



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

San Juan de Pasto, Abril de 2021



**El futuro
es de todos**

Minenergía

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Oscar Paredes Zapata
Director General

Marta Lucia Calvache Velasco
Dirección Técnica Geoamenazas

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

Diego Mauricio Gómez Martínez
Coordinador Grupo Trabajo Pasto

AUTORES

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

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – MARZO DE 2021	17
1.1 Red de Vigilancia	17
1.2 Sismología	23
1.3 Deformación	26
1.3.1 Inclínometría Electrónica	26
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	30
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM	33
1.4 Electromagnetismo	33
1.5 Geoquímica	37
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	37
1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo	37
1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales	39
1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales	39
1.6 Actividad Superficial	39
1.7 Conclusiones	44
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2021	45
2.1 Red de Vigilancia	45
2.2 Sismología	48
2.3 Deformación	52
2.4 Electromagnetismo	54
2.5 Geoquímica	54
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	54
2.6 Actividad Superficial	54
2.7 Conclusiones	58
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - MARZO DE 2021	58
3.1 Ubicación Geográfica	58
3.2 Red de Vigilancia	59
3.3 Sismología	62
3.4 Deformación	65
3.4.1 Inclínometría Electrónica	65
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	67
3.5 Electromagnetismo	69
3.6 Geoquímica	72
3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	72
3.6.2 Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	72

3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	72
3.7	Actividad Superficial	73
3.8	Conclusiones	73
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2021	73
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	74
4.1.1	Red de Vigilancia	74
4.1.2	Sismología	76
4.1.3	Deformación	78
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	78
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	81
4.1.4	Geoquímica	83
4.1.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	83
4.1.5	Actividad Superficial	84
4.1.6	Conclusiones	84
4.2	Actividad del Volcán Azuftral	84
4.2.1	Red de Vigilancia	84
4.2.2	Sismología	87
4.2.3	Deformación	89
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	89
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	89
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	93
4.2.4	Electromagnetismo	93
4.2.5	Geoquímica	93
4.2.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azuftral	93
4.2.5.2	Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azuftral	93
4.2.5.3	Estación térmica Mallama volcán Azuftral	94
4.2.5.4	Estación Climatológica La Roca	94
4.2.6	Actividad Superficial	95
4.2.7	Conclusiones	98
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021	19
---	----

Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021	19
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021	21
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2021	22
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	23
Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	24
Figura 7. Energía diaria liberada, de eventos sísmicos registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	25
Figura 8. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, marzo de 2021	26
Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021	27
Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021	28
Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 31 de marzo de 2021	28
Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2021	29
Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2021	29
Figura 14. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021	30
Figura 15. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	31

Figura 16. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	32
Figura 17. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	32
Figura 18. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre diciembre 2020 y marzo de 2021	34
Figura 19. Variaciones del CMT-F, en la estación de FRA (verde) y KOU (negra), para el mes de marzo de 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)	35
Figura 20. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021, comparadas con los registros de las estaciones de pluviometría MIJAP (azul)	36
Figura 21. Variaciones del CEH, en la estación FRA, para el mes de marzo, 2021 (verde), y promedio móvil de la serie temporal, que se ha graficado superpuesta a la serie temporal (amarillo)	36
Figura 22. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios para el periodo noviembre de 2020 a marzo de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	38
Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques para el periodo noviembre de 2020 a marzo de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	38
Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 4 de marzo de 2021 a las 7:13 a.m., (izquierda) y desde Barranco el día 5 de marzo de 2021 a las 6:50 a.m., (derecha)	40
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 9 de marzo de 2021 a las 3:18 p.m., (izquierda) y el día 10 de marzo de 2021 a las 5:56 a.m., (derecha)	40
Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 12 de marzo de 2021 a las 3:45 p.m., (izquierda) y el día 13 de marzo de 2021 a las 5:08 p.m., (derecha)	41
Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 14 de marzo de 2021 a las 3:14 p.m., (izquierda) y el día 15 de marzo de 2021 a las 6:37 p.m., (derecha)	41

Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 18 de marzo de 2021 a las 6:19 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 19 de marzo de 2021 a las 7:11 a.m., (derecha)	41
Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 20 de marzo de 2021 a las 6:07 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 21 de marzo de 2021 a las 2:41 p.m., (derecha)	42
Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 23 de marzo de 2021 a las 2:49 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 24 de marzo de 2021 a las 6:20 a.m., (derecha)	42
Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 26 de marzo de 2021 a las 3:48 p.m., (izquierda) y el día 27 de marzo de 2021 a las 7:55 a.m., (derecha)	42
Figura 32. Mosaico formado a partir de imágenes extraídas de un video del cono activo del volcán Galeras, presumiblemente el día 21 de marzo de 2021	43
Figura 33. Mosaico formado a partir de imágenes extraídas de un video del cono activo del volcán Galeras con fecha del 8 de junio de 2019	43
Figura 34. Comparación de los sitios de emisión, respecto a las imágenes del día 21 de marzo de 2021 (izquierda) y de junio de 2019 (derecha)	44
Figura 35. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2021	46
Figura 36. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de marzo de 2021	47
Figura 37. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2021	47
Figura 38. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	49
Figura 39. Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 14 de marzo a las 9:35 p.m., en la componente vertical de la estación Limones del CVC	50
Figura 40. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	51
Figura 41. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2021 en el CVC	52
Figura 42. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021	53

- Figura 43.** Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021 53
- Figura 44.** Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021 54
- Figura 45.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 1 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:05 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 3 de marzo de 2021 a las 12:47 p.m., (derecha) 55
- Figura 46.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 4 de marzo de 2021 a las 5:30 p.m., (izquierda) y el día 5 de marzo de 2021 a las 6:23 a.m., (derecha) 55
- Figura 47.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 9 de marzo de 2021 a las 4:59 p.m., (izquierda) y el día 11 de marzo de 2021 a las 3 03 p.m., (derecha) 55
- Figura 48.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 12 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 4:19 p.m., (izquierda) y desde Punta Vieja el día 13 de marzo a las 10:58 a.m., (derecha) 56
- Figura 49.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja el día 14 de marzo de 2021 a las 12:30 p.m., (izquierda) y desde el Boliche el día 15 de marzo de 2021 a las 6:51 p.m., (derecha) 56
- Figura 50.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 17 de marzo de 2021 a las 6:11 p.m., (izquierda) y el día 18 de marzo de 2021 a las 6:04 p.m., (derecha) 56
- Figura 51.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche el día 19 de marzo de 2021 a las 10:05 a.m., (izquierda) y el día 21 de marzo de 2021 a las 10:06 a.m., (derecha) 57
- Figura 52.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 23 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:15 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 24 de marzo a las 6:58 a.m., (derecha) 57

Figura 53. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 25 de marzo de 2021 a las 6:36 p.m., (izquierda) y el día 26 de marzo de 2021 a las 6:37 p.m., (derecha)	57
Figura 54. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 27 de marzo de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:31 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 28 de marzo a las 3:34 a.m., (derecha)	58
Figura 55. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	59
Figura 56. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de marzo de 2021	60
Figura 57. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2021	62
Figura 58. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	63
Figura 59. Energía diaria de sismos registrados entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	64
Figura 60. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2021	65
Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de marzo de 2021	66
Figura 62. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de marzo de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación	67
Figura 63. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 20 de marzo de 2021 (izq) y entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de marzo de 2021 (derecha)	68
Figura 64. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de marzo de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN	69
Figura 65. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra),	

conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	70
Figura 66. Variaciones del CMT-F, en la estación de MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de marzo de 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)	72
Figura 67. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano	74
Figura 68. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de marzo de 2021	76
Figura 69. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2021	76
Figura 70. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	77
Figura 71. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2021 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	78
Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de marzo de 2021	79
Figura 73. 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 del 2019 y el 31 de marzo de 2021	79
Figura 74. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021	80
Figura 75. 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 7 de febrero de 2019 y el 31 de marzo de 2021	81
Figura 76. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021	82

Figura 77. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base	83
Figura 78. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	83
Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufra durante el mes de marzo de 2021	85
Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufra en el mes de marzo de 2021	85
Figura 81. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante marzo de 2021	86
Figura 82. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufra, entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	88
Figura 83. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufra en marzo de 2021	88
Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021	89
Figura 85. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	90
Figura 86. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente La Roca instalada en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	91
Figura 87. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufra, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	92
Figura 88. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	93
Figura 89. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufra – marzo 2021	95
Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas el 1 de marzo de 2021 a las 7:28 a.m., (izquierda) y el 2 de marzo de	

2021 a las 8:18 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 4 de marzo de 2021 a las 9:03 a.m., (izquierda) y el 5 de marzo de 2021 a las 5:08 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 9 de marzo de 2021 a las 3:53 p.m., (izquierda) y el 10 de marzo de 2021 a las 4:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 13 de marzo de 2021 a las 1:08 p.m., (izquierda) y el 14 de marzo de 2021 a las 8:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 94. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 17 de marzo de 2021 a las 5:58 a.m., (izquierda) y el 18 de marzo de 2021 a las 1:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 95. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 19 de marzo de 2021 a las 6:53 a.m., (izquierda) y el 21 de marzo de 2021 a las 7:43 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	98
Figura 96. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 23 de marzo de 2021 a las 7:18 a.m., (izquierda) y el 27 de marzo de 2021 a las 7:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de marzo de 2021	18
Tabla 2. Inclínometros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2021	20
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2021	20
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2021	21
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	22

Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	22
Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados En Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	23
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	24
Tabla 9. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras, marzo de 2021	39
Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras, marzo de 2021	39
Tabla 11. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2021	46
Tabla 12. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	48
Tabla 13. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	50
Tabla 14. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	60
Tabla 15. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	61
Tabla 16. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	63
Tabla 17. Energía de eventos VT, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	63
Tabla 18. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2021	75
Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	77
Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de marzo de 2021	86
Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufral entre diciembre de 2020 y marzo de 2021	87
Tabla 22. Datos parámetros estación climatológica La Roca - marzo de 2021	94

RESUMEN

Para el mes de marzo y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó un ascenso en la ocurrencia sísmica, pasando de 68 a 100 eventos, de los cuales 95 sismos están asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 4 de marzo con 9 eventos. De igual forma la energía de los sismos aumento su valor cerca de 47.5 veces lo registrado en febrero, pasando de 1.11×10^{13} ergios a 5.24×10^{14} ergios. En general, los sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias de hasta 20 km, con profundidades menores a 15 km respecto a la cima y con 3.5 de magnitud local máxima, sismo registrado el 29 de marzo a las 11:12 p.m., ubicado a 14 km al suroccidente del cono activo y profundidad de 13 km, el cual se reportó sentido en Pasto, Túquerres, Imués, Guaitarilla, Guachucal, Funes, Yacuanquer, Ospina y Sandoná (Departamento de Nariño).

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico Cumbal mostró un incremento del 60.5% en comparación con febrero, con un total para este mes de 2867 eventos, donde el 72% involucran fractura al interior del volcán, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria con el 14%. La mayoría de eventos de fractura se ubicaron a menos de 3 km, en una alineación al suroriente del cráter La Plazuela, a niveles superficiales menores a 3 km respecto a la cima, las magnitudes de este tipo de eventos fueron menores a 1.2 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo disminuyo en ocurrencia un 35% lo reportado en febrero, pasando de 2784 a 1804 eventos. Los eventos VT con 1770 sismos representan el 98% del total, también se registraron 24 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP). Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 1 y 24 de marzo con 215 y 61 eventos VT, respectivamente. Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar varias fuentes sismogénicas bien definidas tanto al sur, como al suroccidente, sur-oriente y en vecindades de Cerro Negro. La magnitud local máxima fue de 3.8 en la escala de Richter, sin embargo, la mayoría de los eventos presentó magnitudes menores a 1, se resaltan los sismos ocurridos el 1 de marzo a las 3:13 a.m., 3:14 a.m. y 3:20 a.m. de magnitudes 3.8, 2.4 y 2.3 respectivamente, los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

Algunos de los sensores para el seguimiento de los cambios en superficie, continúan mostrando variaciones importantes, que vienen registrándose desde mayo de 2019.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo, mostraron disminución en el número de sismos con relación a febrero, pasando de 30 a 11 eventos, 10 asociados con fractura de roca. La mayoría de esta sismicidad se ubicó hacia el suroccidente del volcán Las Ánimas a distancias entre 4.5 y 6 km, con profundidades entre 1 y 13.5 km con respecto a la cima de Las Ánimas y con ML máxima de 1.3 Richter.

Dentro de niveles bajos, en marzo la sismicidad del volcán AzufraI, tuvo un leve incremento del 4.2% su número, pasando de 48 a 50 eventos en relación a febrero, de los cuales 41 de ellos están asociados con fractura de roca. Fue posible localizar 12 sismos, ubicados de manera dispersa, en distancias menores a 12.5 km, resaltando el sismo registrado el 29 de marzo a las 7:25 p.m., ubicado a 5.1 km al suroriente del cono activo, con profundidad de 16 km y con magnitud local de 4.1 en la escala de Richter, el cual se reportó sentido en Túquerres, El Espino y Guachucal (Departamento de Nariño).

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de marzo de 2021, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Azufral, Doña Juana y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – MARZO DE 2021

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de marzo de 2021 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Diecisiete estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de corto periodo y quince de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Seis sensores de infrasonido (Figura 1, Tabla 1).
- Cuatro cámaras de video telemétricas para registro de la actividad superficial, una instalada en la sede del OVSP, otra en la población de Consacá al occidente, otra al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Doce estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital) telemétricas (Figura 2, Tabla 3).
- Cinco bases de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Dos estaciones para monitoreo y seguimiento térmico Paisita y Deformes.
- Dos estaciones telemétricas para monitoreo de flujos de lodos, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 2).
- Tres estaciones ScanDOAS telemétricas para detección de dióxido de azufre (SO₂) (Figura 3, Tabla 4).
- Sensor de CO₂ Parques.
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Deformes, Frailejón y Barranco y dos estaciones de medición de campo eléctrico en Frailejón y Barranco (Figura 3, Tabla 5).

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

La red instrumental telemétrica de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 82 % (Figura 4).

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

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

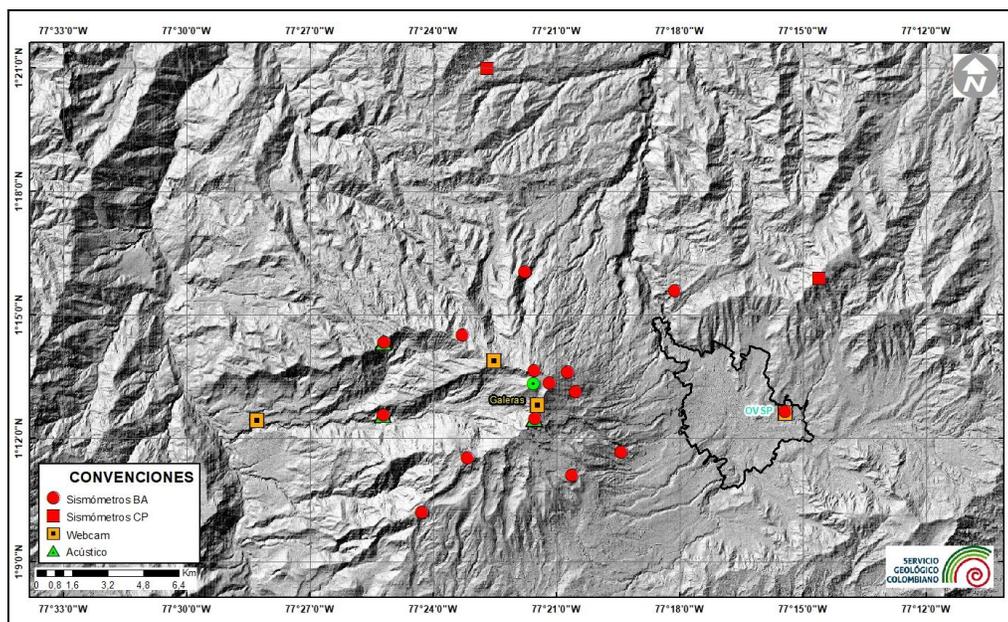


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021

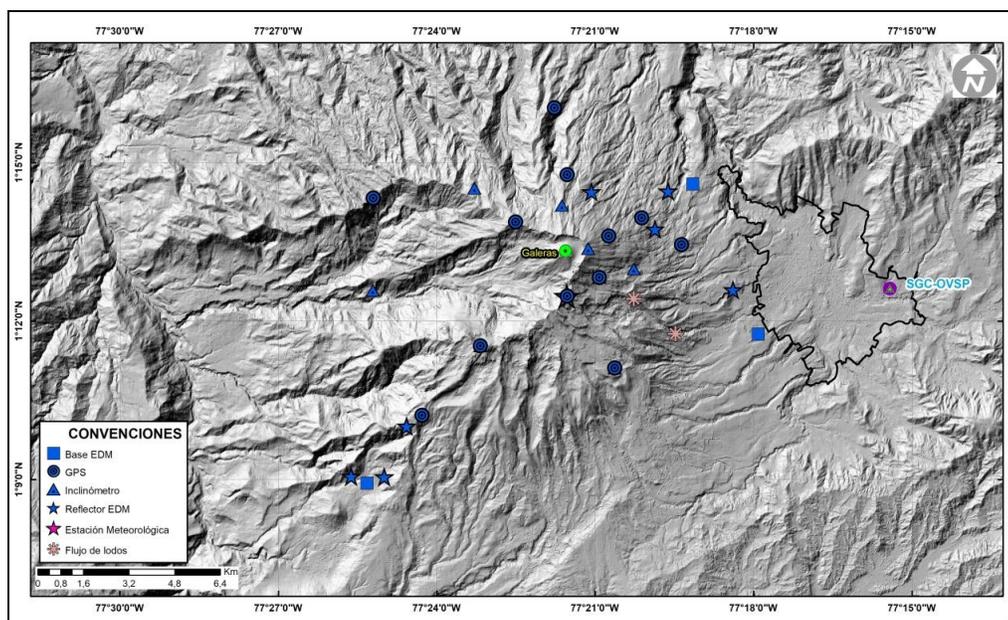


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021

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

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

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2021

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

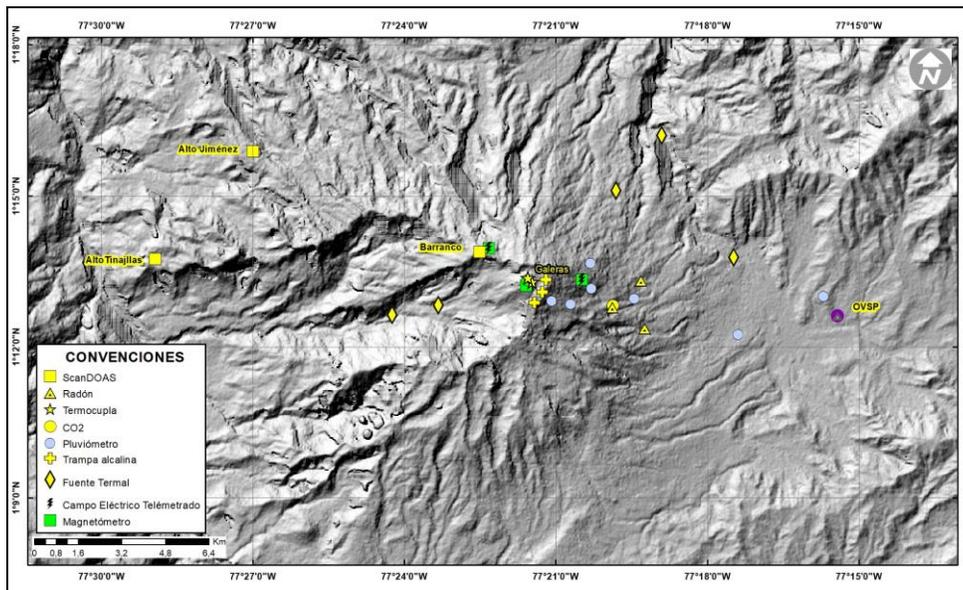


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2021

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

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

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

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

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

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

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

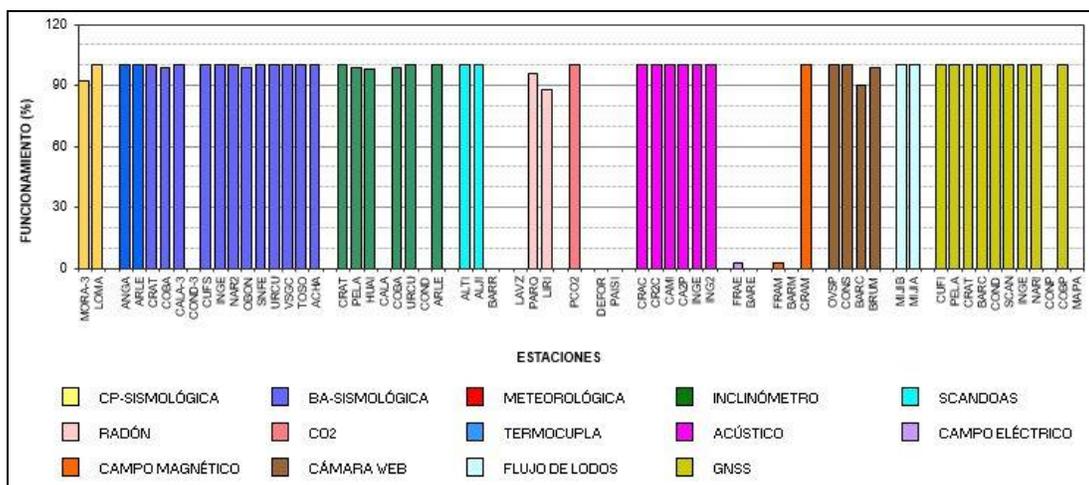


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2021

1.2 Sismología

En marzo de 2021 la sismicidad volcánica aumentó en un 47.1%, pasando de 68 a 100 eventos, en comparación con febrero de 2021. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 95 sismos que representan el 95% del total. La sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) registró 1 evento que representa el 1% y se registró 4 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que representan el 4% del total. No se tuvo registro de episodios que involucran fractura de roca seguida por tránsito de fluidos o de tipo híbrido (HIB) ni de tremor o eventos de fluidos de fuente permanente (TRE). Los sismos de tipo VT aumentaron su número en un 39.7%, pasando de 68 a 95 eventos; los sismos de tipo LP permanecieron constantes en número. El pico de ocurrencia sísmica diaria se registró el 4 de marzo contabilizando 9 sismos (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados En Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	98	1	0	0	3	102
01-ene-21 a 31-ene-21	107	2	0	1	5	115
01-feb-21 a 28-feb-21	68	0	0	0	0	68
01-mar-21 a 31-mar-21	95	1	0	0	4	100

