son aguas ácidas que se encuentran cercanas a la Laguna Verde y se encuentran influenciadas en ocasiones por mezcla con agua de la Laguna que depende de su nivel. Con relación a la temperatura (Figura 106) en general los valores más elevados los tienen los manantiales cercanos a este volcán, mientras que los más alejados tienen los valores más bajos. Con respecto a la conductividad eléctrica (Figura 107), no se observa una relación con la ubicación respecto al volcán Azufral.

En general, en los parámetros medidos en los puntos de muestreo que no presentan mezcla con otro tipo de agua, se observa estabilidad en el comportamiento temporal, mientras que los puntos de anomalías térmicas LV N°1, LV N°3 y LV N°4, que presentan mezcla con agua de la Laguna Verde, se observa variación, pero es debida a los cambios en los niveles de agua fenómeno que ocurre con las fuentes termales de Salado Malaver con el Río Sapuyes y Quebrada Blanca con la Quebrada Chimangual, de tal manera que en sí, su comportamiento es estable en concordancia con los bajos niveles de actividad en el volcán Azufral.

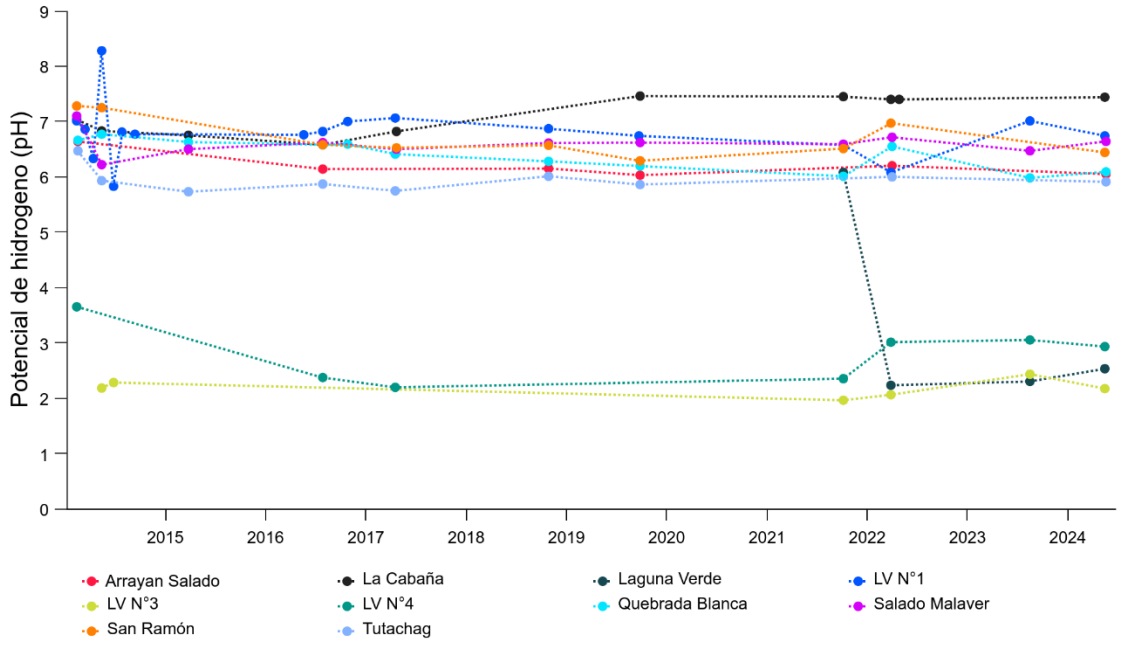


Figura 105. Variación temporal de pH FT- Volcán Azufral- 2014-2024.

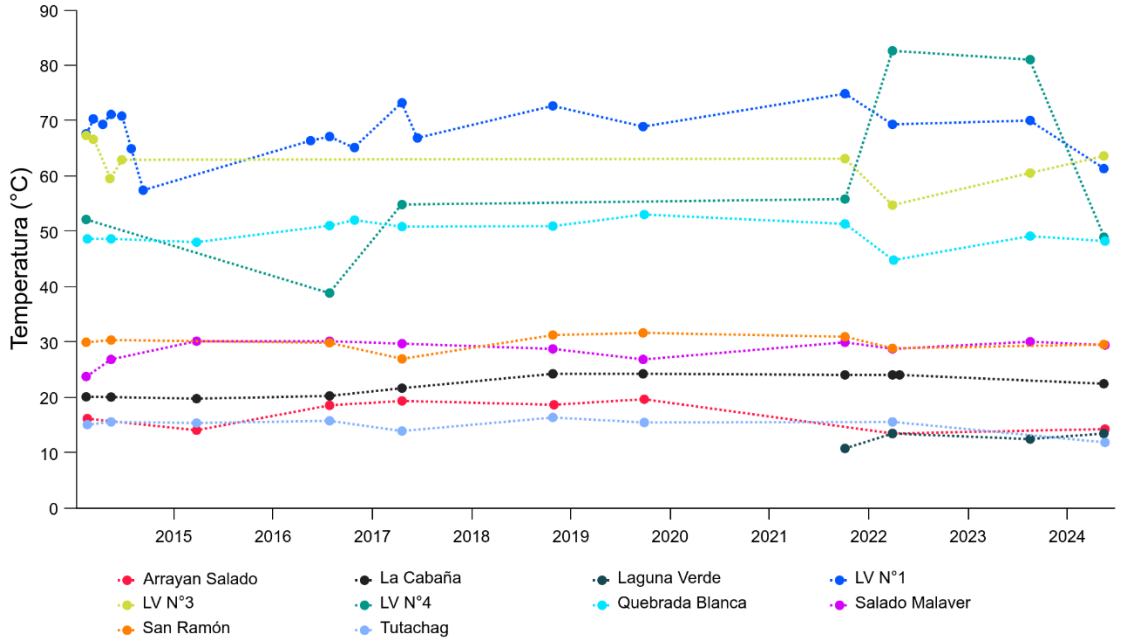


Figura 106. Variación temporal de Temperatura FT- Volcán Azufral- 2014-2024.

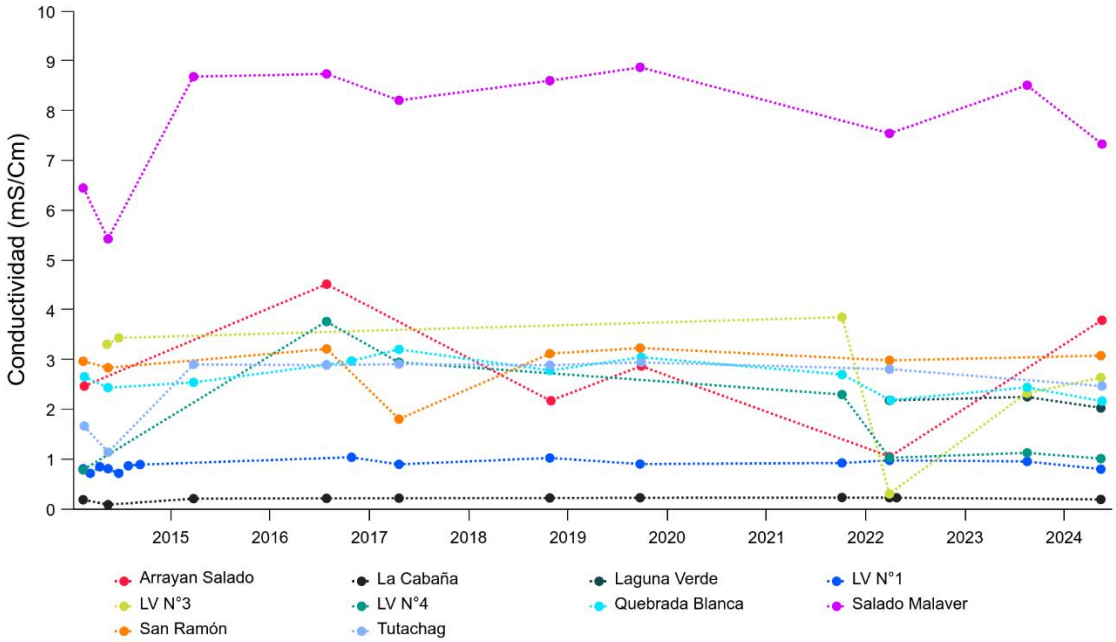


Figura 107. Variación temporal de C.E FT- Volcán Azufral- 2014-2024.

4.2.6.2 Muestreo de gases de origen volcánico

Se realizó el muestreo de gases de origen volcánico en el sector del campo fumarólico "Domo Mallama", se midió temperaturas de 84.9 °C y se recolectaron dos muestras en botellas Giggenbah (Figura 108Figura 108).

Figura 108. Recolección de gases y medición de Temperatura campo fumarólico Domo Mallama – Volcán Azufral.

4.2.6.3 Estación térmica domo Mallama

La información relacionada con la temperatura del Domo Mallama, se recibe de manera telemétrica en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto. En la Figura 109 y Tabla 22 se observa que los valores oscilan entre máximos de 85.8 y mínimos de 84.5 °C, estos se presentan en horas de la

tarde y madrugada, respectivamente. No se observa algún tipo de tendencia, mostrando estabilidad en su comportamiento, en coherencia con el nivel de actividad.

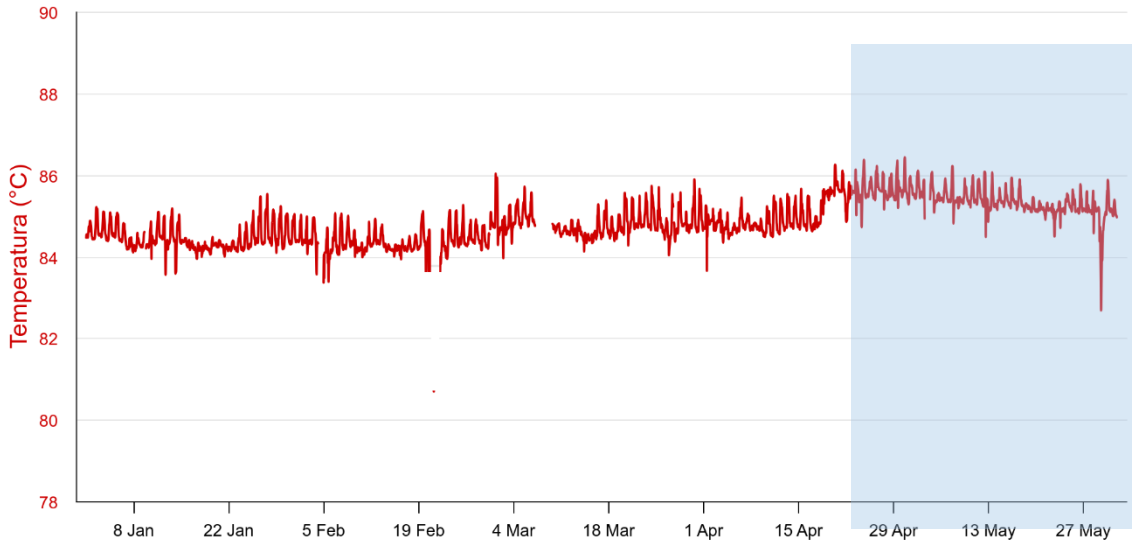


Figura 109. Temperatura en Domo Mallama, febrero a mayo de 2024, periodo evaluado: mayo 2024.