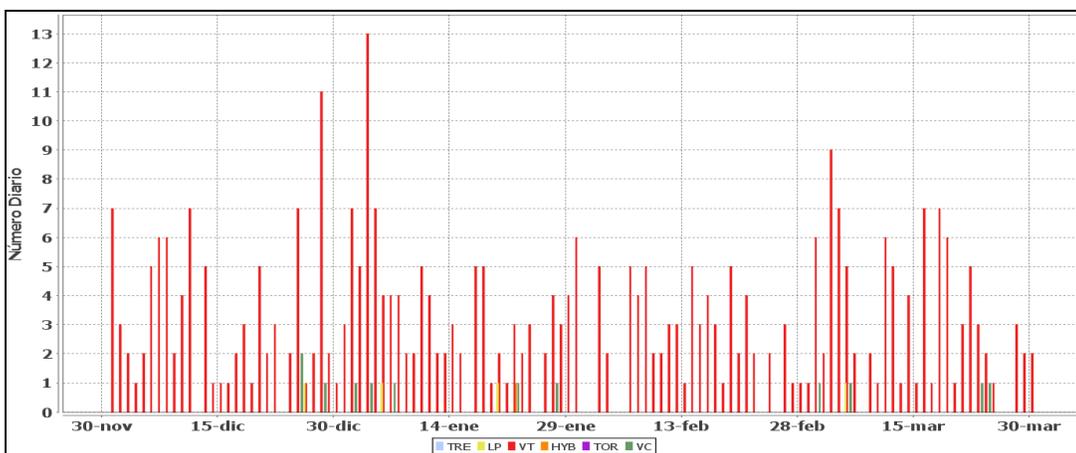


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

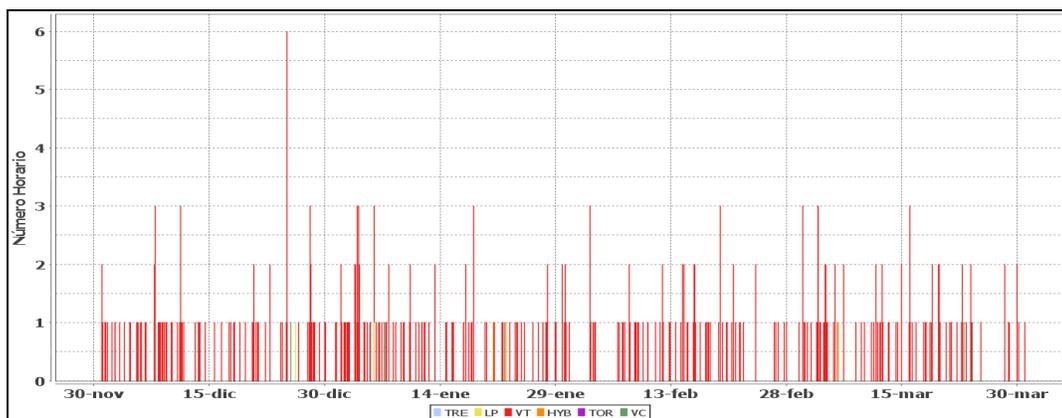


Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

La energía sísmica liberada marzo de 2021 aumentó en 47.5 veces, pasando de 1.11×10^{13} ergios a 5.245×10^{14} ergios, en comparación con lo registrado en febrero. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 99.98% de la energía sísmica del mes. El pico energético del mes se registró el 29 de marzo con 5.21×10^{14} ergios (Tabla 8, Figura 7).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	
01-dic-20 a 31-dic-20	4.16E+15	1.45E+10	0.00E+00	0.00E+00	1.10E+11	4.16E+15
01-ene-21 a 31-ene-21	3.88E+14	6.91E+09	0.00E+00	2.48E+10	3.30E+10	3.88E+14
01-feb-21 a 28-feb-21	1.11E+13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+13
01-mar-21 a 31-mar-21	5.25E+14	4.66E+09	0.00E+00	0.00E+00	7.65E+10	5.25E+14

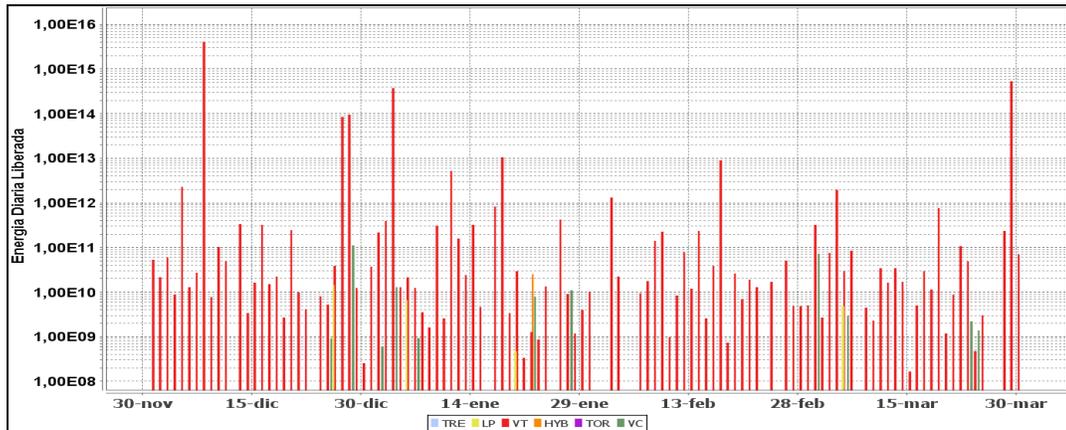


Figura 7. Energía diaria liberada, de eventos sísmicos registrados en Galeras entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

Se localizaron 56 sismos de tipo VT que se ubicaron dispersos alrededor del edificio volcánico, a distancias entre 0.1 y 20 km respecto del cráter principal, con profundidades menores a 15 km respecto a la cima (nivel de referencia sobre los 4270 m.s.n.m.) y magnitud local máxima de 3.5 en la escala de Richter. Se resalta el sismo registrado el 29 de marzo a las 11:12 p.m., que fue ubicado a 14 km al suroccidente del cono activo, con profundidad de 13 km y con magnitud local de 3.5 en la escala de Richter, el cual se reportó sentido en Pasto, Túquerres, Imués, Guaitarilla, Guachucal, Funes, Yacuanquer, Ospina y Sandoná. Por su magnitud, este fue el sismo que aportó la mayor cantidad de energía del mes (Figura 8).

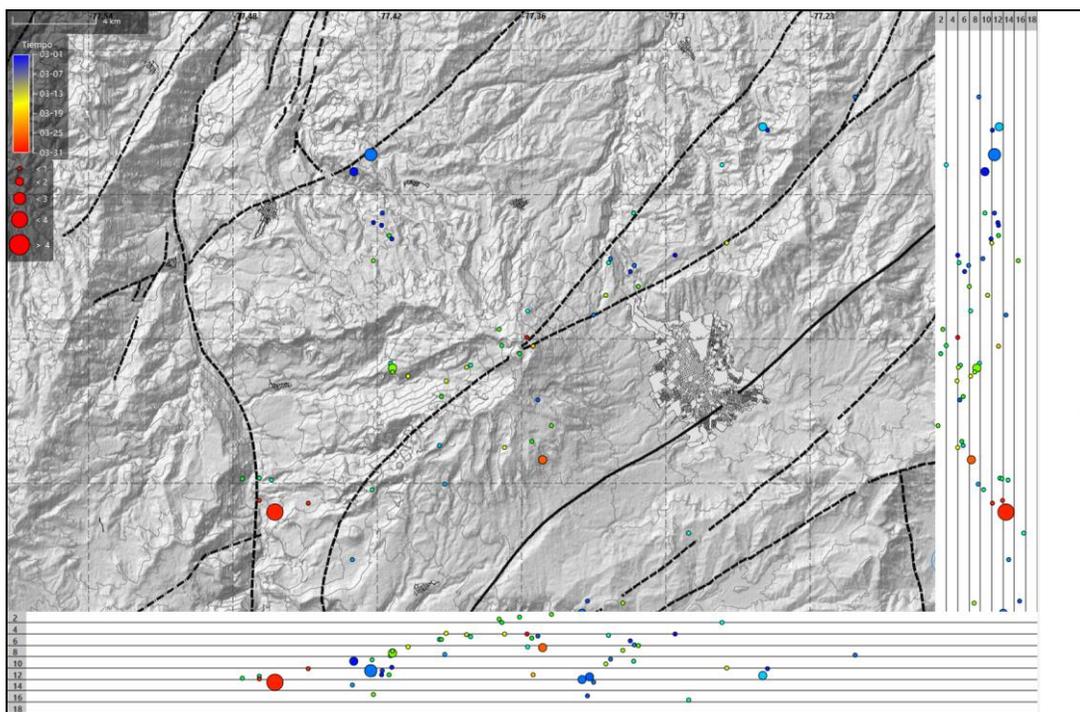


Figura 8. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, marzo de 2021

1.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas; el inclinómetro y el GNSS Córdor - Pasto están por fuera desde el 4 de agosto de 2020, el GNSS Mapachico desde el 30 de agosto de 2020 y el inclinómetro Calabozo desde el 13 de marzo de 2021.

1.3.1 Inclinometría Electrónica

Para los últimos meses, se mantiene el comportamiento estable en las componentes de inclinación de las estaciones Huairatola, Arlés y Urcunina, con variaciones diarias que pueden estar asociadas con los cambios de temperatura ambiente (Figuras 9, 10 y 11).

Continúa la leve tendencia ascendente en las componentes de inclinación de Peladitos, comportamiento que es más evidente en la componente Radial (Figura 12); entre mayo de 2011 y abril de 2016 se reporta para la componente Radial 48 μrad , y para la componente tangencial se tiene un comportamiento estable. Entre abril de 2016 y

hasta la fecha se tiene en la componente Radial un cambio de unos 16 μrad y en la Tangencial de 6 μrad .

En cuanto al inclinómetro Cobanegra (Figura 13), continúa el comportamiento ascendente en la componente Este, acumulando desde mediados del 2015 y hasta la fecha unos 110 μrad . La componente Norte tiene una tendencia descendente que para el mismo periodo tiene un acumulado de 270 μrad de variación.

Con respecto al inclinómetro Cráter, luego de ese fuerte cambio ascendente en la componente Radial con fecha de inicio el 21 de septiembre de 2020, se observa un leve descenso en sus dos componentes (Figura 14).

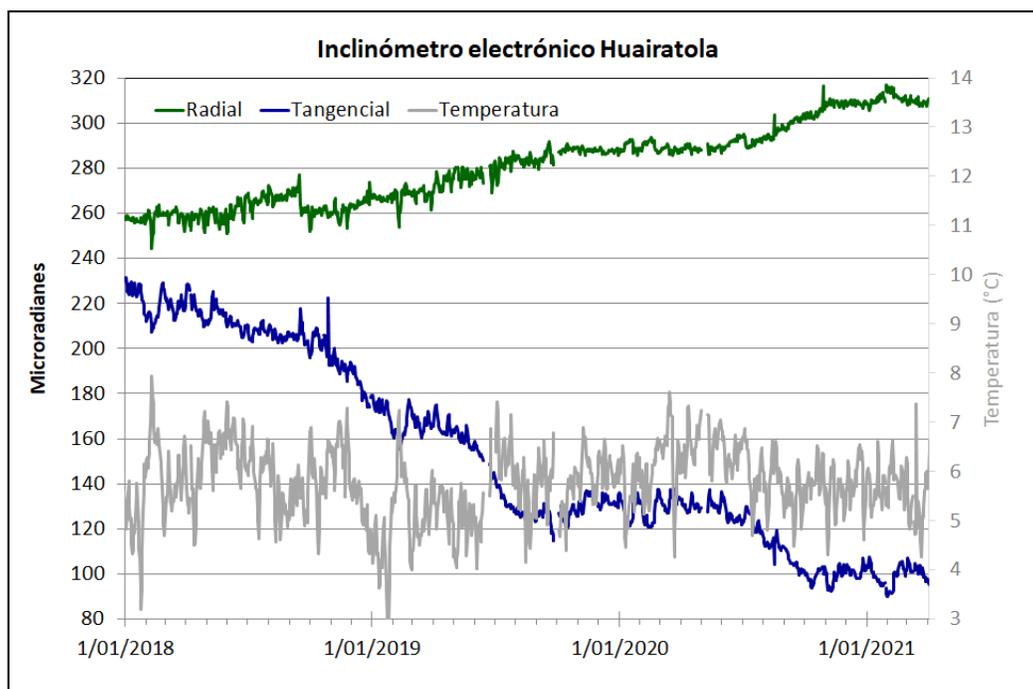


Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

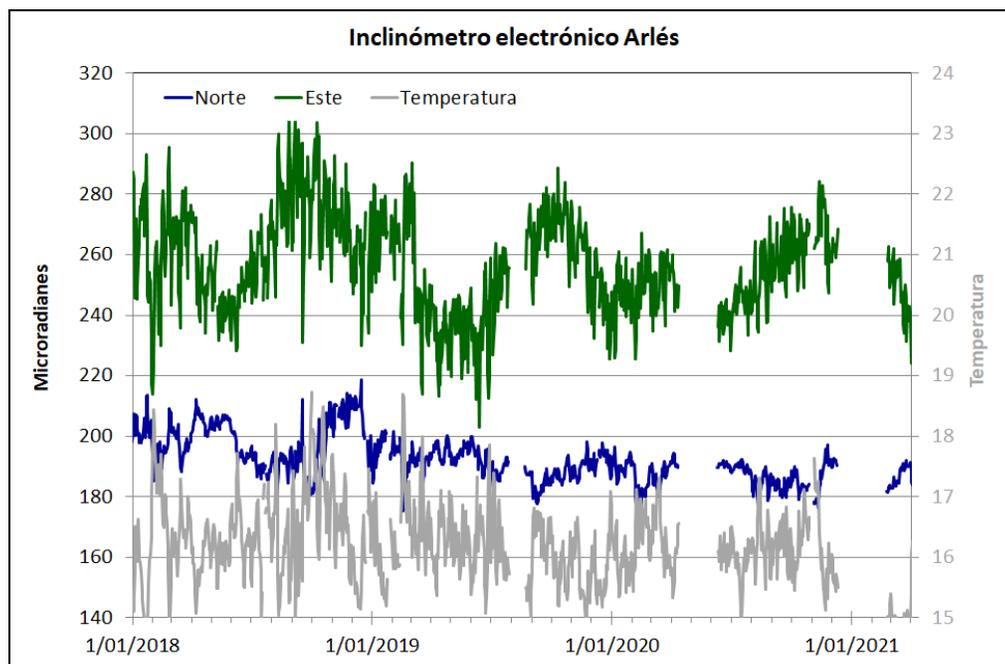


Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

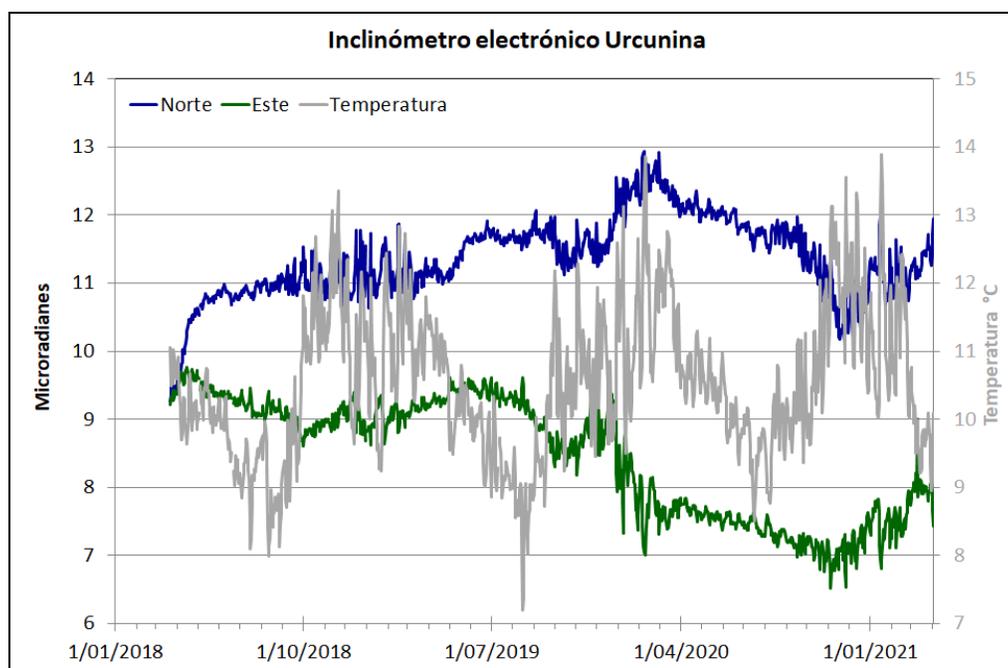


Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 31 de marzo de 2021

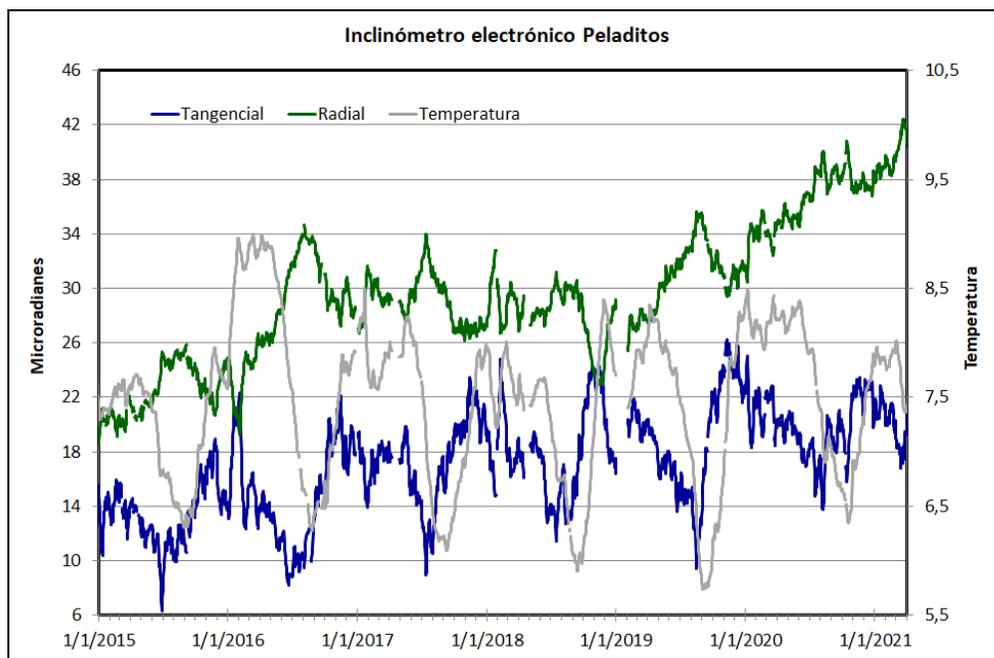


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2021

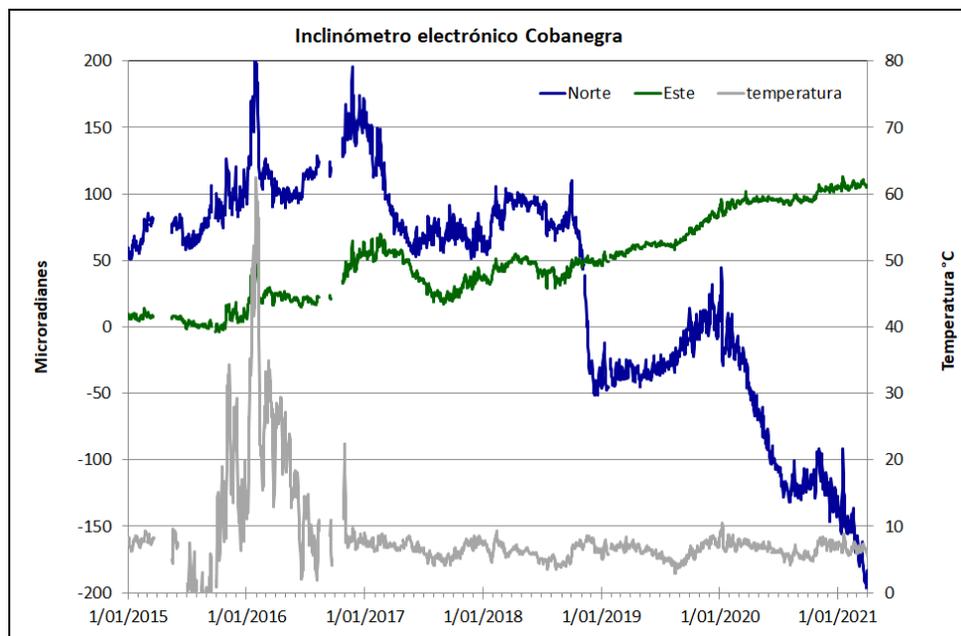


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2021

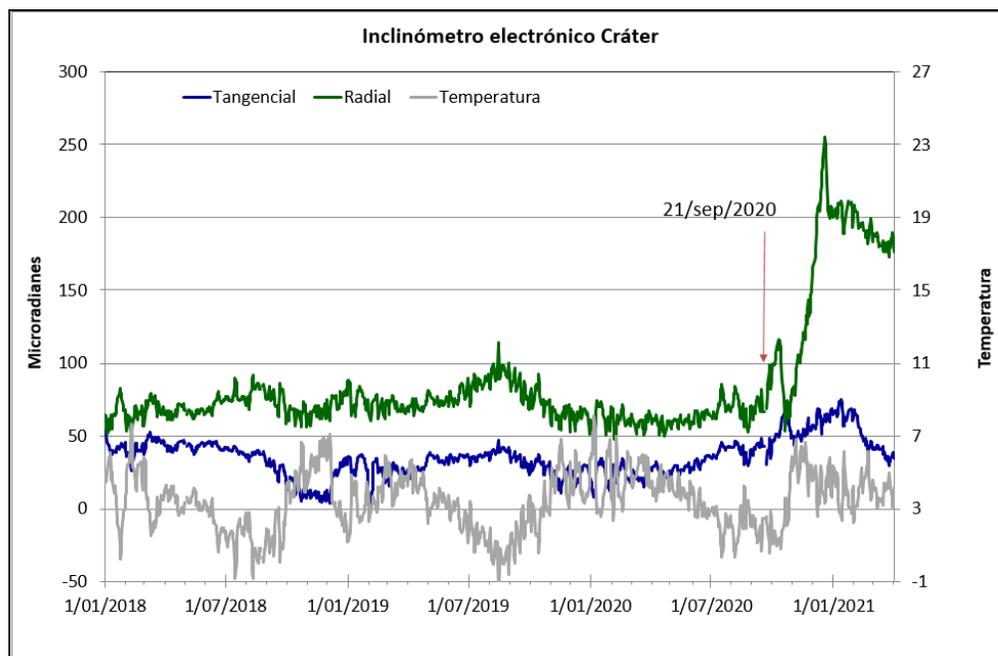


Figura 14. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

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

En general, en la red de GNSS de Galeras, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 15, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra.