Tabla 22 Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral: Abril a mayo de 2024

Valor	Abril	Mayo
Mínimo	84.6	84.5
Promedio	85.2	85.3
Máximo	85.7	85.8

4.2.6.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el Volcán Azufral se obtienen datos de las siguientes variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica, radiación solar y lluvia acumulada, parámetros que pueden influenciar en los valores medidos de las variables estudiadas en algunas de las áreas de vigilancia volcánica.

En las siguientes figuras se muestra las gráficas temporales de los datos registrados en la estación climatológica y en la Tabla 5, algunos valores de estadística básica para el mes evaluado.

En la Figura 110, la velocidad del viento varía entre 0.02 y 15.5 m/s, con una dirección predominante de incidencia de SE y de NW de dispersión (Figura 111). La temperatura oscila entre valores de 2.6 y 11.8°C, las cuales responden a variaciones día-noche. En la presión atmosférica se tiene bajas oscilaciones entre 628.9 y 633.6 mb (milibares). En la radiación solar, de manera coherente, se tiene los valores más altos en horas del mediodía y tarde, mientras que, en la noche, los valores son 0 y cercanos a cero.

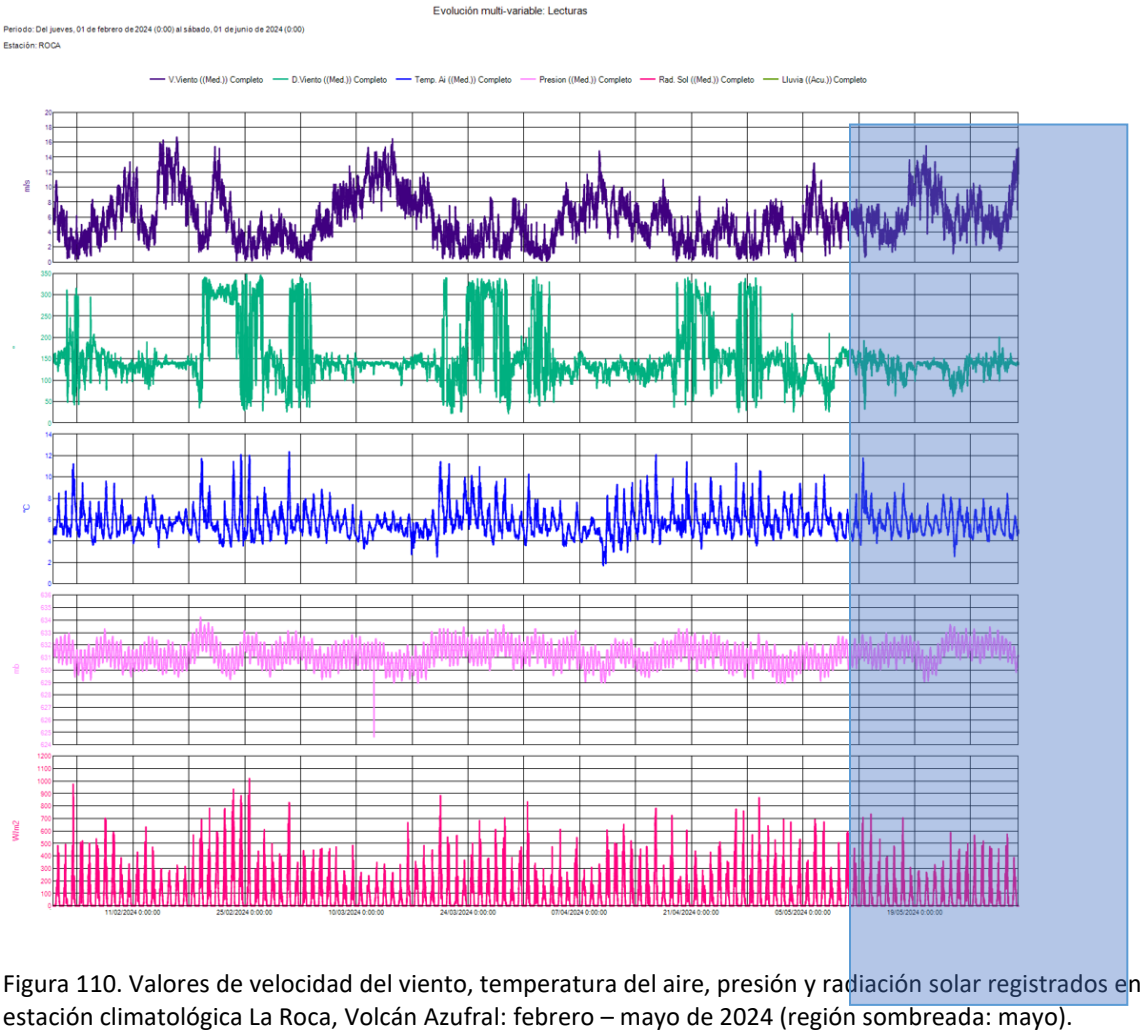


Figura 110. Valores de velocidad del viento, temperatura del aire, presión y radiación solar registrados en la estación climatológica La Roca, Volcán Azufral: febrero – mayo de 2024 (región sombreada: mayo).

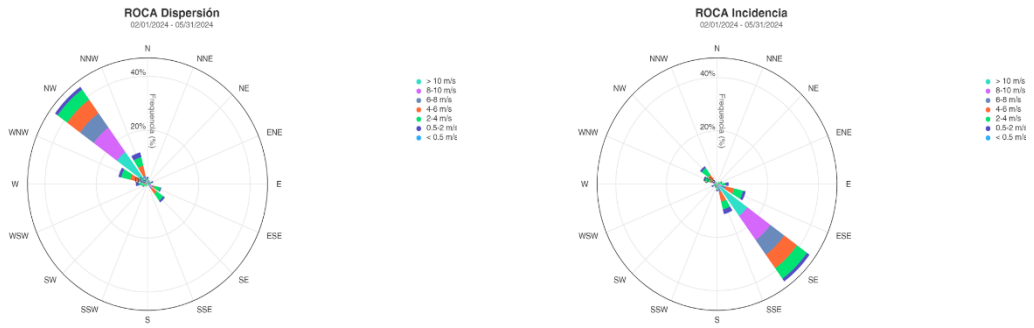


Figura 111. Rosa de los vientos con la dirección del viento de la estación Roca, en el periodo de febrero a mayo de 2024.

Finalmente, en la lluvia, para el periodo de evaluación se presentaron fallas en el funcionamiento del sensor del pluviómetro por lo que no hubo registro de datos para el mes de mayo. Esto debe ser revisado posteriormente por el grupo de electrónica cuando sea posible realizar el trabajo en campo.

Tabla 23 Datos parámetros estación climatológica La Roca – mayo de 2024.

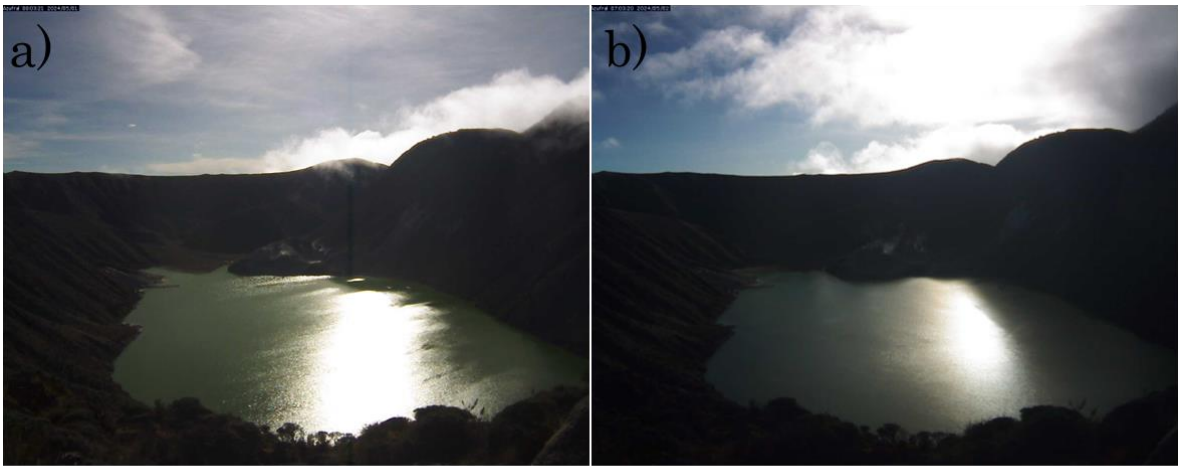
	V. Viento (m/s)	D. Viento (°)	Temp. Ai (°C)	Presión (mb)	Rad. Sol (W/m2)
Med.	6.2	129.3	5.8	631.3	82.1
Máx.	15.5	255.1	11.8	633.6	735.0
Mín.	0.02	26.1	2.6	628.9	0.06

4.2.7 Actividad Superficial

El registro y observación de la actividad superficial se realizó desde las cámaras instaladas en campo que transmiten datos al OVSPA. Durante el periodo de estudio las condiciones predominantes del estado del tiempo atmosférico permitieron identificar el cielo nublado con predominio de tiempo seco que permitió observar emisiones en un 58 % del total de los días durante el mes de mayo. Las características predominantes de estas emisiones fueron de baja altura y dirección variable por cortos lapsos de tiempo desde la cámara de Mallama. El principal foco de emisión de gases de color blanco de baja altura provino del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde.

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

En la Figura 112, Figura 113, Figura 114, Figura 115, Figura 116, Figura 117, Figura 118, Figura 119 y Figura 120 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



01/05/2024 02/05/2024

Figura 112. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 01 de mayo y b) 02 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

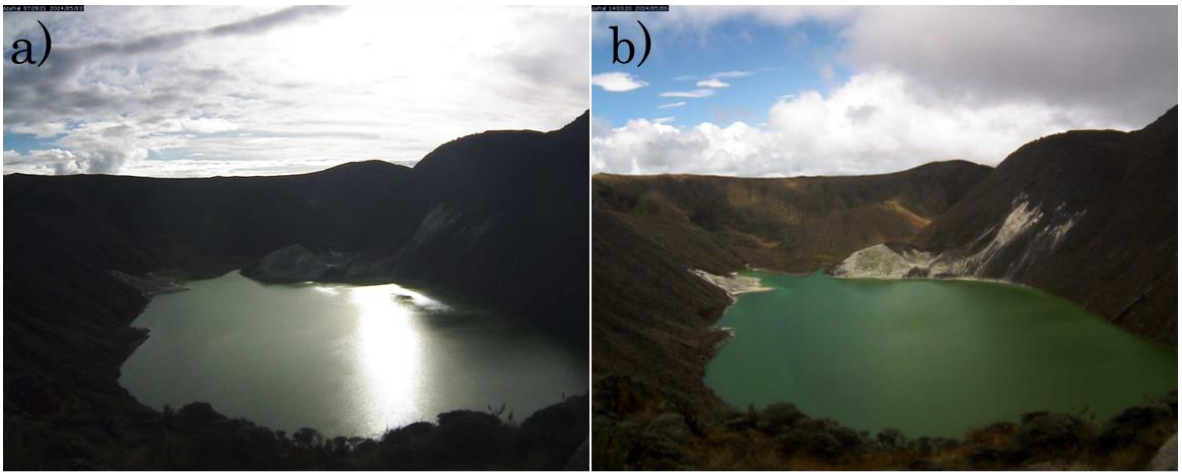


Figura 113 Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 03 de mayo y b) 06 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.