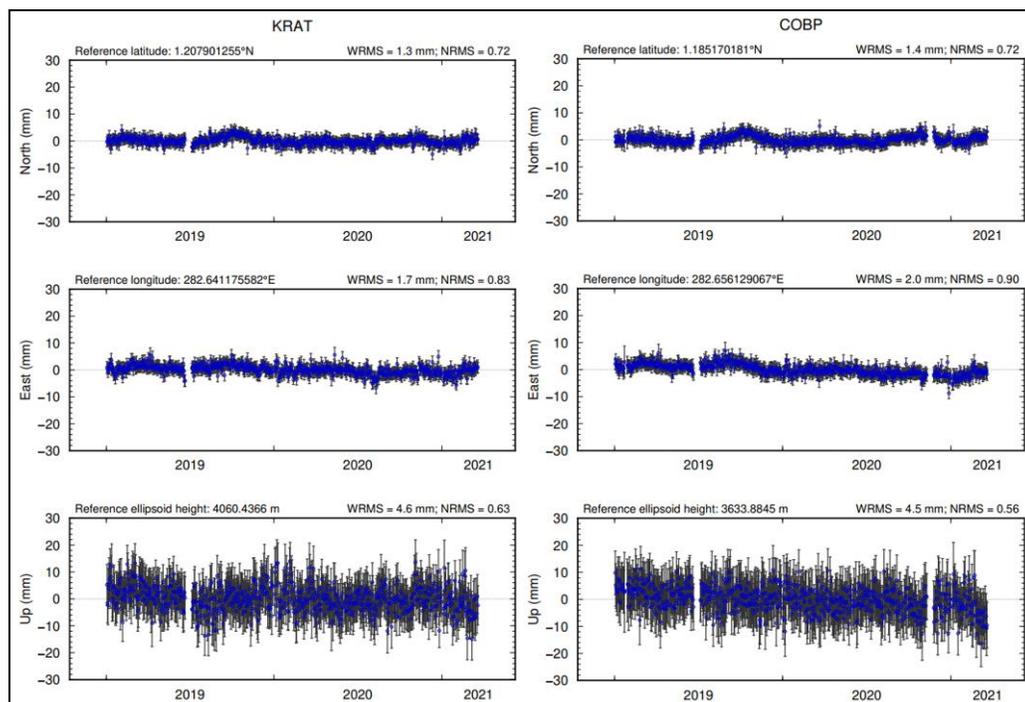


Figura 15. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 16, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 17, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

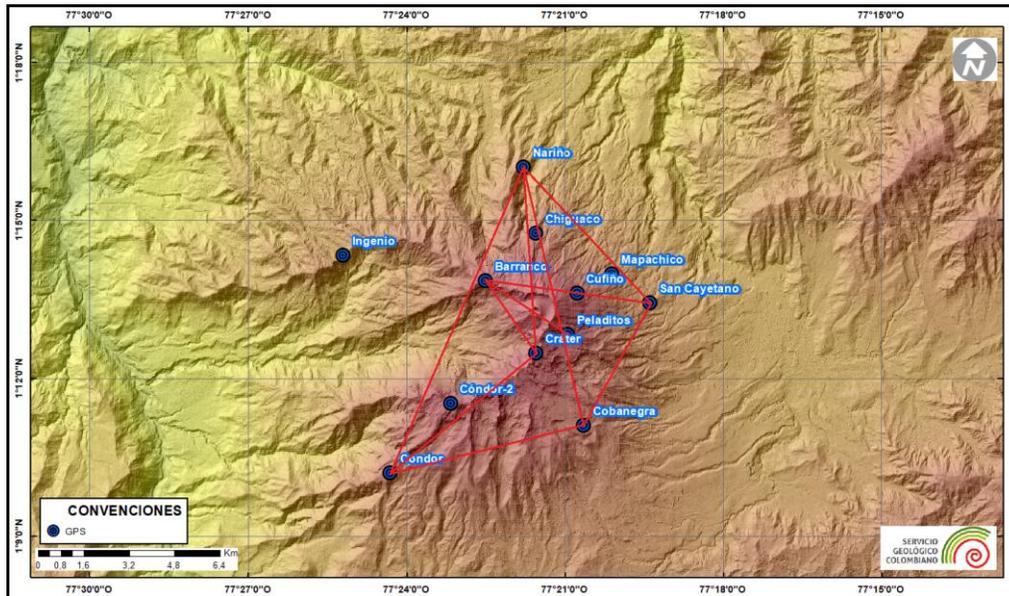


Figura 16. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

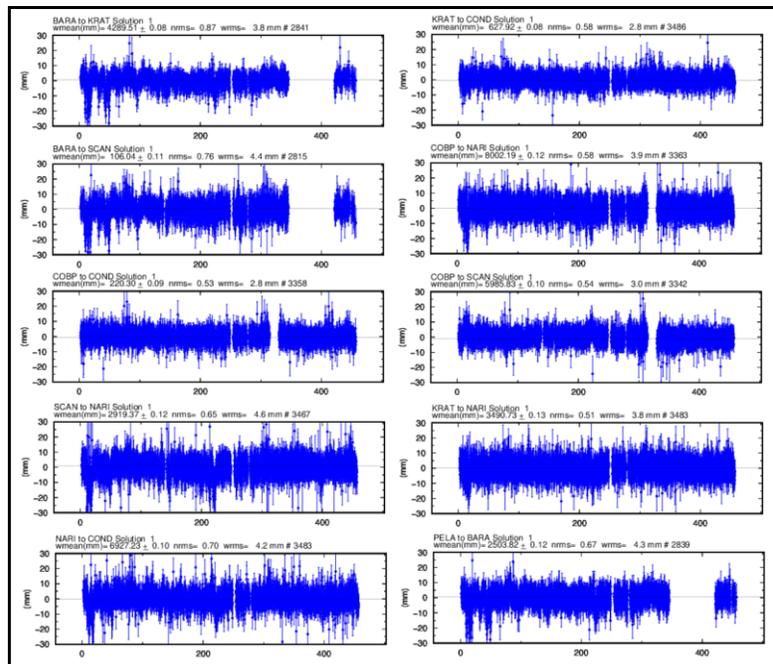


Figura 17. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

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

1.4 Electromagnetismo

Para el mes de marzo de 2021, las estaciones de monitoreo de variaciones del campo eléctrico y magnético, denominadas Frailejón, ubicada en la zona de influencia del volcán Galeras, funcionaron solamente hasta el día 5 de marzo de 2021; debido a la ocurrencia de tormentas eléctricas en la zona de Galeras que afectó el funcionamiento de sensores, equipos de digitalización o transmisión de señal. Luego de una primera revisión de los equipos en campo, fue necesario retirarlos para realizar un diagnóstico más eficiente y posible mantenimiento correctivo en oficina.

Entre diciembre 2020 y los primeros días de marzo de 2021, las variaciones del Campo Magnético Terrestre Total (F) (CMT-F), en la zona de influencia del volcán Galeras, en la estación Frailejón (FRA), (Figura 18), mostró una tendencia ligeramente descendente. El CMT-F en FRA, es de alrededor de 28.320 nT, y para marzo, las variaciones diarias máximas fueron de alrededor de 100 nT. Adicionalmente, los registros resaltan principalmente las variaciones seculares con periodos de entre 25 a 30 días, y periodos más cortos de: un día, 12 horas y ocho horas. Se presentaron también registros con frecuencias mayores, asociadas a eventos magnéticos externos, generados por tormentas geomagnéticas, que al llegar a las inmediaciones del Campo Magnético de la Tierra afectan los registros de la estación tanto en amplitud como en frecuencia. Este es el caso del registro del 2 de marzo de 2021, cuando se presentaron tormentas geomagnéticas de índice kp 5, que incrementaron la amplitud de las variaciones del CMT diarias, llegando a un calor de 100 nT.

La estación Kourou (KOU), se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cerca de la zona de estudio, a una latitud muy próxima a la zona de los volcanes de Nariño. Al comparar los registros en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras y Kourou, se resaltan las variaciones similares en ambos registros (al menos, durante los cinco primeros días que se pueden comparar), que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de fenómenos magnéticos como las tormentas geomagnéticas; principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 3 (Figuras 18 y 19). Al igual que la estación FRA, KOU tuvo un comportamiento ligeramente descendente durante el periodo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021.

Los valores de predicción de tormentas geomagnéticas de tipo Kp, se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 18).

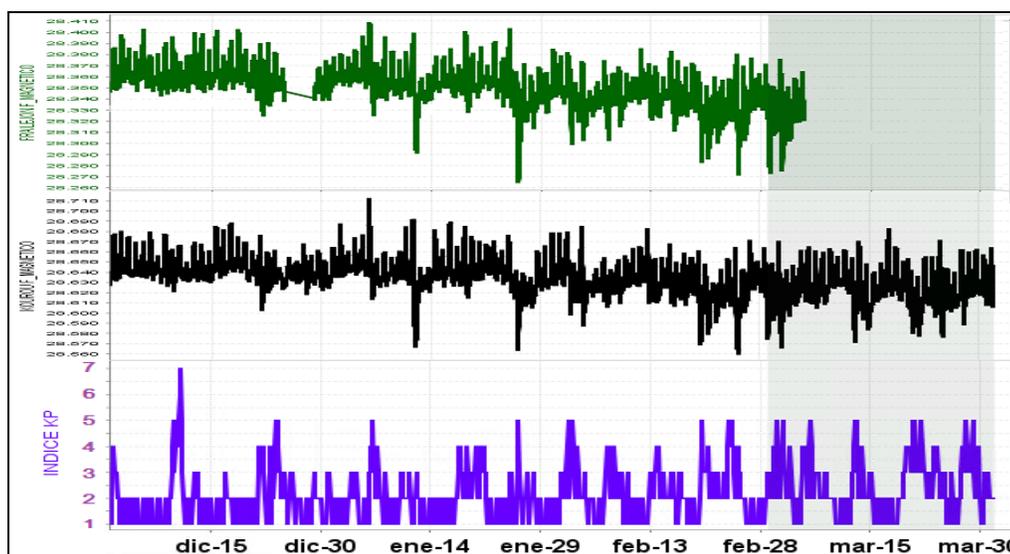


Figura 18. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Período comprendido entre diciembre 2020 y marzo de 2021

Para el mes de marzo de 2021, el valor promedio del campo magnético, en FRA, fue de alrededor de 28.320 nT, con una variación diaria máxima de 100 nT, en tanto que para KOU, el valor promedio para el mes de marzo de 2021, fue de alrededor de 28.630 nT, con variación máxima diaria de alrededor de 105 nT/día (Figura 19).

En marzo de 2021, las tormentas geomagnéticas tuvieron índices de intensidad Kp, entre 1 y 5. Entre las mayores perturbaciones del campo magnético que se presentaron, se relacionan los días cuando los índices Kp fueron iguales a 5, aun cuando, se presentaron los máximos cambios durante tormentas que tuvieron índices Kp persistentes en valor de 3, como sucedió entre los días 1 y 2 de marzo de 2021 (Figura 19).

Tomando los valores de promedio móvil diario, para cada una de las series temporales del CMT-F, (Figura 19), que corresponden a las series de tiempo en amarillo, tanto en FRA como en la estación de referencia KOU, se disminuyen los efectos de las variaciones seculares día-noche (24 horas) y se obtuvo el comportamiento local de los campos magnéticos. Para la estación FRA se calculó una variación total en los cinco

días del mes de alrededor de 30 nT, siendo la variación máxima la del día 4, de alrededor de ~ 14 nT, que se incrementa debido al incremento en las tormentas geomagnéticas, pues los demás días, las variaciones diarias máximas son menores a 10 nT (Figura 19). Para la estación de referencia KOU, las variaciones diarias máxima son las del día 20 de marzo, con un valor de alrededor de 30 nT, debido tanto a las tormentas geomagnéticas regulares, como a tormentas súbitas ocurrida el día 20 de marzo, las variaciones diarias promedio, para KOU estuvieron por debajo de los 10 nT (Figura 19).

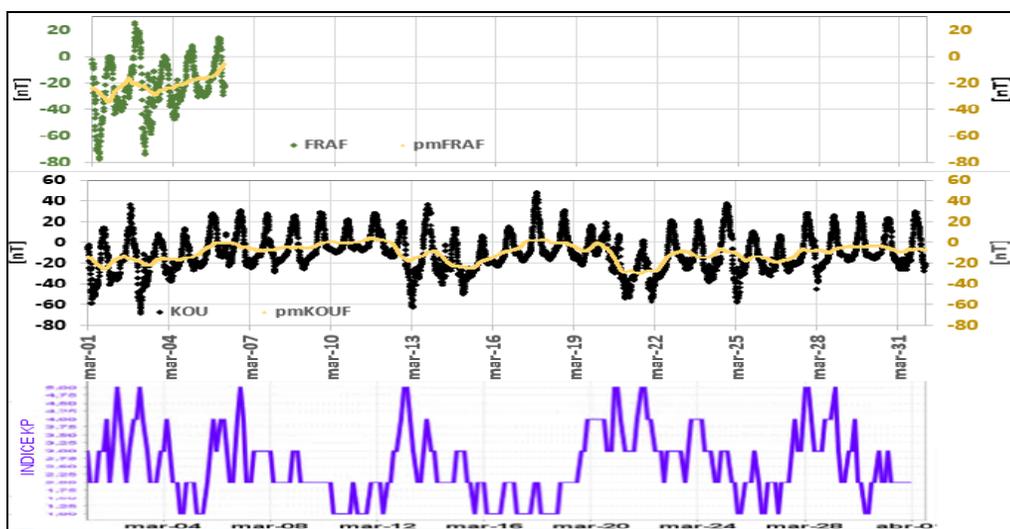


Figura 19. Variaciones del CMT-F, en la estación de FRA (verde) y KOU (negra), para el mes de marzo de 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)

El comportamiento de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de monitoreo en Galeras, FRA, para el periodo entre, diciembre de 2020 y los cinco primeros días del mes de marzo de 2021 (Figura 20), mostró una tendencia descendente de alrededor de 40 mV.

En la zona de influencia del volcán Galeras se han instalado dos pluviómetros, Mijitayo Alto (MJAP-magenta), ubicado en la parte alta del volcán y el segundo Mijitayo Bajo (MIJB-azul), ubicado a media montaña; los cuales permiten medir la cantidad de lluvia generada en la zona volcánica. En marzo, el acumulado en MJAP, fue de alrededor de 82,4 mm y para MIJB fue de alrededor de 216.4 mm. En general, las lluvias fueron intensas en la zona de Galeras durante el mes de marzo de 2021 y especialmente, los

días de registro se observa que las variaciones del CEH están muy correlacionadas con el incremento del régimen de lluvias observado en la zona (Figura 20).

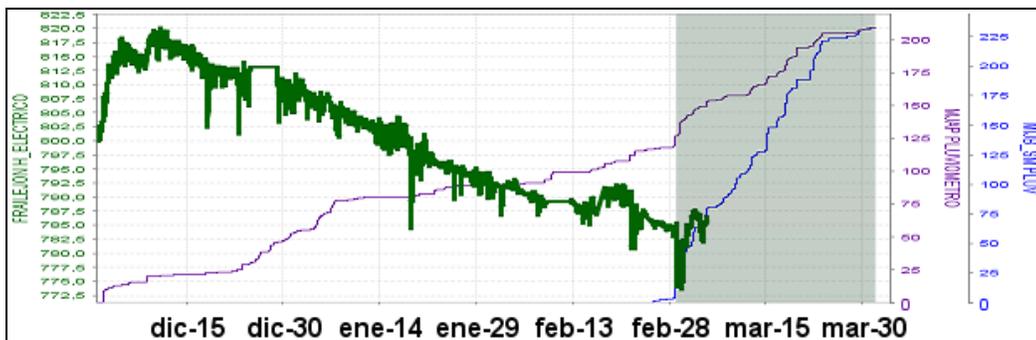


Figura 20. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021, comparadas con los registros de las estaciones de pluviometría MIJAP (azul)

El promedio móvil para los primeros cinco días de marzo, 2021, correspondiente a la serie temporal del CEH, (series de tiempo en amarillo) (Figura 21), muestra una tendencia ascendente, con un máximo diario de alrededor de 10 mV, que se asocia perfectamente con el ascenso observado en los pluviómetros para esas fechas. Los otros días se muestran variaciones de hasta 5 mV.

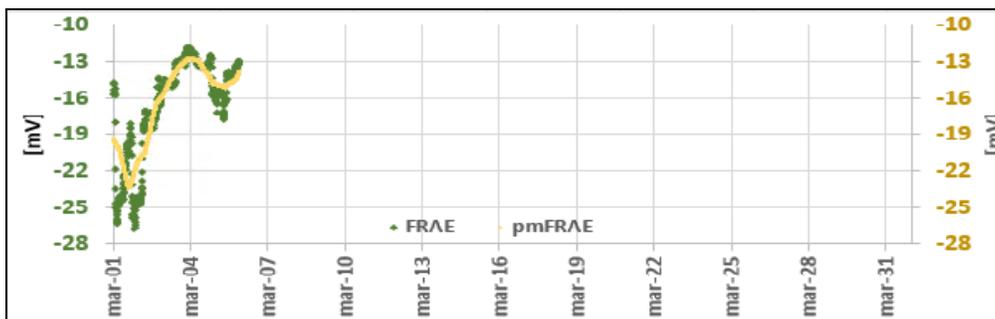


Figura 21. Variaciones del CEH, en la estación FRA, para el mes de marzo, 2021 (verde), y promedio móvil de la serie temporal, que se ha graficado superpuesta a la serie temporal (amarillo)

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

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

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

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Lirios en la Figura 22 y en la Figura 23 para la estación de Parques, los valores de promedio, máximo y mínimo de la concentración se muestran en la Tabla 9 para Lirios y Tabla 10 para Parques.