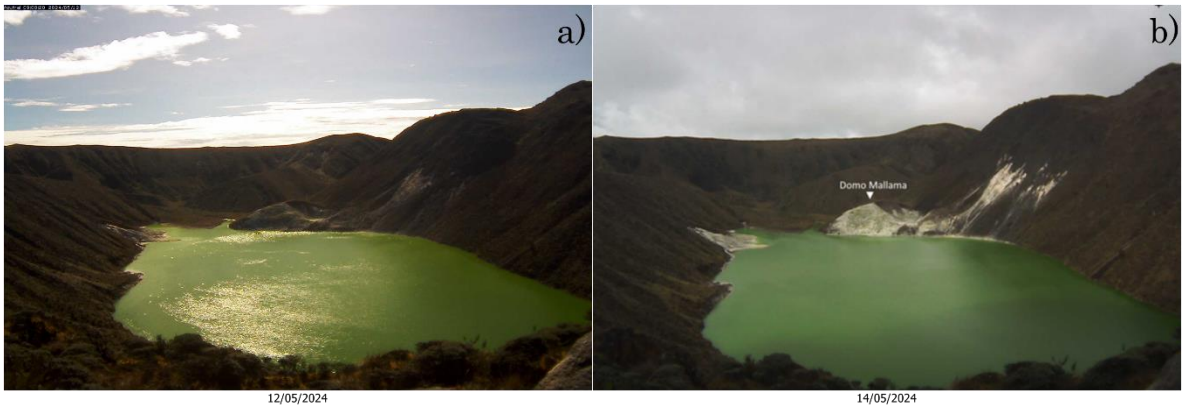


Figura 114. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 12 de mayo y b) 14 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.

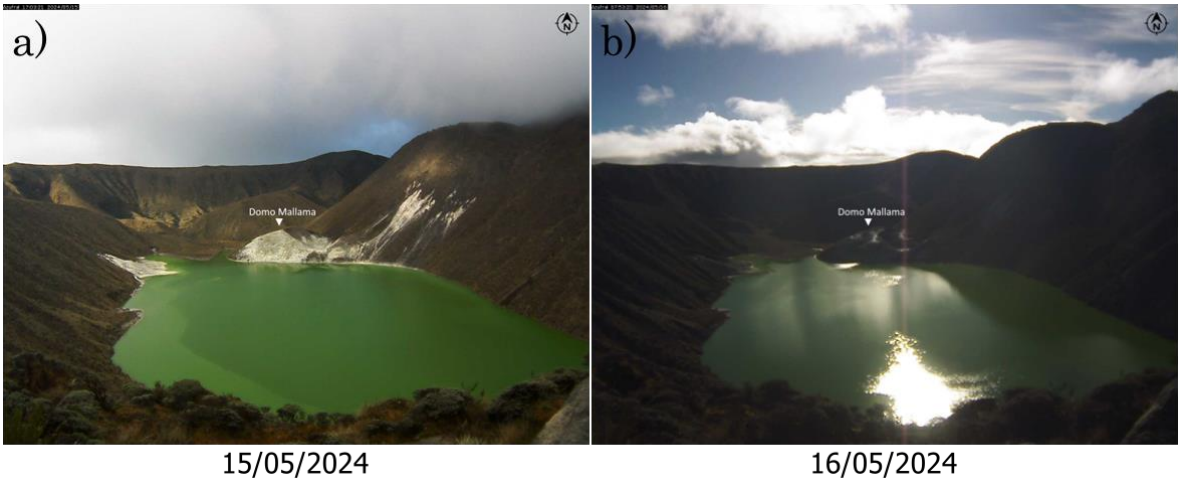
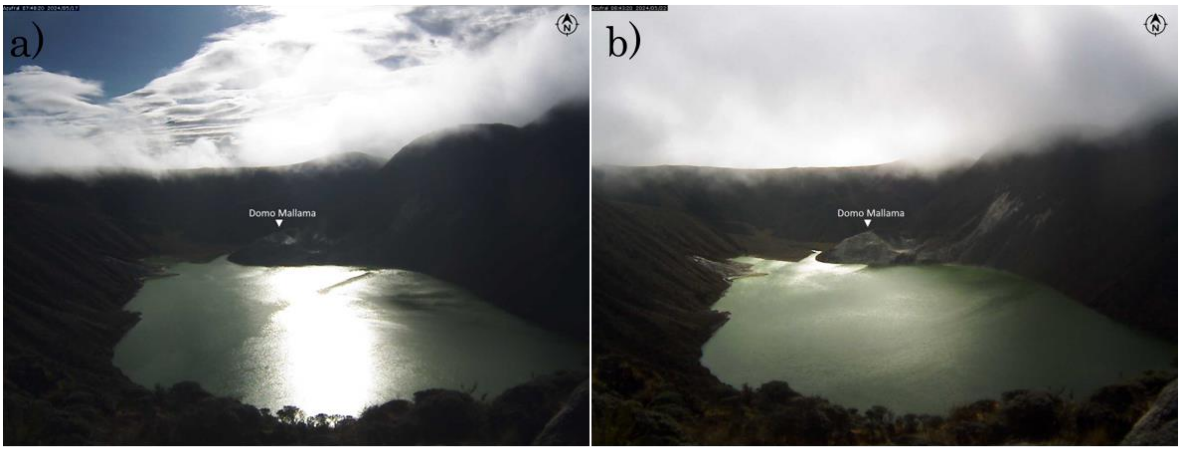
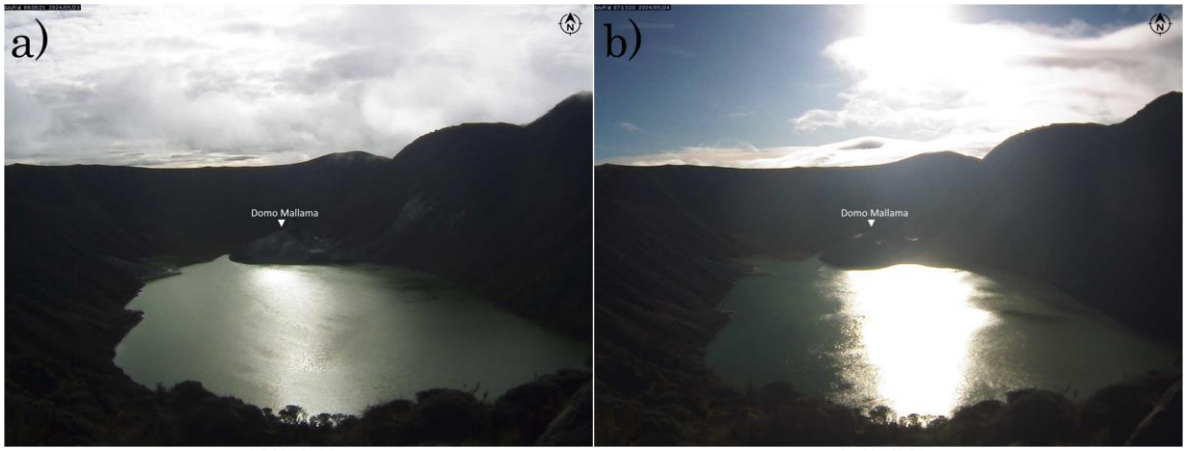


Figura 115. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 15 de mayo y b) 16 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.



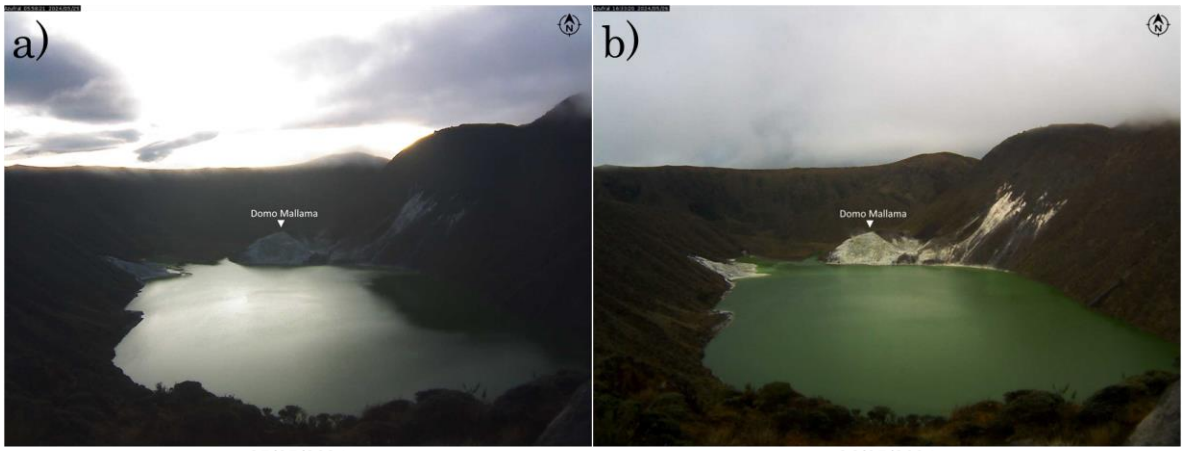
17/05/2024 22/05/2024

Figura 116. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 17 de mayo y b) 22 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.



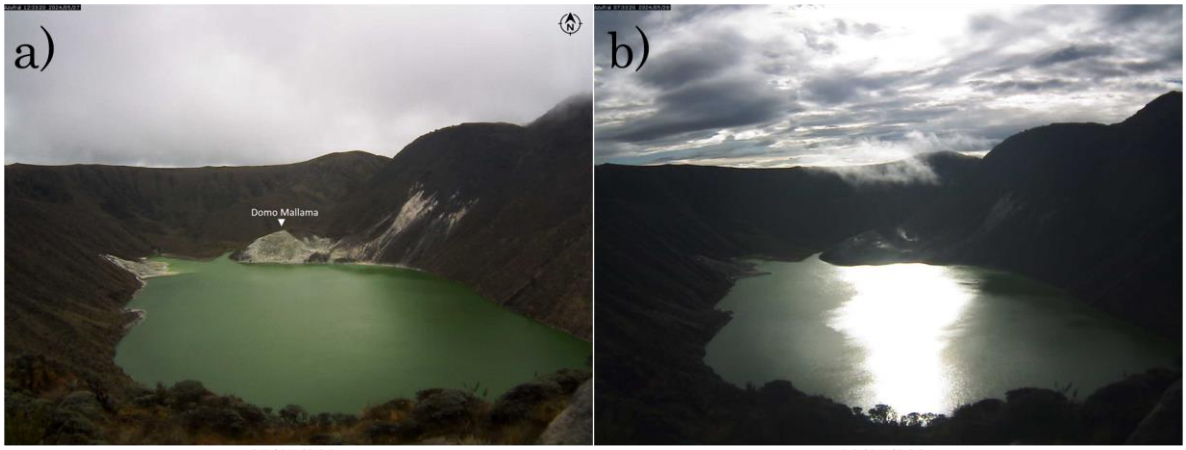
23/05/2024 24/05/2024

Figura 117. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 23 de mayo y b) 24 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.