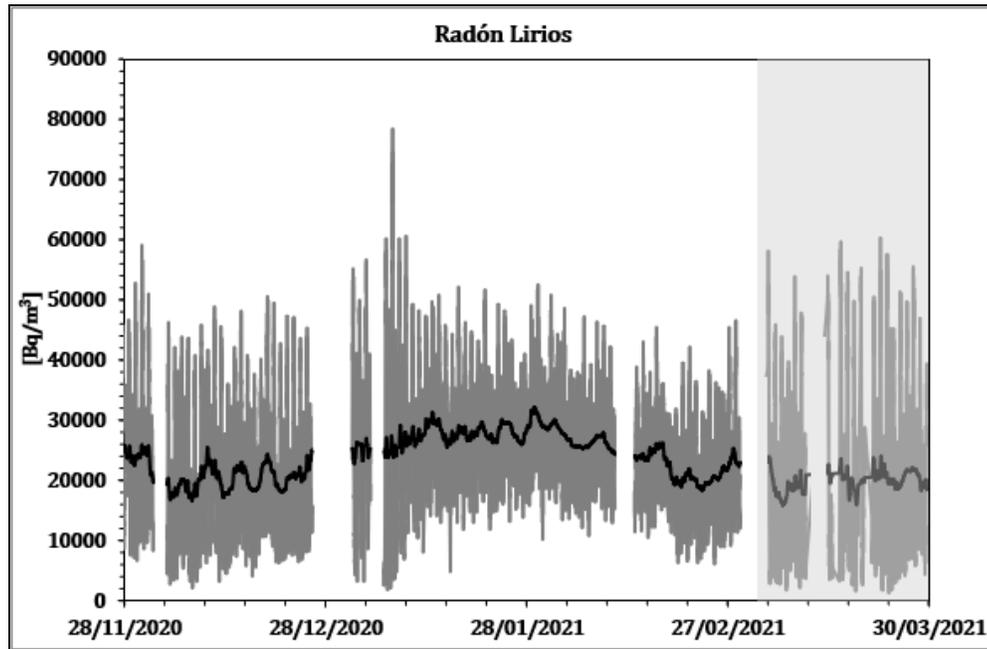


Figura 22. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios para el periodo noviembre de 2020 a marzo de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

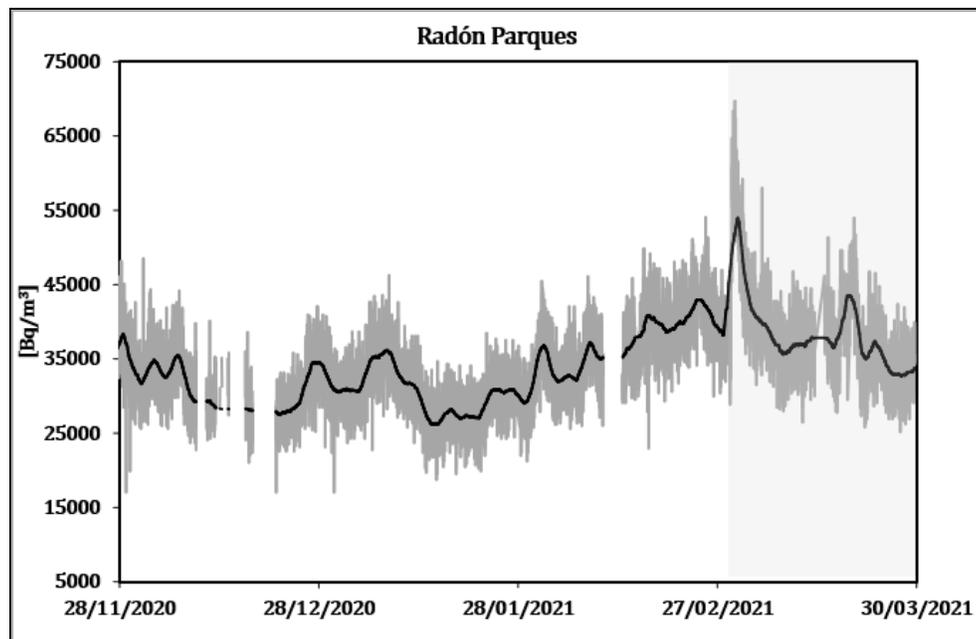


Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques para el periodo noviembre de 2020 a marzo de 2021 (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

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

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

Tabla 9. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras, marzo de 2021

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Mínimo	1263
Promedio	19892
Máximo	60339

Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras, marzo de 2021

Valor	Parques [Bq/m ³]
Mínimo	25112,8
Promedio	38551,3
Máximo	69748,0

1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

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

1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

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

1.6 Actividad Superficial

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

Durante los días 4, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26 Y 27 del mes de marzo de 2021, se observó emisión de gases desde las cámaras web de Barranco y Bruma.

Los principales focos de emisión se ubican en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita al norte del cono activo y el cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico, son columnas de color blanco, poca altura y dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 24 a 34 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 4 de marzo de 2021 a las 7:13 a.m., (izquierda) y desde Barranco el día 5 de marzo de 2021 a las 6:50 a.m., (derecha)



Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 9 de marzo de 2021 a las 3:18 p.m., (izquierda) y el día 10 de marzo de 2021 a las 5:56 a.m., (derecha)



Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 12 de marzo de 2021 a las 3:45 p.m., (izquierda) y el día 13 de marzo de 2021 a las 5:08 p.m., (derecha)



Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco para el día 14 de marzo de 2021 a las 3:14 p.m., (izquierda) y el día 15 de marzo de 2021 a las 6:37 p.m., (derecha)

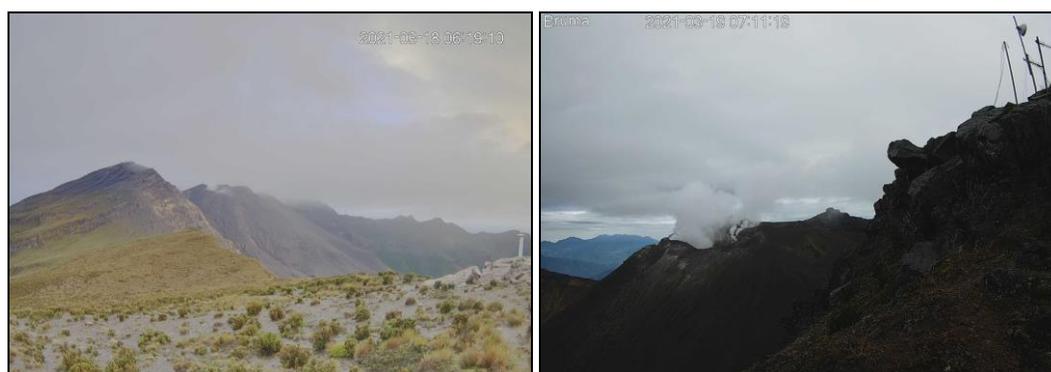


Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 18 de marzo de 2021 a las 6:19 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 19 de marzo de 2021 a las 7:11 a.m., (derecha)



Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco para el día 20 de marzo de 2021 a las 6:07 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 21 de marzo de 2021 a las 2:41 p.m., (derecha)



Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma para el día 23 de marzo de 2021 a las 2:49 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 24 de marzo de 2021 a las 6:20 a.m., (derecha)



Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 26 de marzo de 2021 a las 3:48 p.m., (izquierda) y el día 27 de marzo de 2021 a las 7:55 a.m., (derecha)

Las Figura 32 y 33 se muestran fotomosaicos (formado por varias imágenes) generados a partir de imágenes de videos del Volcán Galeras correspondiente presumiblemente al día 21 de marzo del 2021 (Figura 32) y la Figura 33, correspondiente a la fecha el 8 de junio de 2019.

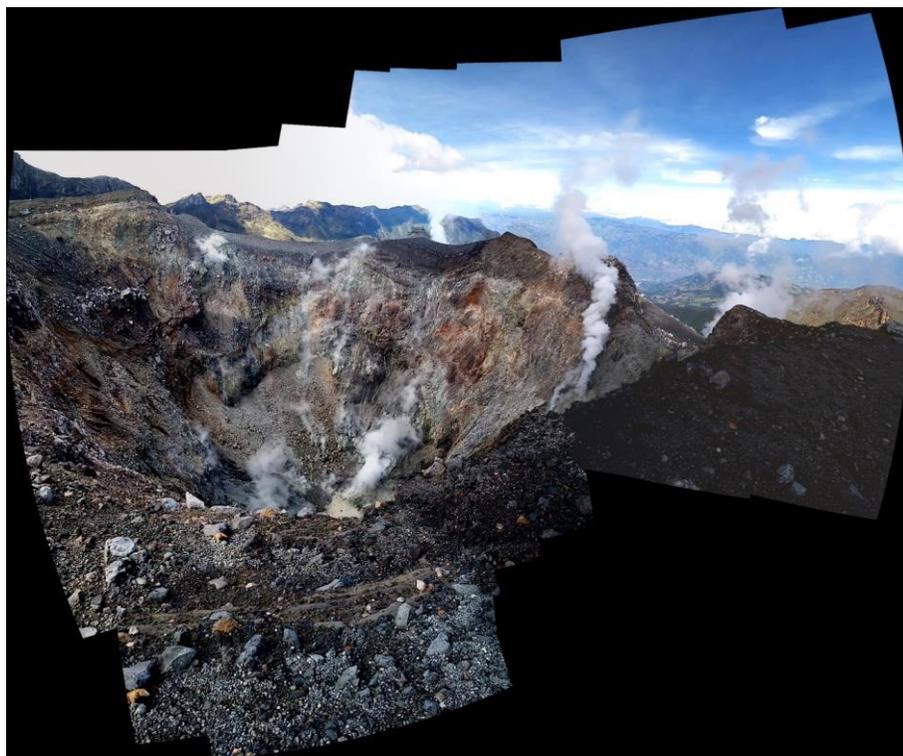


Figura 32. Mosaico formado a partir de imágenes extraídas de un video del cono activo del volcán Galeras, presumiblemente el día 21 de marzo de 2021



Figura 33. Mosaico formado a partir de imágenes extraídas de un video del cono activo del volcán Galeras con fecha del 8 de junio de 2019

Al realizar un análisis comparativo se puede observar que las dos imágenes señalan el nor-occidente del cráter del volcán Galeras, mostrando las paredes internas de este cráter. En las imágenes, se observan procesos de desgasificación a partir de focos similares de emisión; en la imagen de la Figura 32, las plumas de emisión se encuentran más definidas posiblemente debido a las condiciones del viento que en la imagen de la Figura 33. En la Figura 32 se puede apreciar una mayor parte del fondo del cráter en donde alcanza a observarse algunos procesos de desgasificación no siendo tan claro como en la imagen de la Figura 33.

En la Figura 34 se resalta algunos focos similares de emisión entre las dos imágenes, estos se encuentran señalados mediante flechas de color amarillo.



Figura 34. Comparación de los sitios de emisión, respecto a las imágenes del día 21 de marzo de 2021 (izquierda) y de junio de 2019 (derecha)

1.7 Conclusiones

- En marzo de 2021, en el volcán Galeras se registró un incremento tanto en ocurrencia, como en la energía sísmica liberada en comparación con el mes anterior, cuyo mayor aporte provino de la sismicidad tipo VT, asociada con fractura de roca al interior del volcán. Se resalta el sismo registrado el 29 de marzo a las 11:12 p.m., con magnitud local 3.5 en la escala de Richter y que se reportó sentido en Pasto, Túquerres, Imués, Guaitarilla, Guachucal, Funes, Yacuanquer, Ospina y Sandoná.
- El radón emitido y registrado en marzo de 2021, se encuentra dentro de la línea base registrada para este volcán.

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

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2021

2.1 Red de Vigilancia

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

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 35, Tabla 11).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 35).
- Tres cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal, otra en el sitio de la estación Punta Vieja y en el sector del Boliche (Figura 35).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 36, Tabla 11).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 83 % (Figura 37).

Tabla 11. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2021

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

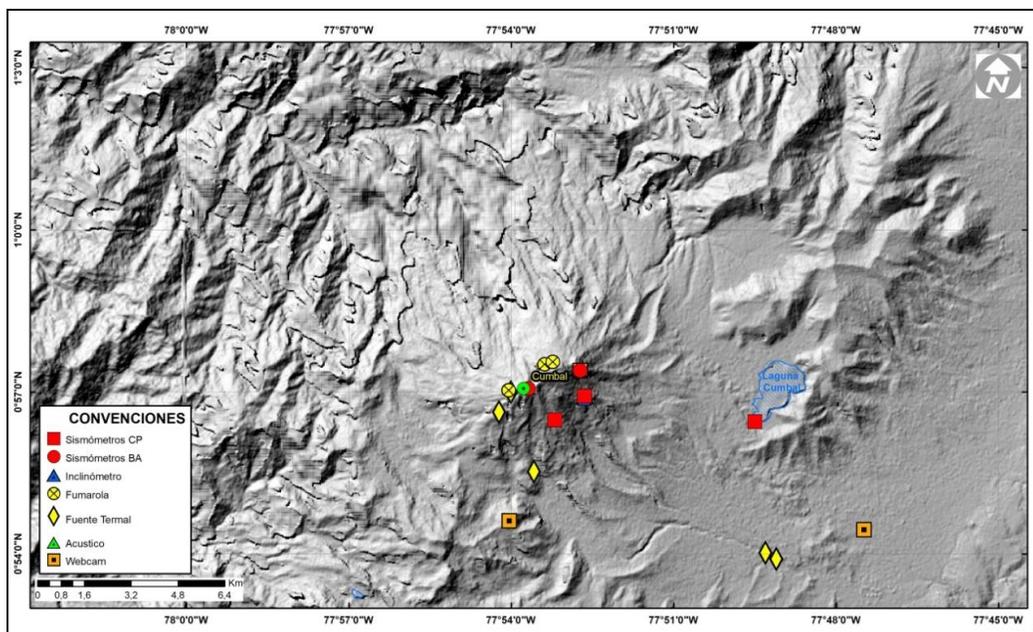


Figura 35. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2021

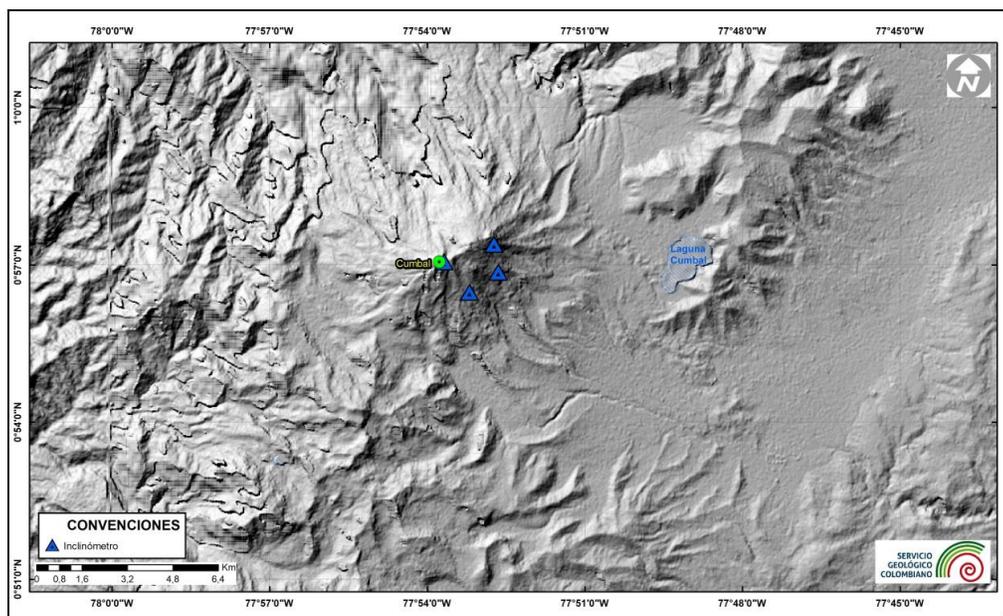


Figura 36. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de marzo de 2021

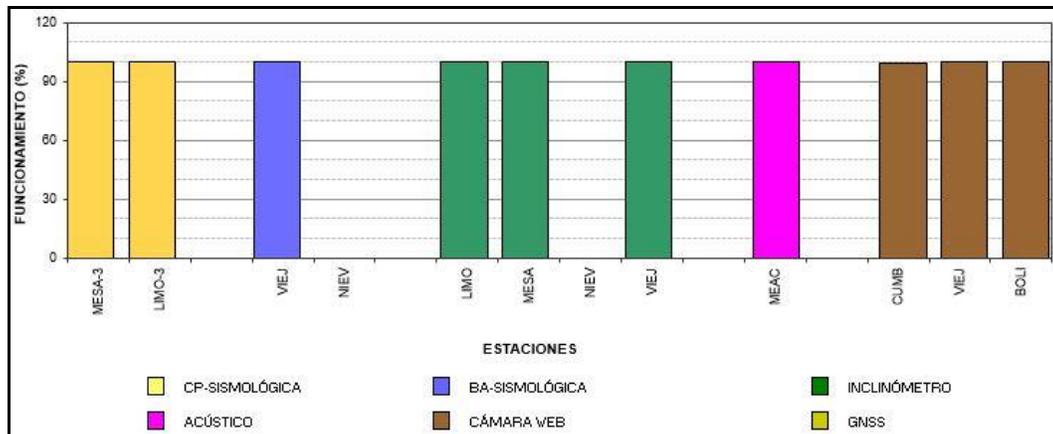


Figura 37. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2021

2.2 Sismología

La sismicidad en marzo de 2021 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) mostró un ascenso del 60.5% en su ocurrencia pasando de 1786 a 2867 eventos en comparación con el mes de febrero. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 2072 eventos que representan el 72.3% del total, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) con 407 eventos que representan el 14.2%. Los sismos que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos (HIB) registraron 135 eventos que representan el 4.7% de la ocurrencia sísmica. Se tuvo registro de 26 episodios tipo tremor o evento de fluidos de fuente permanente (TRE) que representan el 0.9% del total y se registraron 227 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que representan el 7.9% del total (Tabla 12, Figura 38 y 39).

Tabla 12. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	974	310	0	74	118	1476
01-ene-21 a 31-ene-21	1048	196	0	79	60	1383
01-feb-21 a 28-feb-21	1143	354	1	102	186	1786
01-mar-21 a 31-mar-21	2072	407	26	135	227	2867

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT aumentaron un 81.3% pasando de 1143 a 2072 eventos, los LP aumentaron un 15.7% pasando de 350 a 405 eventos, los episodios tipo HIB aumentaron en un 32.4%, pasando de 102 a 135 eventos y los eventos VC aumentaron un 22%, pasando de 186 a 227 (Tabla 12, Figura 38).

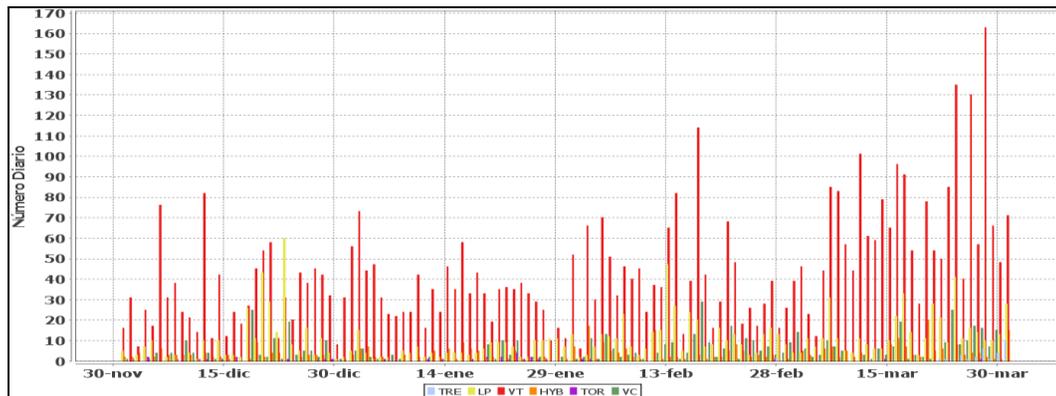


Figura 38. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Se registraron 2 eventos tipo Tornillo (TOR), caracterizados por tener un decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 39 se muestra el sismograma, espectrograma y espectro en frecuencia del evento TOR registrado el 14 de marzo a las 9:35 p.m., en la componente vertical de la estación Limones. Este evento presentó un pico dominante en la frecuencia de 5.9364 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

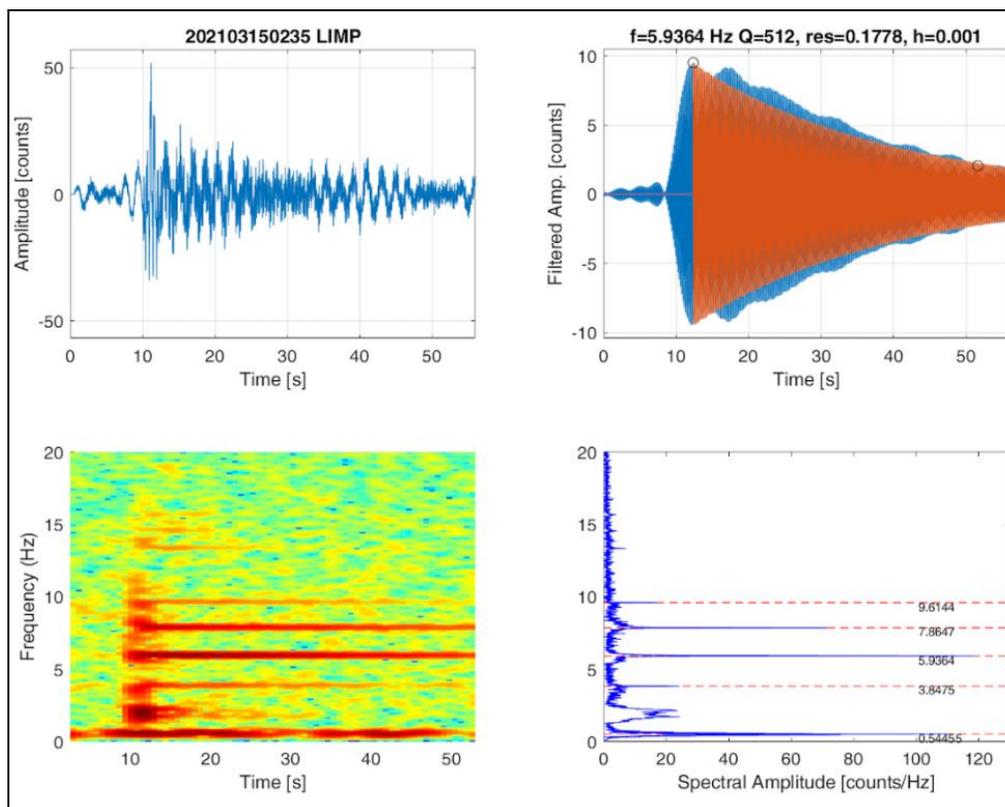


Figura 39. Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 14 de marzo a las 9:35 p.m., en la componente vertical de la estación Limones del CVC

La energía sísmica descendió en un 67.4%, pasando de 1.40×10^{10} ergios a 4.57×10^9 ergios. El mayor predominio energético provino de los eventos de tipo VT con el 59.94% de la energía sísmica del mes. El pico energético del mes se registró el 21 de marzo con 1.31×10^9 ergios (Tabla 13, Figura 40).