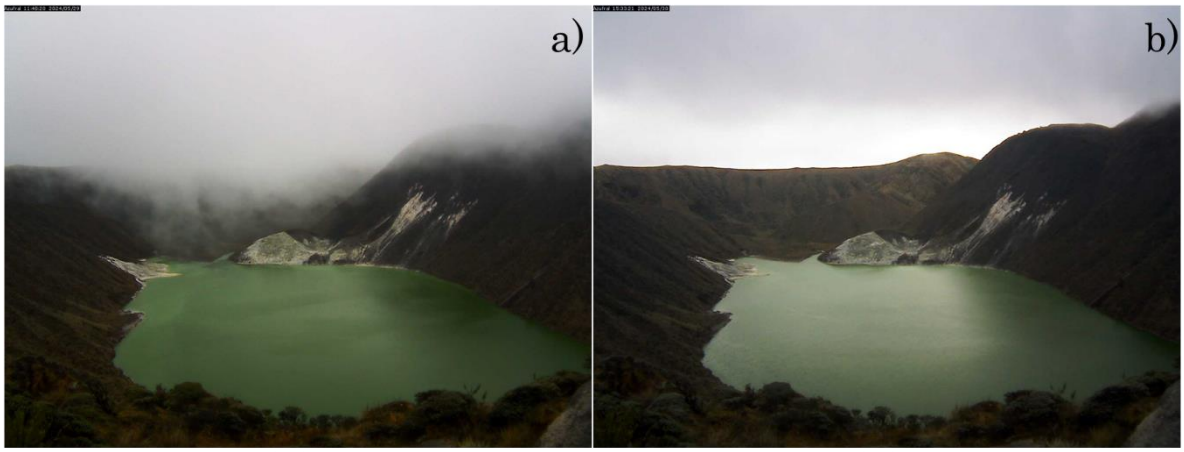
25/05/2024 26/05/2024

Figura 118. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 25 de mayo y b) 26 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



27/05/2024 28/05/2024

Figura 119. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 27 de mayo y b) 28 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.



29/05/2024 30/05/2024

Figura 120. Imágenes de emisión del domo Mallama – Volcán Azufral registradas para los días a) 29 de mayo y b) 30 de mayo capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.

4.2.8 Conclusiones

Dentro de niveles bajos, en mayo en el volcán Azufral se registró disminución en la ocurrencia y en la energía sísmica, en su gran mayoría asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 0.8. Las estaciones de deformación muestran estabilidad sin registrar procesos importantes

Los valores de temperatura de la estación del Domo Mallama muestran valores estables en el periodo de evaluación. En los manantiales termales ubicados en zona de influencia del volcán Azufral se evidencia estabilidad en los parámetros fisicoquímicos tales como pH, temperatura y conductividad eléctrica. Los valores meteorológicos medidos en área de influencia del Volcán Azufral se encuentran dentro de las líneas base de comportamiento.

La evaluación de la actividad del volcán Azufral en mayo 2024 permitió mantener el estado de **ALERTA VERDE** 🟢: “Volcán activo en reposo”.

5 Campo volcánico Monogenético: Guamuez- Sibundoy (Nariño - Putumayo) – mayo de 2024

5.1 Red de Vigilancia

La Tabla 24 y Figura 121 indica el tipo de sensor que conforma la red de vigilancia para el periodo de análisis.

Tabla 24 Red de vigilancia del CVMGS para el mes de mayo del 2024

No.	TIPO DE SENSOR	ESTACIÓN	CÓDIGO
1	SISMÓMETROS DE BANDA ANCHA	Bordoncillo	BODP
2	ACELERÓMETROS	Danta	DANP
3	TERMOCUPLAS	Danta	DANP

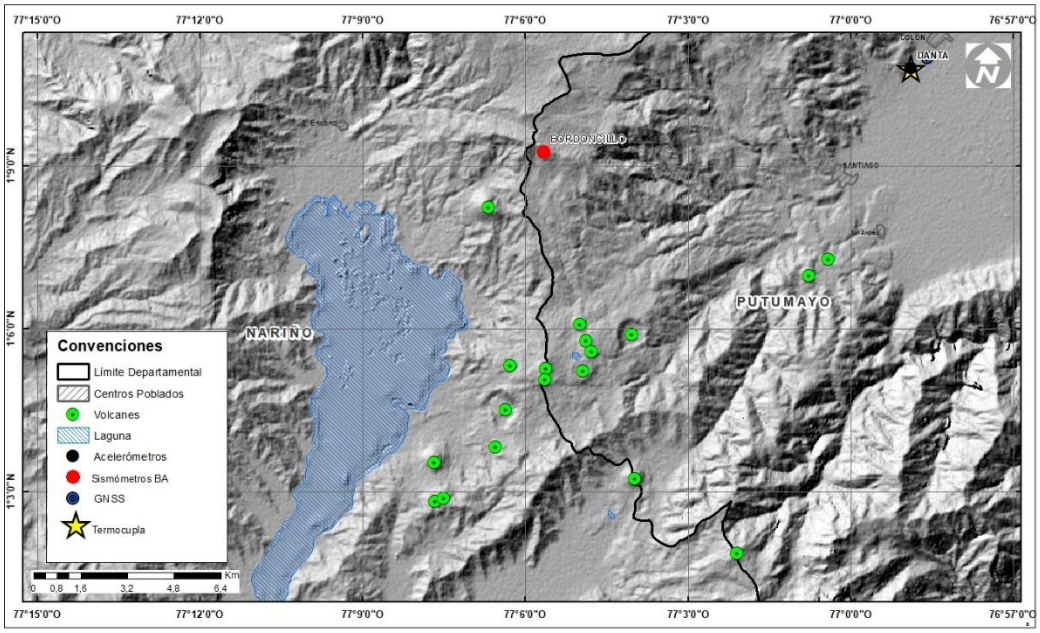


Figura 121. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico del Campo volcánico Monogenético: Guamuez- Sibundoy durante el mes de mayo de 2024