Tabla 13. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	3.15E+09	9.14E+07	0.00E+00	2.24E+07	9.44E+06	3.30E+09
01-ene-21 a 31-ene-21	4.50E+10	5.15E+08	0.00E+00	9.19E+07	3.98E+06	4.57E+10
01-feb-21 a 28-feb-21	1.28E+10	1.09E+09	3.28E+05	1.46E+08	1.07E+07	1.40E+10
01-mar-21 a 31-mar-21	2.74E+09	1.06E+09	6.67E+08	2.20E+07	7.39E+07	4.57E+09

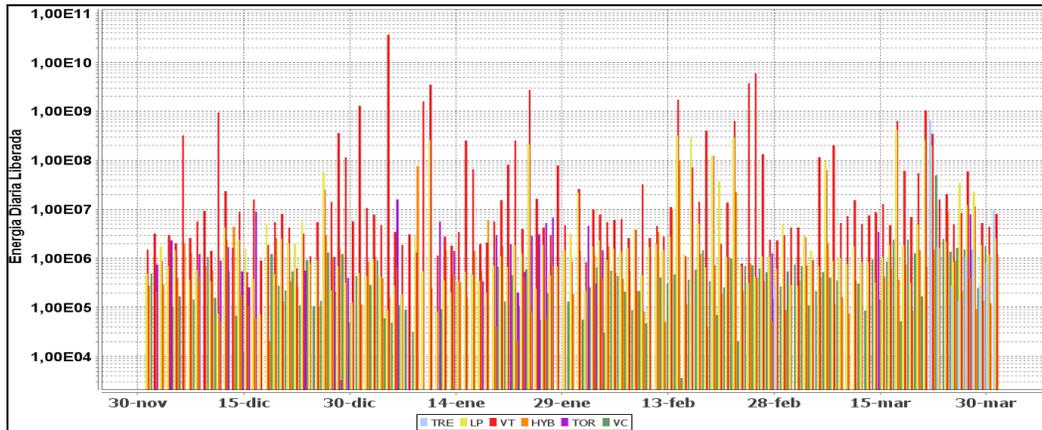


Figura 40. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

En este periodo fue posible localizar 208 sismos, la mayoría de ellos fueron localizados a menos de 3 km, en una alineación al suroriente del cráter La Plazuela (noreste del Complejo Volcánico Cumbal - CVC), a niveles superficiales menores a 3 km respecto a la cima (4780 m.s.n.m.); otros eventos se ubicaron de manera dispersa, a distancias de hasta 16 km respecto al centro del CVC y profundidades de hasta 18 km. Las magnitudes de este tipo de eventos fueron menores a 1.2 en la escala de Richter (Figura 41).

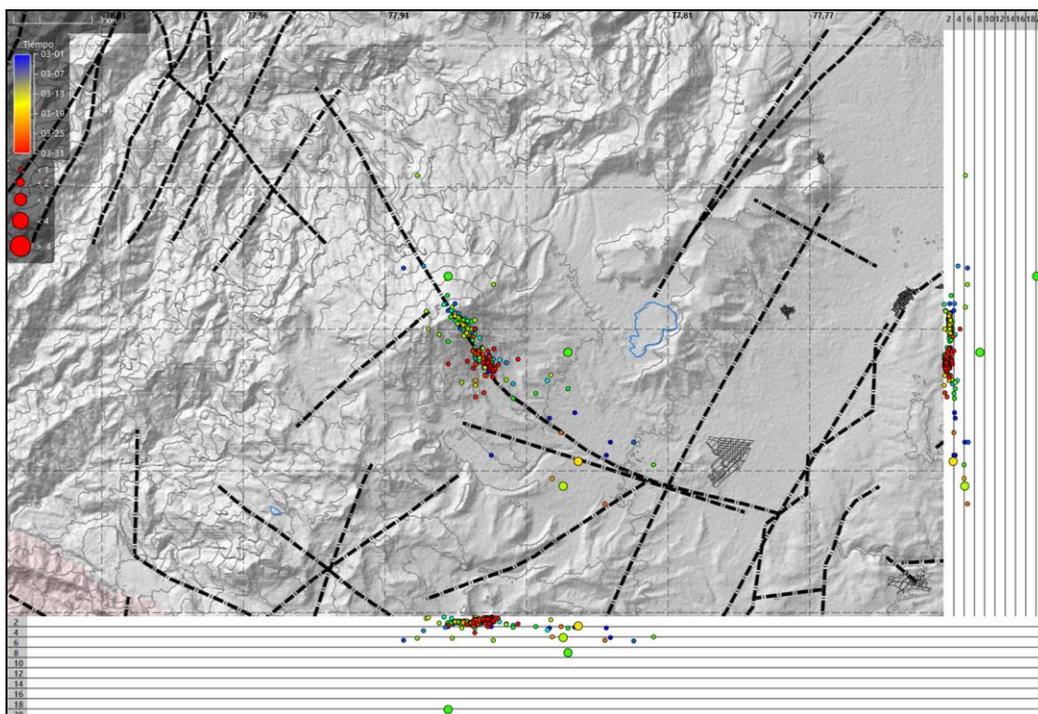


Figura 41. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2021 en el CVC

2.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 4 inclinómetros electrónicos. El inclinómetro La Nieve está por fuera desde el 24 de octubre de 2020.

Las componentes de inclinación de la estación de Limones muestran tendencias estables (Figura 42). En el inclinómetro Punta Vieja, pese a las fluctuaciones en sus registros, es posible evidenciar una leve tendencia descendente en la componente Este, acumulando cerca de 25 μrad desde marzo de 2018 (Figura 43), mientras que su componente Norte es estable.

Para el inclinómetro La Mesa, la componente Este es estable y se presentan fluctuaciones en la Norte, de más de 30 μrad , similares a lo registrado por el sensor de temperatura (Figura 44).

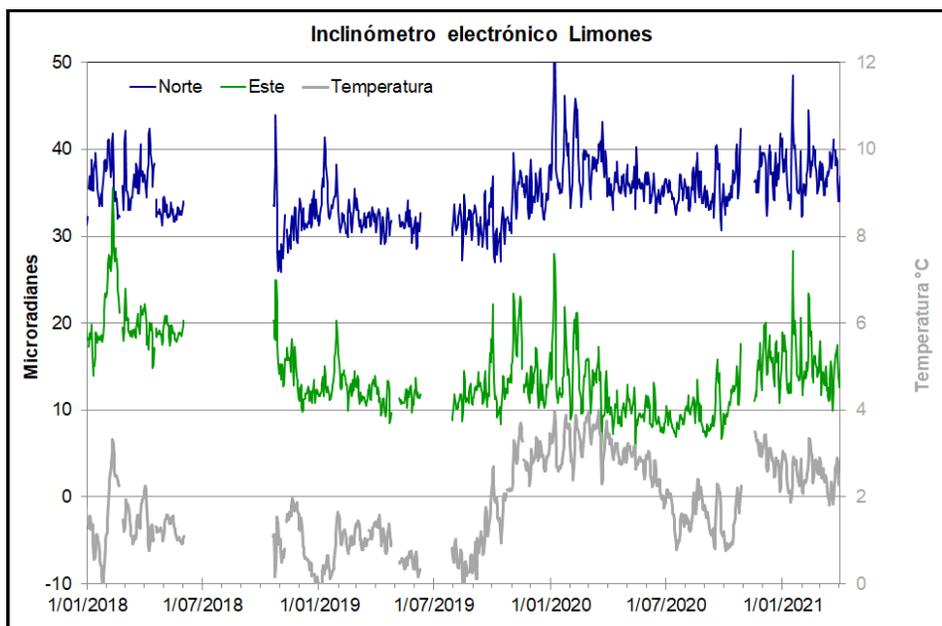


Figura 42. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

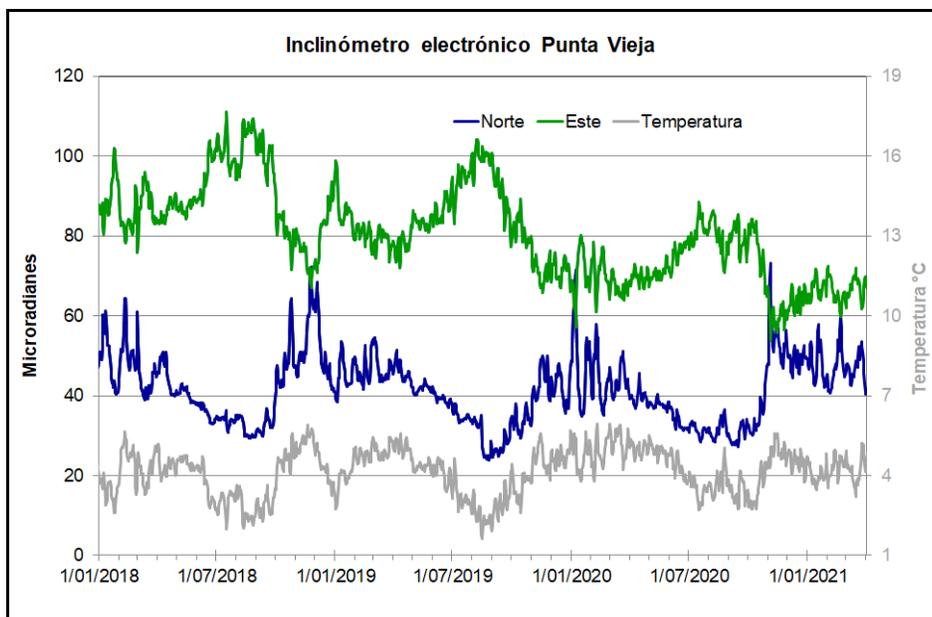


Figura 43. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

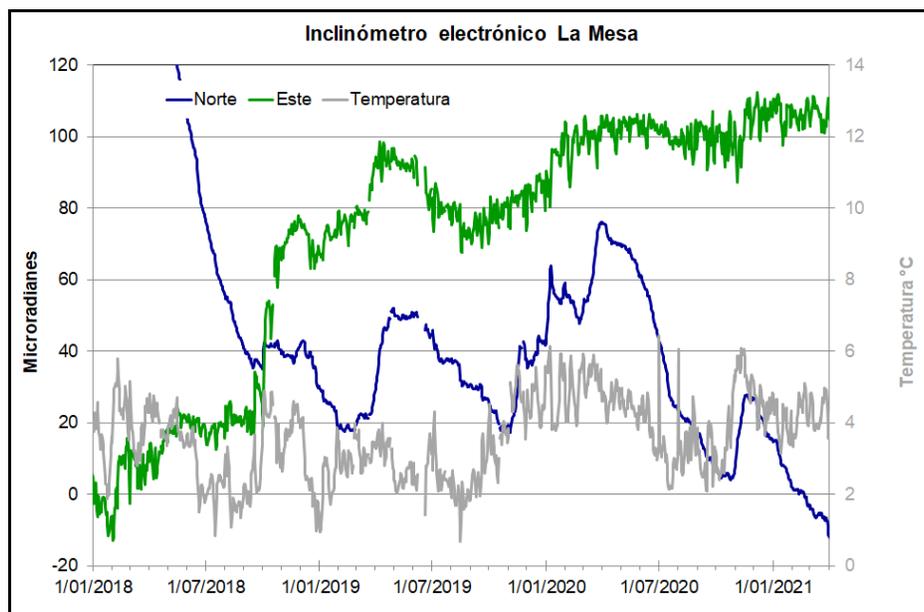


Figura 44. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta actividad.

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

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

2.6 Actividad Superficial

Para los días 1,3, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 del mes de marzo de 2021, con las cámaras web de Cumbal, Punta Vieja y del Boliche se observó emisiones de gases provenientes principalmente desde los campos fumarólicos de los dos conos activos, EL Verde en el cono de La Plazuela, al noreste del complejo y Los Rastrojos, Las Bandas y Boca Vieja, en el cono de Mundo Nuevo al suroccidente del complejo, con columnas de color blanco, altura y dirección variables por acción de los vientos. En las Figuras 45 a 54 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 1 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:05 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 3 de marzo de 2021 a las 12:47 p.m., (derecha)

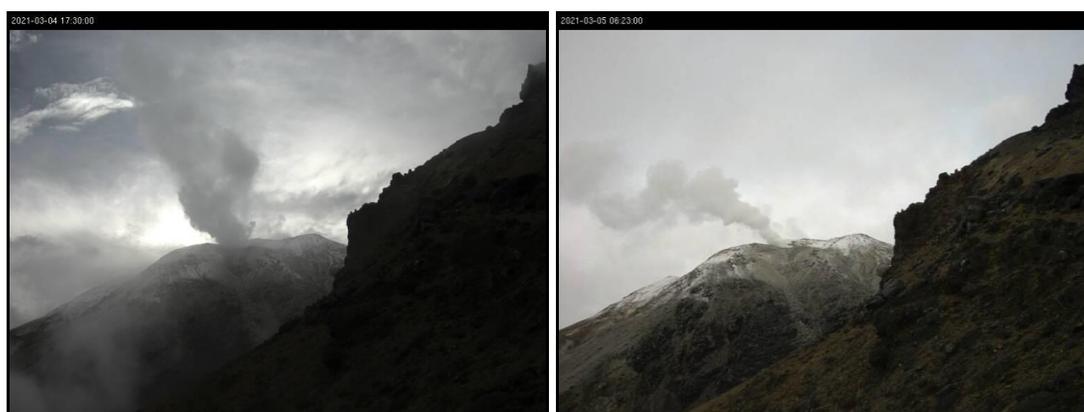


Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 4 de marzo de 2021 a las 5:30 p.m., (izquierda) y el día 5 de marzo de 2021 a las 6:23 a.m., (derecha)

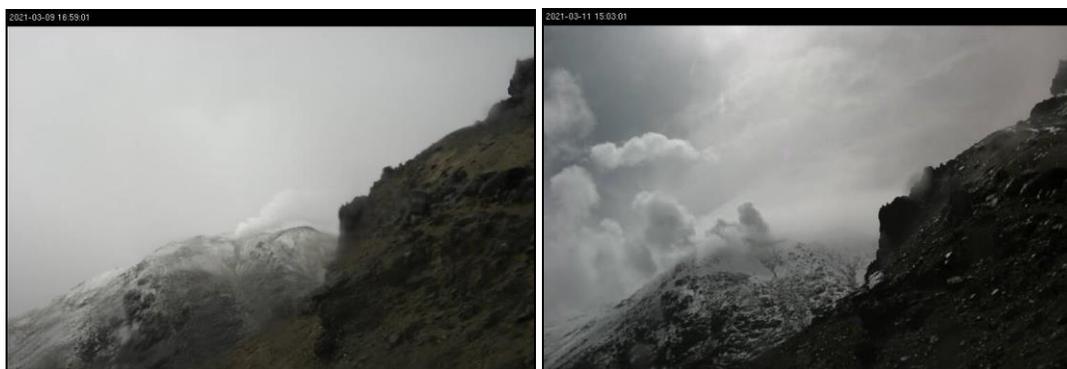


Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 9 de marzo de 2021 a las 4:59 p.m., (izquierda) y el día 11 de marzo de 2021 a las 3 03 p.m., (derecha)



Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 12 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 4:19 p.m., (izquierda) y desde Punta Vieja el día 13 de marzo a las 10:58 a.m., (derecha)

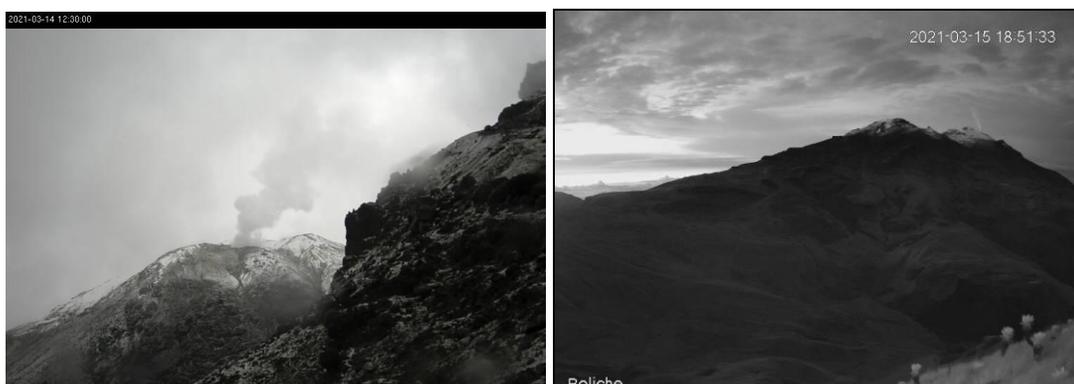


Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector de Punta Vieja el día 14 de marzo de 2021 a las 12:30 p.m., (izquierda) y desde el Boliche el día 15 de marzo de 2021 a las 6:51 p.m., (derecha)

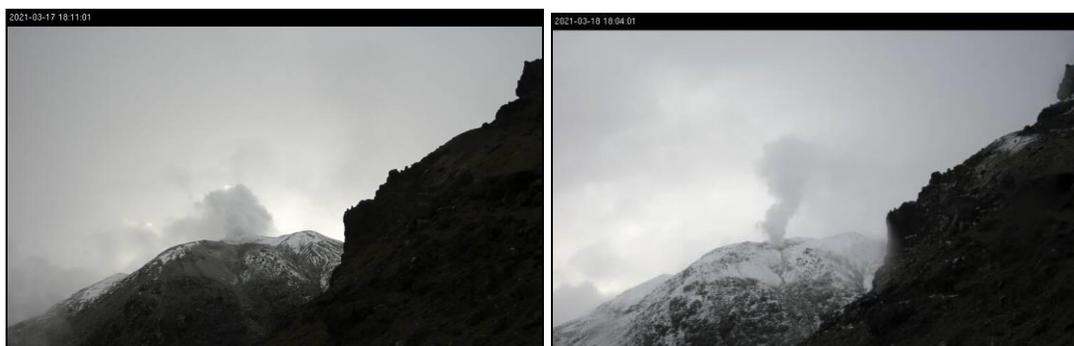


Figura 50. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 17 de marzo de 2021 a las 6:11 p.m., (izquierda) y el día 18 de marzo de 2021 a las 6:04 p.m., (derecha)

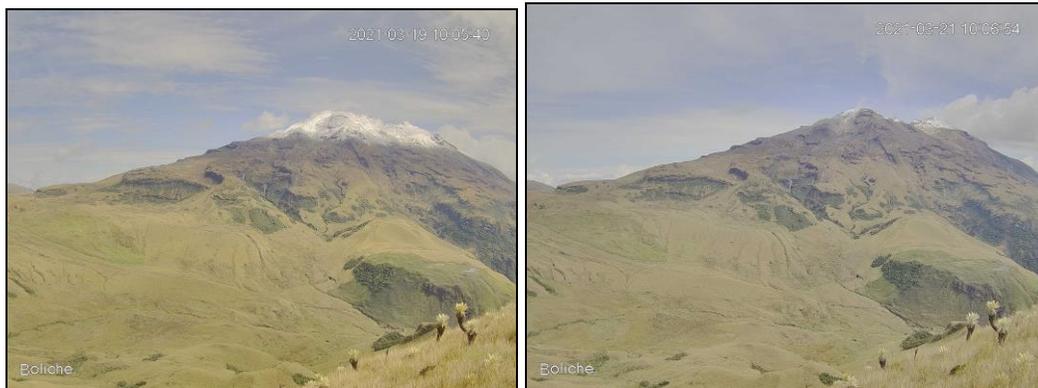


Figura 51. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche el día 19 de marzo de 2021 a las 10:05 a.m., (izquierda) y el día 21 de marzo de 2021 a las 10:06 a.m., (derecha)



Figura 52. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 23 de marzo de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:15 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 24 de marzo a las 6:58 a.m., (derecha)

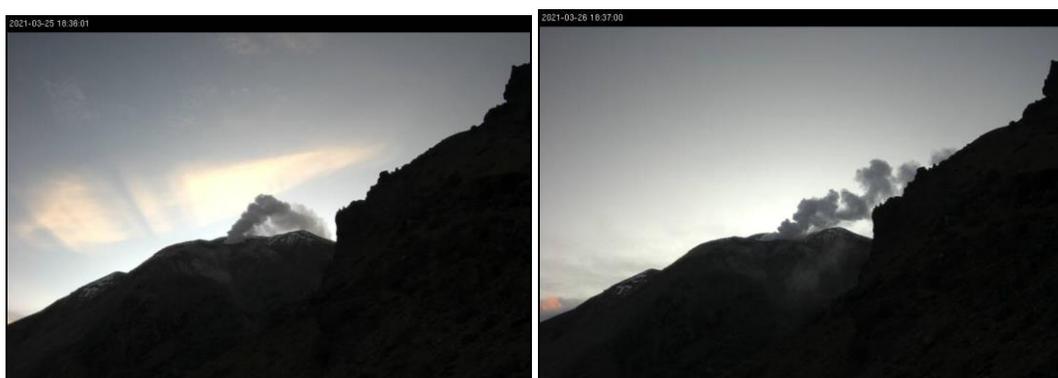


Figura 53. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 25 de marzo de 2021 a las 6:36 p.m., (izquierda) y el día 26 de marzo de 2021 a las 6:37 p.m., (derecha)

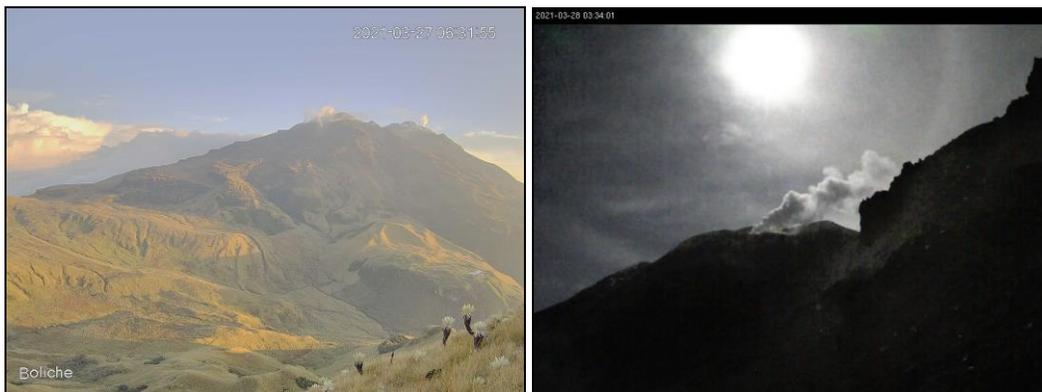


Figura 54. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 27 de marzo de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:31 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 28 de marzo a las 3:34 a.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

- En marzo de 2021, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) la sismicidad registró incremento en su ocurrencia, localizándose principalmente en una alineación al suroriente del cráter La Plazuela (noreste del Complejo Volcánico Cumbal - CVC), a niveles superficiales menores a 3 km respecto a la cima, con ML máxima de 1.2 en la escala de Richter. Los sismos de tipo TOR no evidencian presurización dentro del sistema.