5.1.1 Funcionamiento de la red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia

El porcentaje promedio de funcionamiento de la red instrumental de vigilancia del campo volcánico Monogenético Guamuéz-Sibundoy fue del 5%. Debido a una falla en la repetidora del Bordoncillo, la estación se recupera en mantenimiento correctivo el día 30 de mayo. (Figura 122)

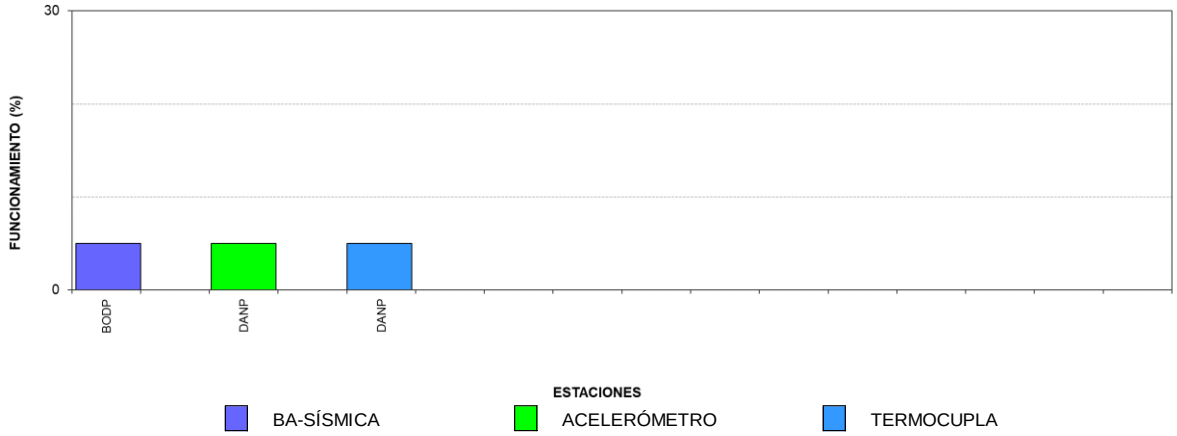


Figura 122 Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del CVMGS en mayo de 2024.

5.1.2 Deformación

5.1.2.1 InSAR

En la Figura 123, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona del campo volcánico monogenético Guamuez (Sibundoy – Putumayo) obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Para el periodo evaluado con esta técnica de procesamiento no se observa ningún patrón de deformación.

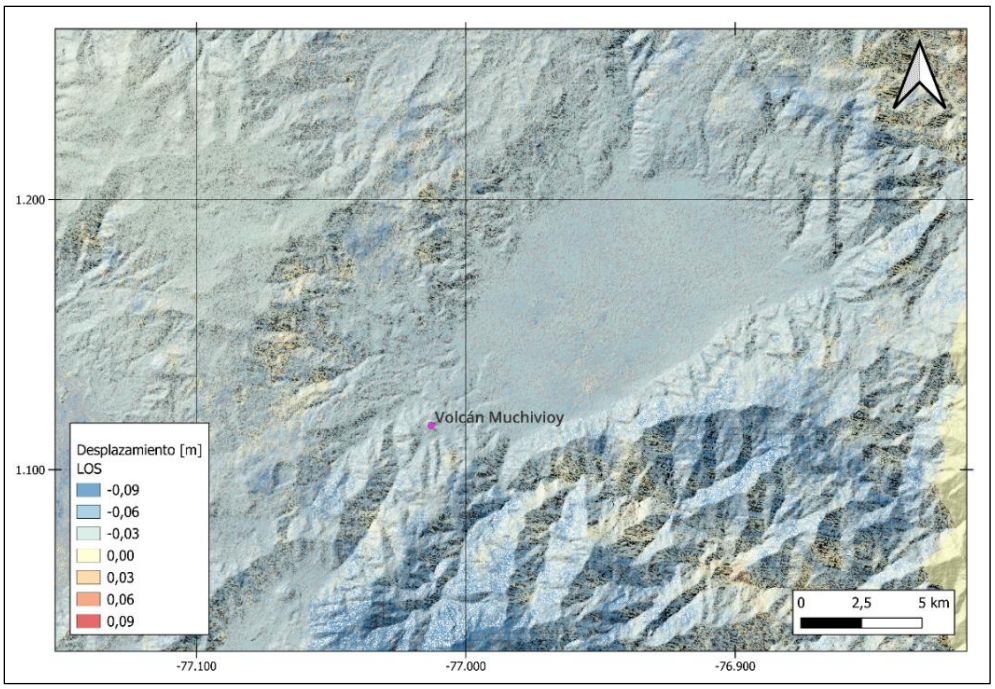


Figura 123. Desplazamientos calculados con la técnica D-InSAR para el par interferométrico del 7 y el 19 de mayo de 2024, imágenes Sentinel-1, órbita descendente. Área de influencia del campo volcánico monogenético Guamuez (Sibundoy – Putumayo).

5.2 Conclusiones

Con base en el análisis y evaluación de la información obtenida, a partir de los parámetros geofísicos, geodésicos, durante el periodo de análisis no se registraron o evidenció sismicidad proveniente del Campo volcánico Monogenético: Guamuez- Sibundoy. Para el periodo evaluado con la técnica de procesamiento InSAR no se observa ningún patrón de deformación

6 Referencias

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2024). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de abril y mayo 2024. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

Google Earth Engine. (2008). *Sentinel-5P Datasets in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google for Developers*. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p

Iskandar, D., Yamazawa, H., & Iida, T. (2004). Quantification of the dependency of radon emanation power on soil temperature. *Applied Radiation and Isotopes*, *60*(6), 971–973. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.02.003