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

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - MARZO DE 2021

3.1 Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroeste del país, en el departamento de Nariño, en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15.5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal y el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 55).

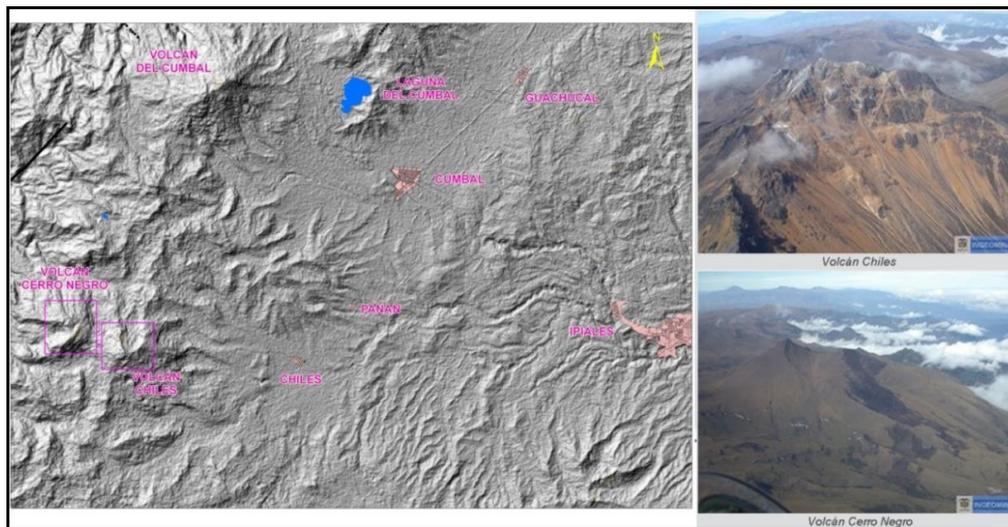


Figura 55. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 56, Tabla 14):

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

Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 56, Tabla 15).

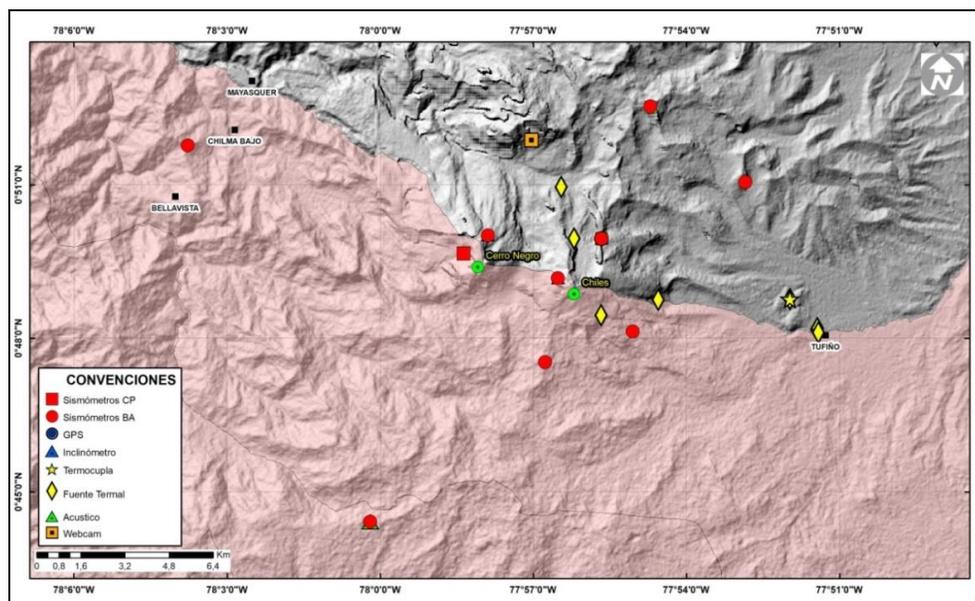


Figura 56. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de marzo de 2021

Tabla 14. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro

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

Tabla 15. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles

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

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 100 % (Figura 57).

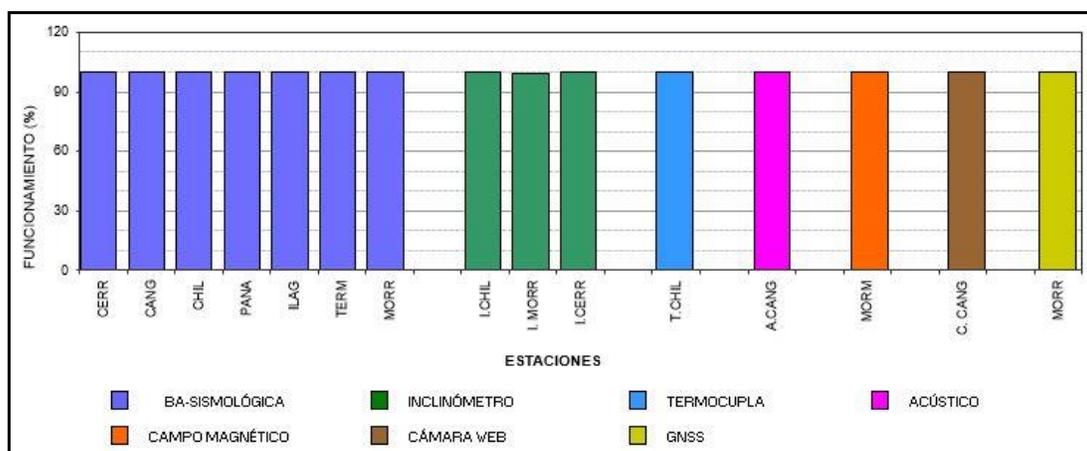


Figura 57. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2021

3.3 Sismología

La ocurrencia sísmica en región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2021 registró un descenso del 35.2% con respecto a febrero, pasando de 2784 a 1804 eventos. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 1770 eventos, que representan el 98.1% del total; se registraron 24 eventos de tipo LP, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos, con el 1.3% del total y se tuvo registro de 5 eventos tipo HIB, asociados con fractura de roca con el consiguiente movimiento de fluido y 5 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que corresponden cada uno al 0.3% del total de eventos registrados. No se tuvo registro de sismos tipo VLF (Tabla 16, Figura 58). Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 1 y 24 de marzo con 215 y 61 eventos VT, respectivamente. La sismicidad VT disminuyó su ocurrencia en un 34.3%, pasando de 2696 a 1770 eventos, los LP disminuyeron en un 45.5%, pasando de 44 a 24 eventos (Figura 58).

Tabla 16. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	VLF	HYB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	481	8	0	4	4	497
01-ene-21 a 31-ene-21	3971	12	0	6	6	3995
01-feb-21 a 28-feb-21	2696	44	0	22	22	2784
01-mar-21 a 31-mar-21	1770	24	0	5	5	1804

La energía sísmica liberada en marzo de 2021 fue mayor en 39 veces respecto al mes anterior pasando de 3.85×10^{15} ergios a 1.51×10^{17} ergios. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 99.99% de la energía sísmica liberada en el mes. Los sismos de tipo LP aumentaron su energía en un 63.1% pasando de 6.62×10^{11} ergios a 1.08×10^{12} ergios. Los picos de energía se presentaron en los días 1 y 31 de marzo, con 1.22×10^{17} ergios y 1.52×10^{15} ergios, respectivamente (Tabla 17, Figura 59).

Tabla 17. Energía de eventos VT, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	VLF	HYB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	1.86E+13	1.71E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.86E+13
01-ene-21 a 31-ene-21	2.89E+15	2.14E+10	0.00E+00	2.05E+09	2.05E+09	2.89E+15
01-feb-21 a 28-feb-21	3.85E+15	6.62E+11	0.00E+00	2.48E+09	2.48E+09	3.85E+15
01-mar-21 a 31-mar-21	1.51E+17	1.08E+12	0.00E+00	5.55E+08	5.55E+08	1.51E+17

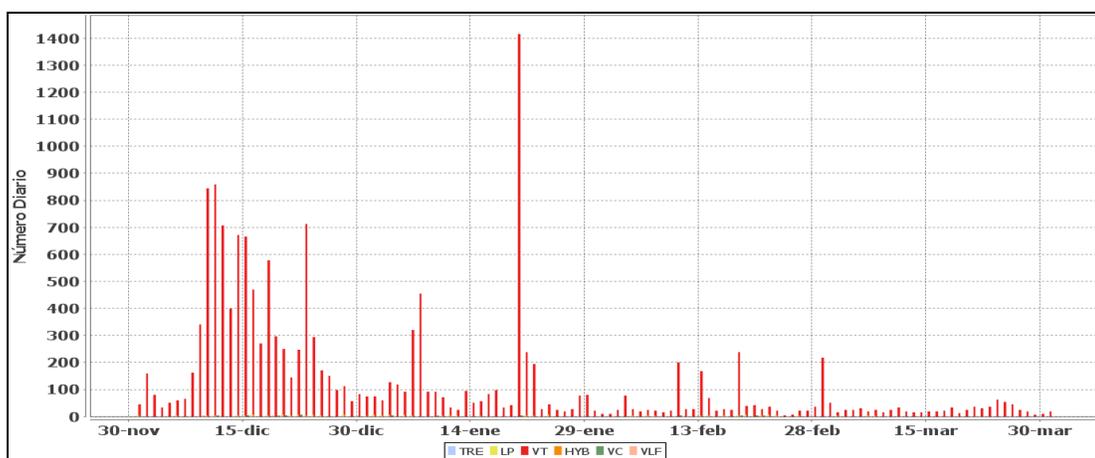


Figura 58. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

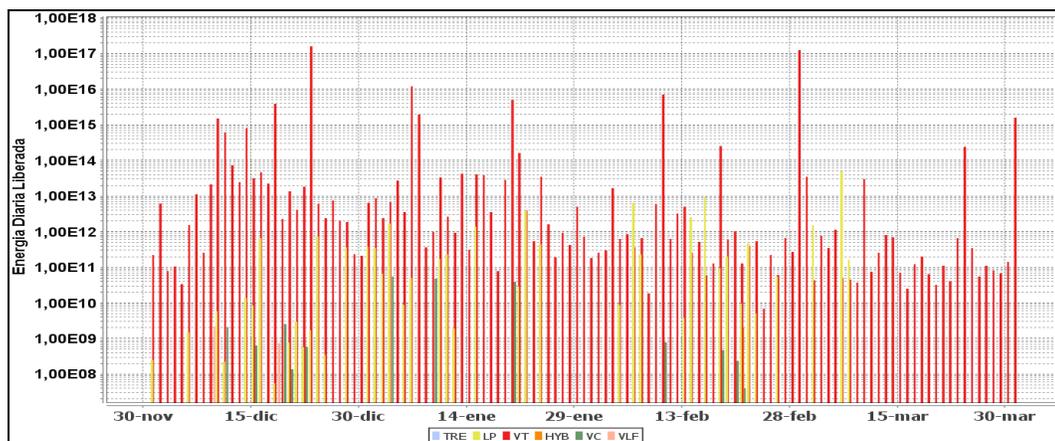


Figura 59. Energía diaria de sismos registrados entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar varias fuentes sismogénicas bien definidas tanto al sur, como al sur-orientado y sur-occidente. Se localizaron 275 sismos, la gran mayoría ubicados a menos de 5 km al sur y suroccidente del volcán Chiles (sobre el edificio volcánico de Cerro Negro), con profundidades menores a 6 km respecto a su cima (4700 m.s.n.m.), y otra fuente al sur-este a distancias entre los 4 y 9 km respecto al volcán Chiles y profundidades entre 6 y 12 km respecto a la cima. La magnitud local máxima de la sismicidad registrada fue de 3.8 en la escala de Richter, sin embargo, la mayoría de los eventos presentó magnitudes menores a 1 (Figura 60). Se resaltan los sismos ocurridos el 1 de marzo a las 3:13 a.m., 3:14 a.m. y 3:20 a.m., de magnitudes 3.8, 2.4 y 2.3 respectivamente, los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro. Como se ha manifestado en los diferentes boletines emitidos por el SGC, se reitera que este proceso no ha terminado, tiene fluctuaciones y puede seguir registrando sismos con niveles energéticos importantes.

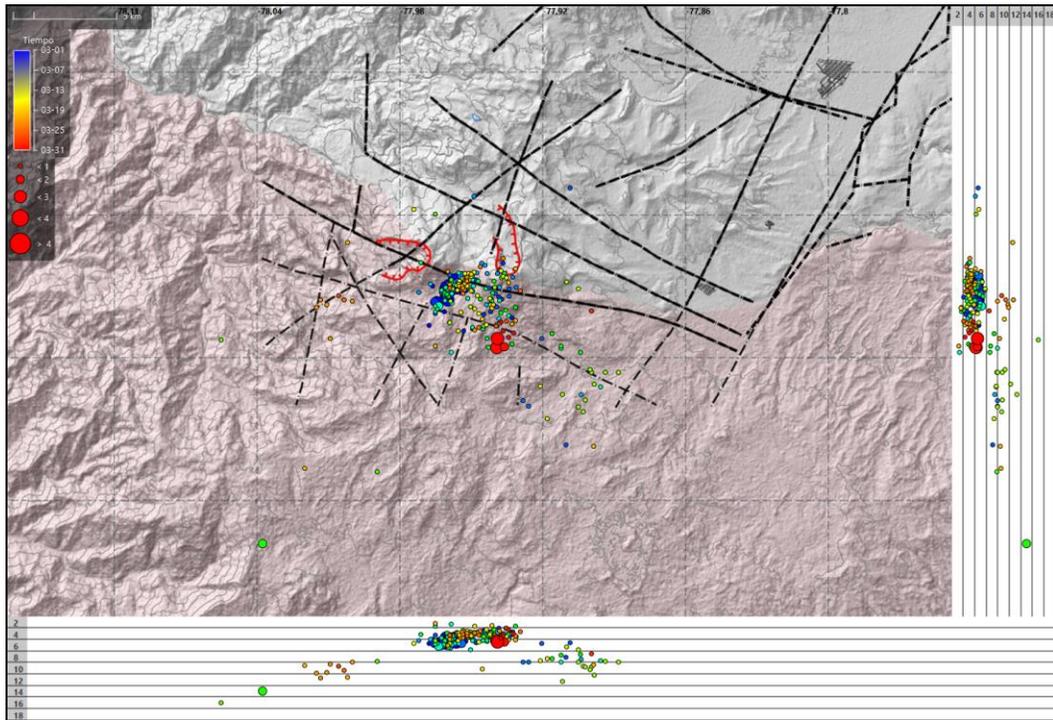


Figura 60. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2021

3.4 Deformación

3.4.1 Inclínometría Electrónica

Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, se cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalado en el volcán Chiles.

La componente Norte del inclinómetro el Morro, tuvo una tendencia descendente entre febrero y octubre del 2020, con un cambio de 20 μrad , posteriormente y hasta la fecha su tendencia es estable, al igual que la componente Este (Figura 61).

Con respecto al comportamiento del inclinómetro Cerro Negro se distinguen cuatro periodos: el primero entre mayo 26 de 2016 y el 10 de octubre de 2018, el segundo, entre octubre 11 de 2018 y mayo 27 de 2019, el tercero entre mayo 28 de 2019 hasta noviembre 13 de 2020 y el cuarto desde noviembre 13 de 2020 hasta la fecha (Figura

62). Para el último periodo se observa en la componente Este un cambio acelerado de tendencia que acumula cerca de 1110 μrad .

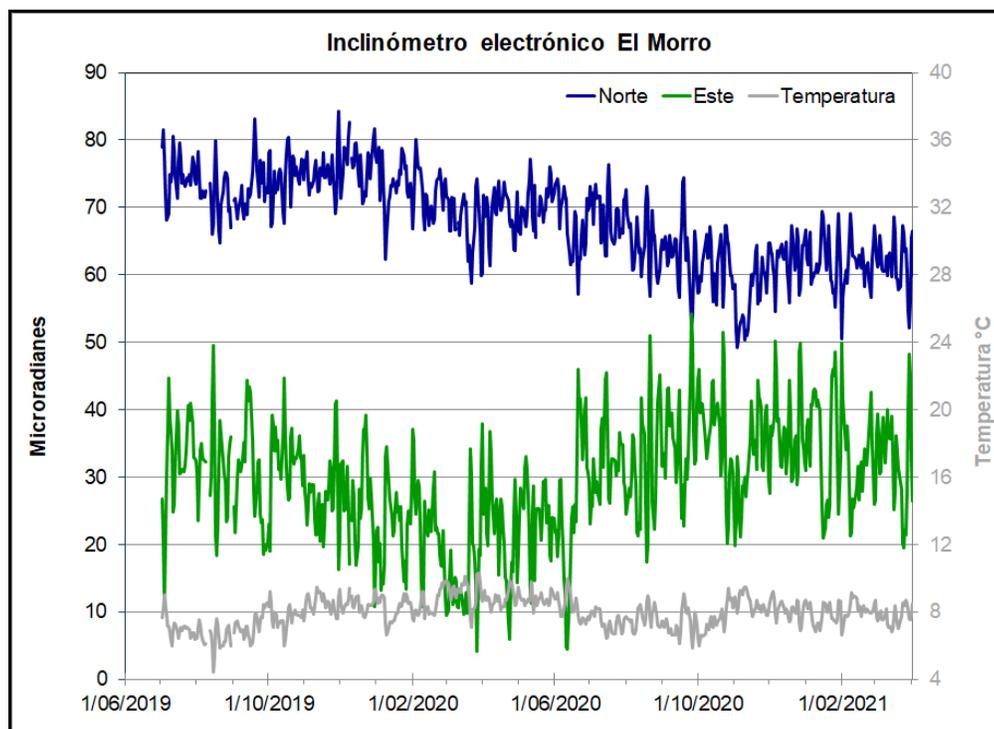


Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de marzo de 2021

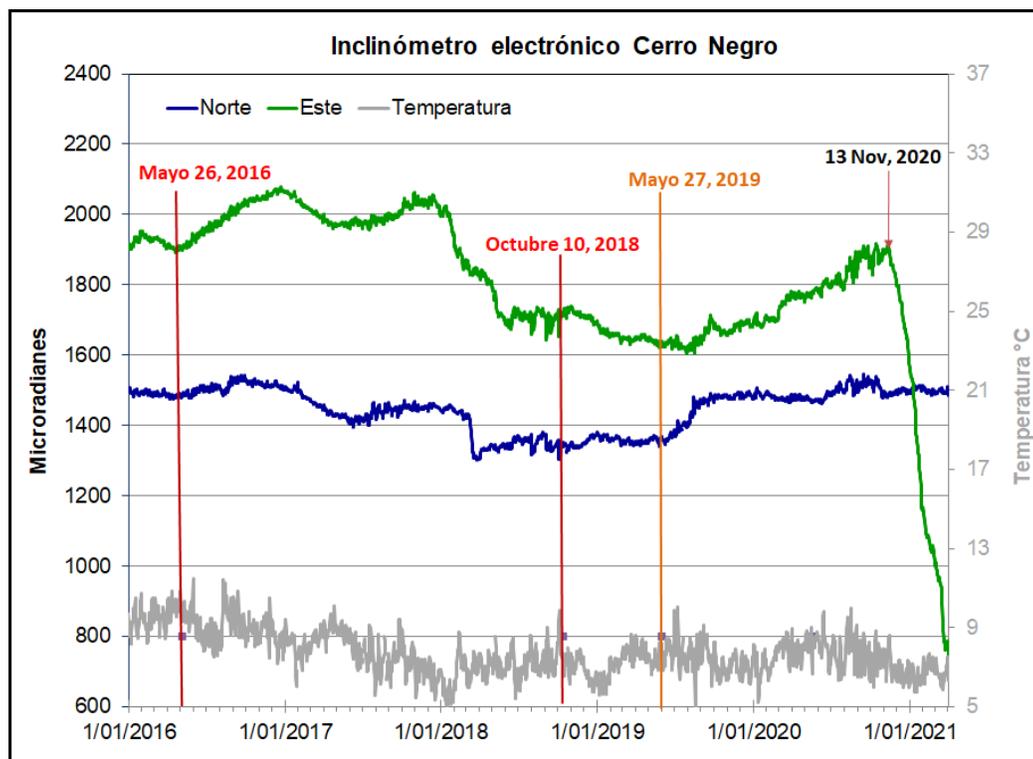


Figura 62. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de marzo de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación

3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Desde su instalación y hasta finales del 2020, muestra una tendencia ascendente en la dirección Norte y en la componente Vertical, con cambios de unos 17 mm y 20 mm, respectivamente. Para 2021, la componente vertical tiende a estabilizarse al igual que la componente Este (Figura 63).

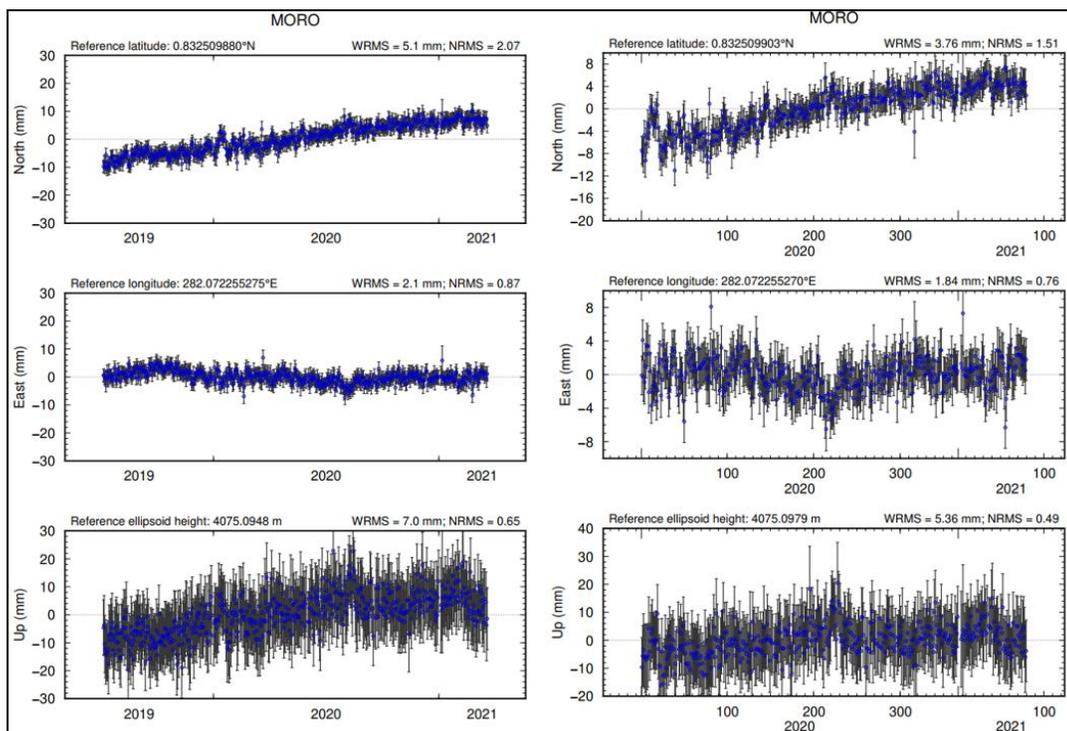


Figura 63. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 20 de marzo de 2021 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de marzo de 2021 (derecha)

Del lado ecuatoriano (IGEPN) para el monitoreo de estos cambios en superficie se tienen los GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 64, se muestra la serie temporal desde el 1 de enero de 2020 y el 20 de febrero de 2021, para CHLS se observa ascenso en la dirección Norte, la componente de altura tiende a estabilizarse desde agosto de 2020, y para todo el periodo la componente Este muestra estabilidad; para la estación CHLW se tenía un marcado descenso en la dirección Este que se mantuvo hasta finales de 2020 con un cambio de 15 mm; posteriormente muestra un punto de inflexión que hasta la fecha acumula 5 mm. La componente vertical para el 2020 tuvo un cambio de 10 mm, con una tendencia ascendente y en el 2021 mantiene una tendencia estable. La componente Norte en general muestra estabilidad, especialmente desde agosto de 2020.

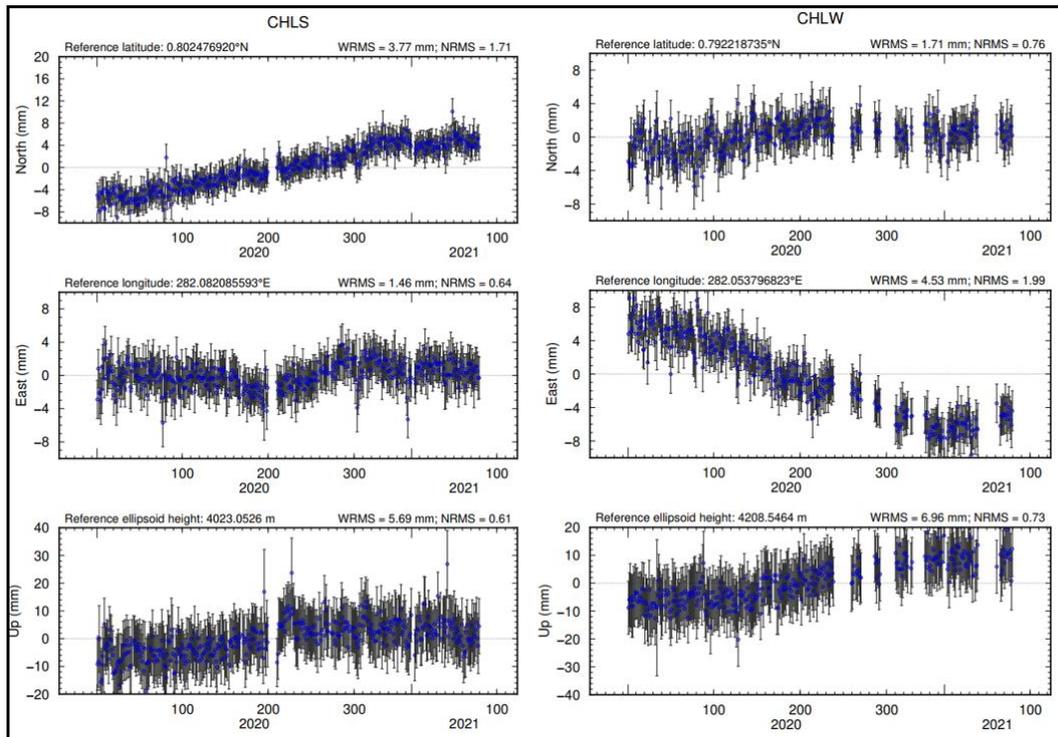


Figura 64. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 20 de marzo de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatorial – IGEPN

3.5 Electromagnetismo

El análisis de la información de las variaciones del Campo Magnético Terrestre Total (F) (CMT-F), en la zona de influencia del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, para el mes de marzo de 2021, se realizó tomando los registros de la estación Morro (MOR), que cuenta un sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate.

Entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 (Figura 65), el comportamiento de los registros obtenidos por medio en la estación magnética MOR, muestran una tendencia ligeramente descendente, resaltando principalmente las variaciones seculares con periodos de entre 25 a 30 días, y periodos más cortos de: un día, 12 horas, ocho horas. Se registraron también registros con frecuencias mayores, asociadas a eventos magnéticos externos, generados por tormentas geomagnéticas, que al llegar a las inmediaciones del Campo Magnético de la Tierra afectan los registros de la estación tanto en amplitud como en frecuencia.

La estación Kourou (KOU), se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cerca de la zona de estudio, a una latitud muy próxima a la zona de los volcanes de Nariño. Al comparar los registros en las estaciones de monitoreo magnético en el Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, MOR y Kourou, se resaltan las variaciones similares en ambos registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de fenómenos magnéticos como las tormentas geomagnéticas; principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 3 (Figuras 65 y 66). Al igual que la estación MOR, KOU tuvo un comportamiento ligeramente descendente durante el periodo entre diciembre de 2020 y marzo de 2021.

Los valores de predicción de tormentas geomagnéticas de tipo Kp, se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 65).

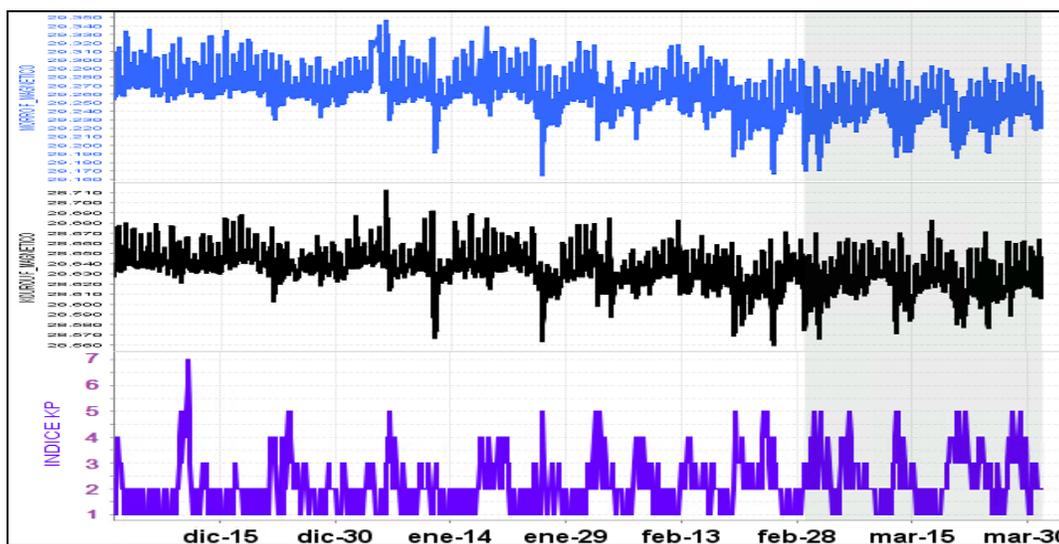


Figura 65. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Para el mes de marzo de 2021, el valor promedio del campo magnético en MOR fue de alrededor de 28.250 nT, con una variación diaria promedio de alrededor de 70 nT, en tanto que para KOU, el valor promedio para el mes de marzo de 2021, fue de alrededor de 28.630 nT, con variación máxima diaria de alrededor de 105 nT/día (Figura 66).

En marzo de 2021, las tormentas geomagnéticas tuvieron índices de intensidad Kp, entre 1 y 5. Entre las mayores perturbaciones del campo magnético que se presentaron, se relacionan los días cuando los índices Kp fueron iguales a 5, aun cuando, se presentaron los máximos cambios durante tormentas que tuvieron índices Kp persistentes en valor de 3, como sucedió entre el 1 y 2 de marzo de 2021; cuando tormentas geomagnéticas con índices máximas de 5, generaron variaciones del campo magnético en MOR de alrededor de 120 nT, que corresponde casi al doble de la amplitud promedio en esa estación y, variaciones máximas en KOU de alrededor de 105 nT, que igualmente corresponden al doble del valor normal de variación de amplitud del campo en la estación (Figura 66).

Tomando los valores de promedio móvil diario, para cada una de las series temporales del CMT-F, (Figura 66), que corresponden a las series de tiempo en amarillo, en cada estación de monitoreo del campo magnético en el Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR y estación de referencia KOU, se disminuyen los efectos de las variaciones seculares día-noche (24 horas) y se obtuvo el comportamiento local de los campos magnéticos. Para la estación MOR se observa en este mes, con el promedio móvil, una tendencia estable y una variación diaria máxima de alrededor de 40 nT, para el día 20 de marzo, cuando se tuvo una tormenta geomagnética de índice Kp de 5, lo que claramente puede representar interferencia externa, ya que en general, las variaciones diarias promedio de la estación son menores de 15 nT, que podría explicarse como estabilidad en la actividad volcánica del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, desde los datos magnéticos. En la estación de KOU (Figura 66), se observa para el mes de marzo de 2021, la serie con promedio móvil, muestra una tendencia estable durante marzo y una variación máxima de alrededor de 30 nT, para el 20 de marzo, cuando se muestra la tormenta geomagnética de Kp de hasta 5, que altera los registros de las estaciones magnéticas. Las variaciones máximas, tanto en MOR como en KOU, del 20 de marzo de 2021 coinciden tanto con las tormentas geomagnéticas máximas de kp igual a 5, como con una tormenta súbita adicional que se registró en esa fecha, a las 05:07:00 UT, con una amplitud de alrededor de -45 nT, que podría explicar la gran amplitud de la variación en el CMT para esa fecha en estas dos estaciones, e inferir que estas variaciones no están correlacionadas con actividad volcánica.

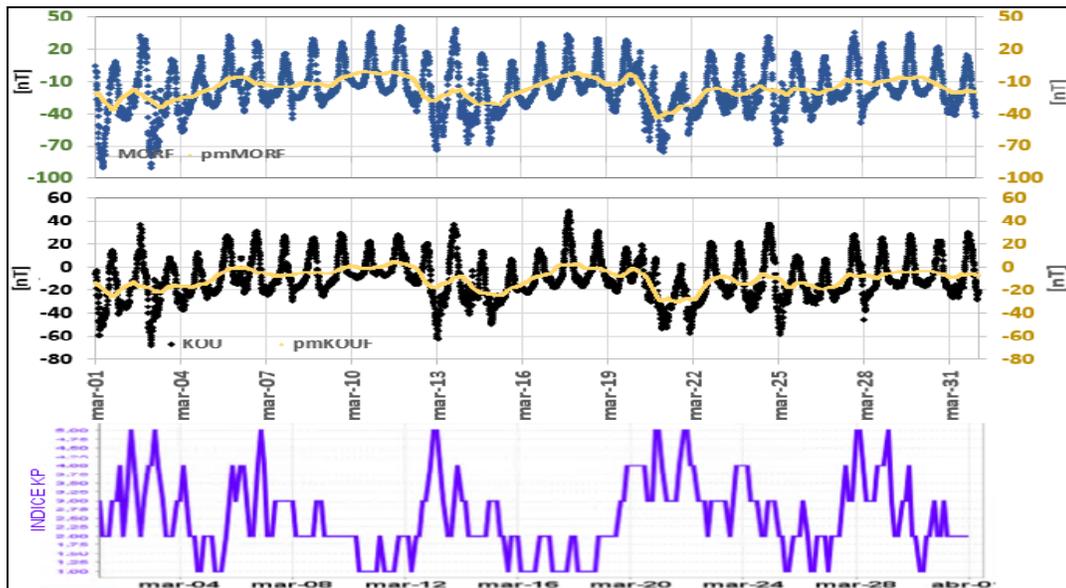


Figura 66. Variaciones del CMT-F, en la estación de MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de marzo de 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)

3.6 Geoquímica

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

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

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

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

3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

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

3.7 Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2021 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.8 Conclusiones

- En marzo de 2021, la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró descenso en su ocurrencia, con predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT). Se destaca que continúa el registro de eventos asociados a movimiento de fluidos, aunque en menor cuantía se resalta también los sismos los ocurridos el 1 de marzo a las 3:13 a.m., 3:14 a.m. y 3.20 a.m. de magnitudes 3.8, 2.4 y 2.3 respectivamente, los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes de la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

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

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante marzo de 2021 permitió mantener el nivel **AMARILLO**  (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL –MARZO DE 2021

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 67).

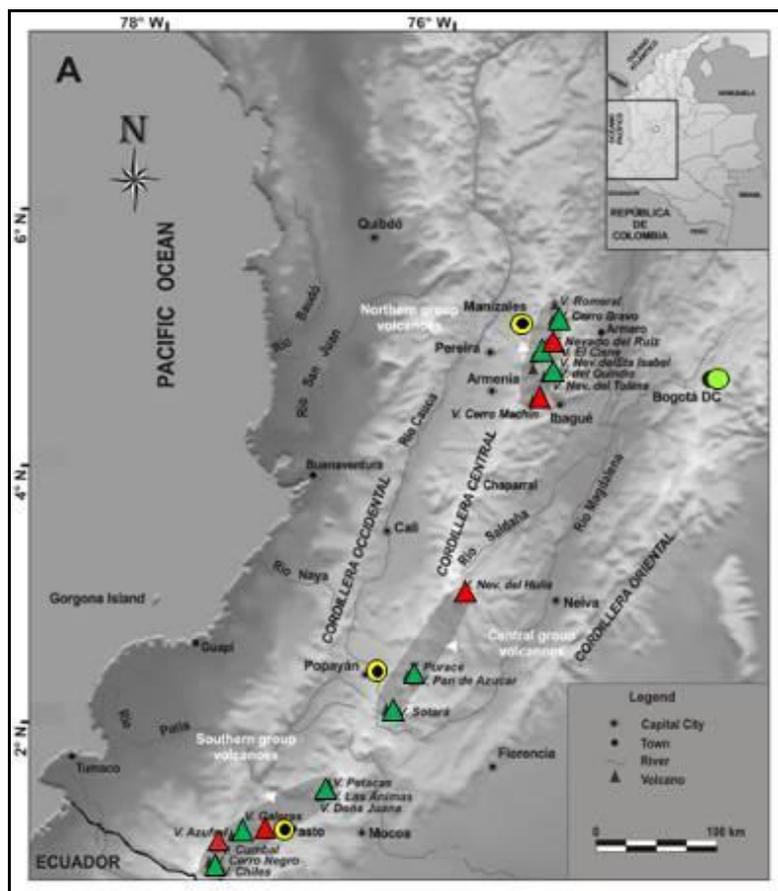


Figura 67. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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

4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

4.1.1 Red de Vigilancia

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

del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos localizados en Altamira y Troje. En el volcán Doña Juana se tiene instalado dos estaciones sísmicas telemétricas triaxiales, dos inclinómetros localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparamétrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 18, Figura 68). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 18), Figura 68. En el periodo evaluado, las estaciones telemétricas de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 99% (Figura 69).

Tabla 18. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2021

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a Doña Juana (Km)	Dir. respecto a Doña Juana	Dist. a Las Ánimas (Km)	Dir. respecto a Las Ánimas	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.1	S	12.3	SW	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.1	S	12.3	SW	3533
Lavas	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
I. Lavas	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
Lavas	Digital	GNSS	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2.7	N	9	SW	3477
Altamira	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.1	NE	7,9	SW	3137
I. Altamira	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4.1	NE	7,9	SW	3137
Petroglifo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	8.9	NE	4,6	W	2905
I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	8.9	NE	4,6	W	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9.6	NE	6,2	NW	2726

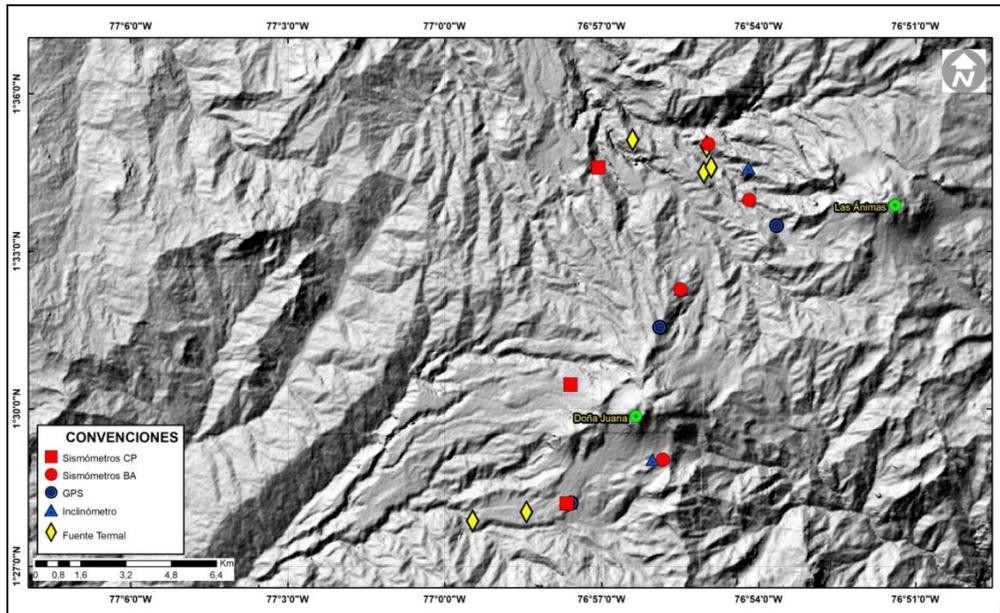


Figura 68. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de marzo de 2021

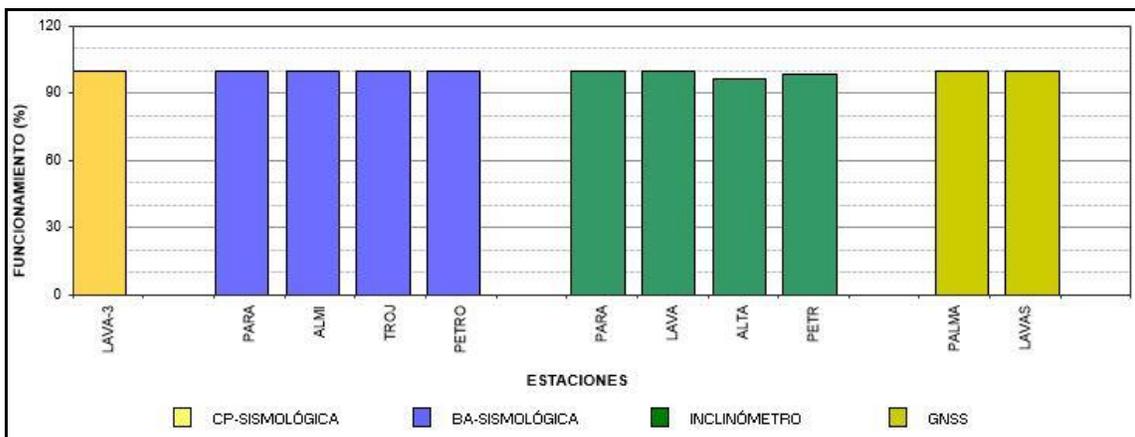


Figura 69. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2021

4.1.2 Sismología

La sismicidad en marzo de 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas registró un descenso del 65.5% respecto al número registrado el mes anterior, pasando de 29 a 11 sismos, 10 de ellos asociados con fractura de roca (VT) (Figura 70), los cuales se localizaron hacia el suroccidente de la zona de influencia del volcán Las Ánimas, a distancias entre 4.5 y 6 km, profundidades entre 1 y 13.5 km

respecto a la cima de Las Ánimas (4300 m.s.n.m.) y magnitud local máxima de 1.3 en la escala de Richter. La energía liberada por los sismos registrados alcanzó un valor de 6.34×10^{12} ergios (Figura 71).

Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre de 2020 y marzo de 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	HIB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	14	0	0	0	14
01-ene-21 a 31-ene-21	25	0	0	0	25
01-feb-21 a 28-feb-21	29	0	0	1	30
01-mar-21 a 31-mar-21	10	0	0	1	11

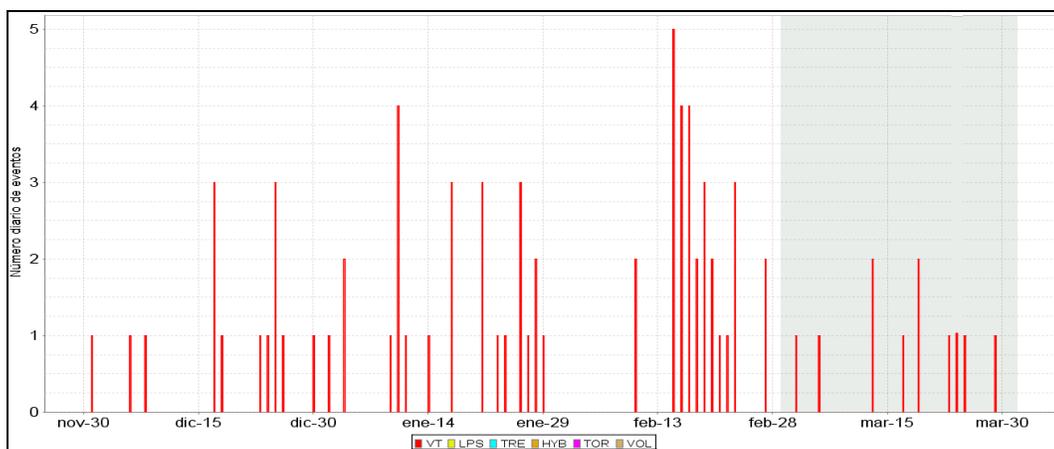


Figura 70. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

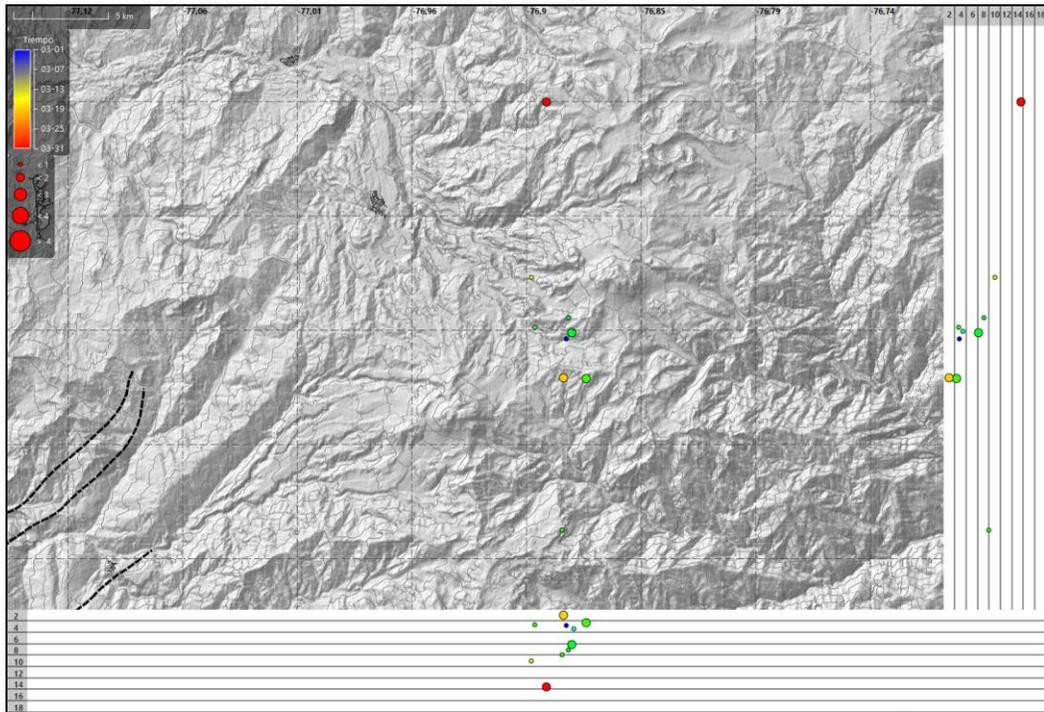


Figura 71. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2021 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

En el volcán las Ánimas el inclinómetro Altamira, pese a las fluctuaciones en los registros se evidencia una tendencia ascendente en las dos componentes, alcanzando la Este 40 μrad y la Norte cerca de 20 μrad desde abril de 2019 (Figura 72).

En la Figura 73, se muestra la serie temporal para la estación de inclinometría Petroglifo, en la componente Norte, continua la tendencia descendente, acumulando 225 μrad desde febrero de 2019, se resalta que en los últimos meses esta tendencia es menos marcada. Por su parte la componente Este mantiene el comportamiento estable.

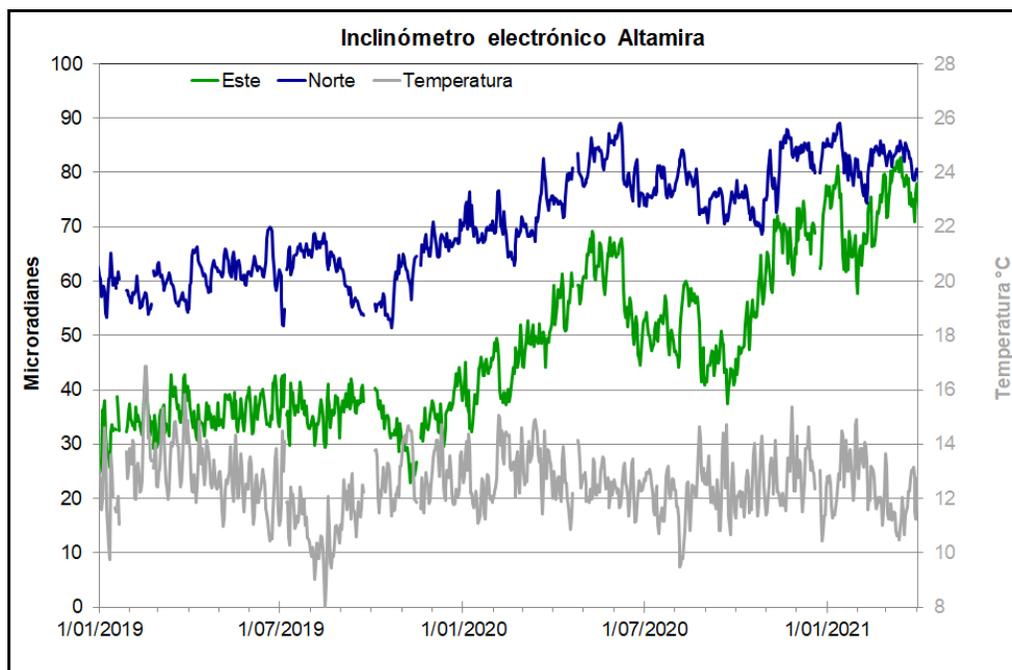


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de marzo de 2021

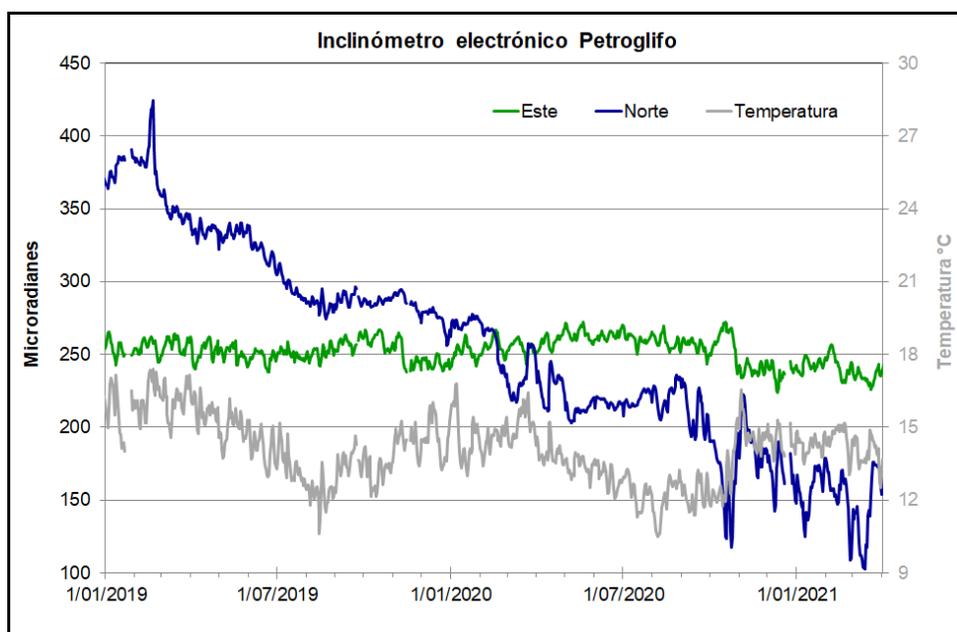


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de marzo de 2021

En cuanto al volcán Doña Juana, entre el 15 de noviembre de 2020 y el 15 de marzo del 2021 se observó un comportamiento descendente en la componente Este del inclinómetro Páramo, variación que ya registró cerca de 250 μrad , posteriormente se observa un cambio de tendencia, con una variación mínima. Por su parte la componente Norte, entre el 20 de septiembre de 2020 y hasta la fecha, tiene una variación ascendente, acumulando unos 45 μrad (Figura 74).

Se observa estabilidad en las componentes de inclinación Norte y Este de la estación de inclinometría Lavas, con variaciones similares a las mostradas por el sensor de temperatura (Figura 75).

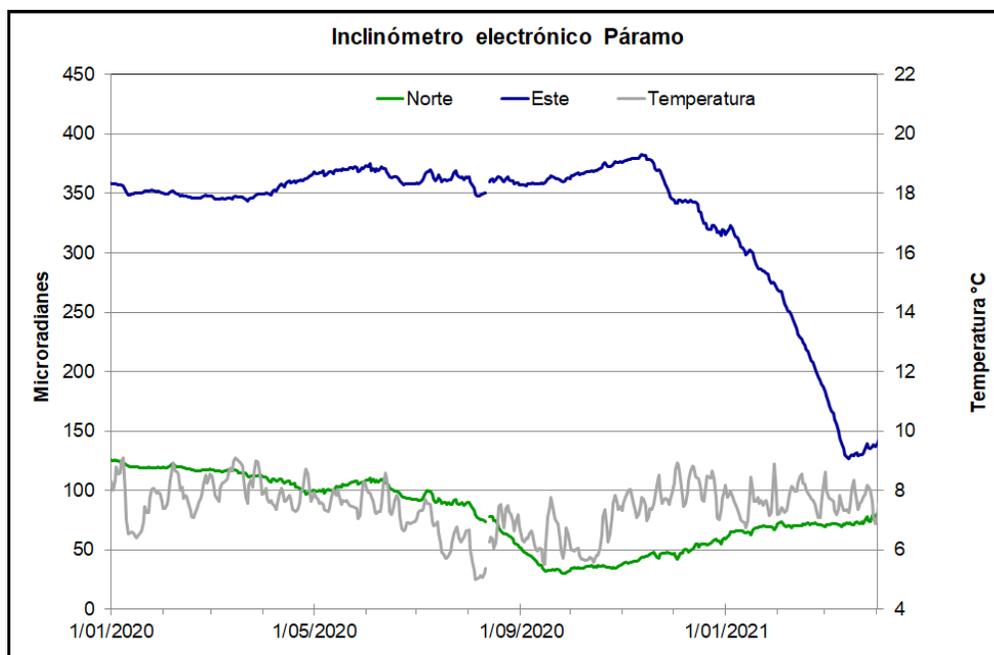


Figura 74. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021

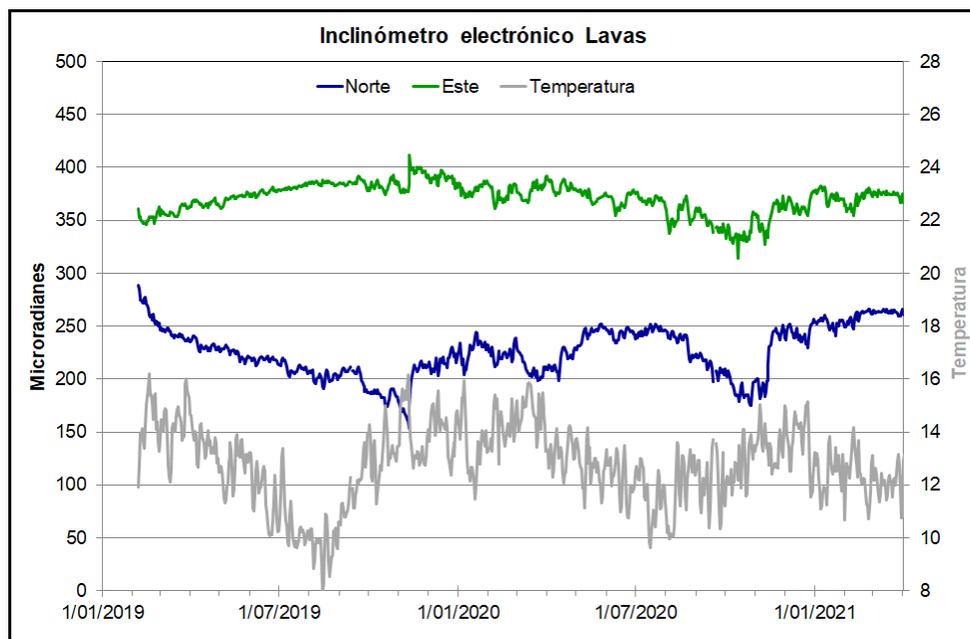


Figura 75. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 31 de marzo de 2021

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 76, se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, resaltando el descenso en la dirección Este de estos GNSS, registrando cerca de 10 mm para Lavas y 6 mm en La Palma.

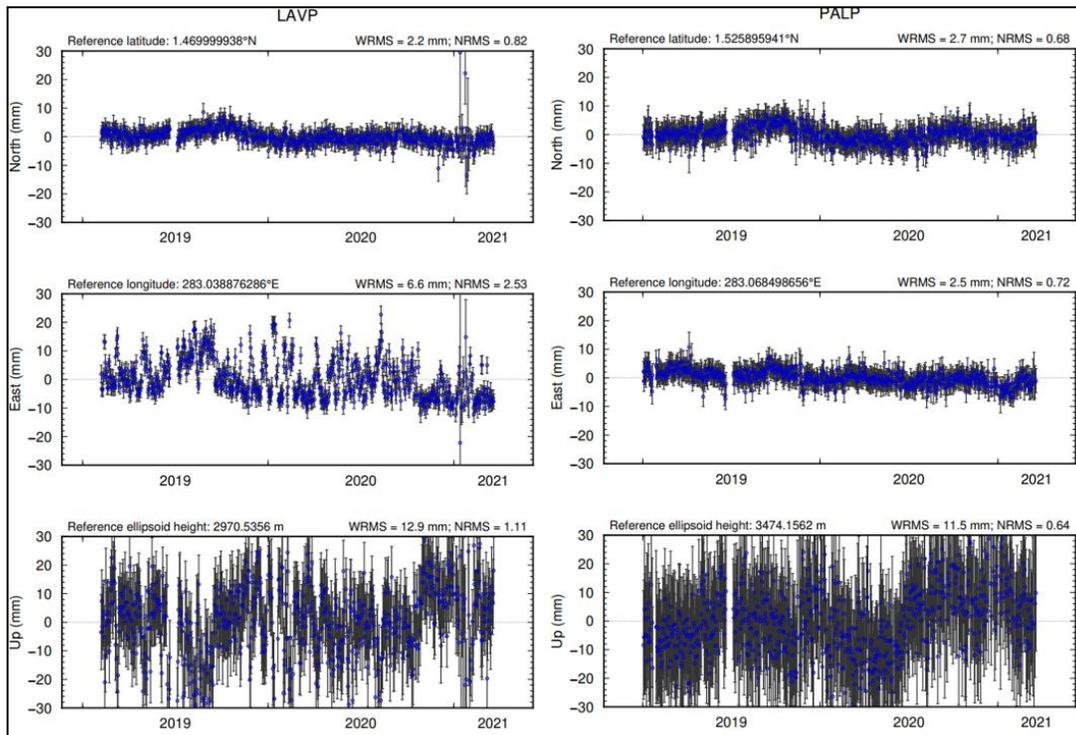


Figura 76. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes, en la Figura 77, se muestra su ubicación y en la Figura 78, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

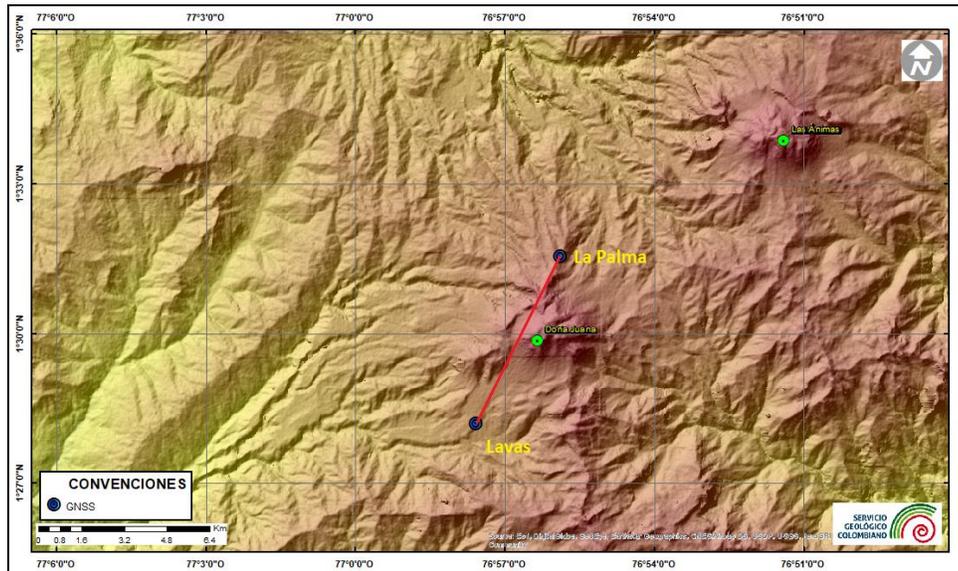


Figura 77. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

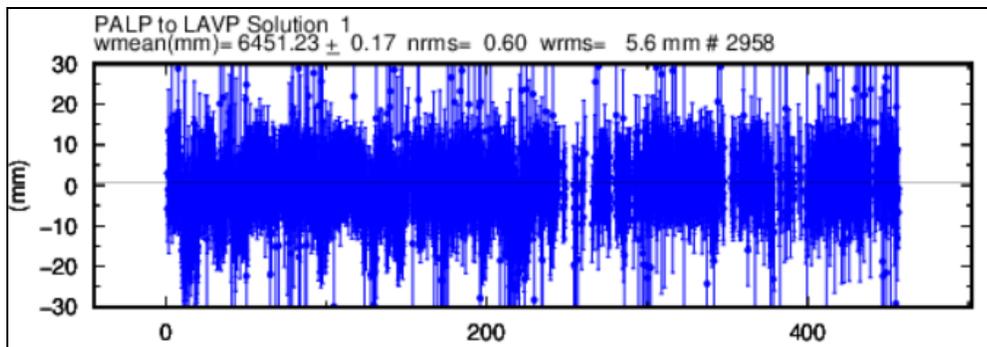


Figura 78. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

4.1.4 Geoquímica

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

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

4.1.5 Actividad Superficial

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

4.1.6 Conclusiones

- En marzo de 2021 se registró descenso en la ocurrencia sísmica, la cual estuvo asociada con fractura de roca de bajo nivel energético.

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

4.2 Actividad del Volcán Azufraal

4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 79 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufraal, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 20 se consignan sus características.

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

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

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufraal se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Para el periodo evaluado se cuentan con cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Lobo, Laguna y Ventana (Figura 80).

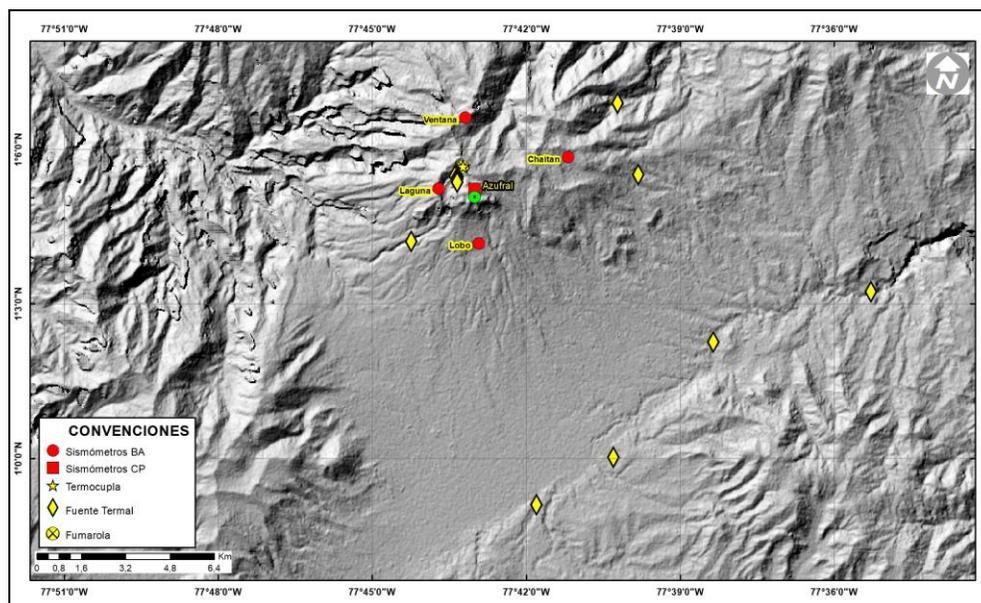


Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de marzo de 2021

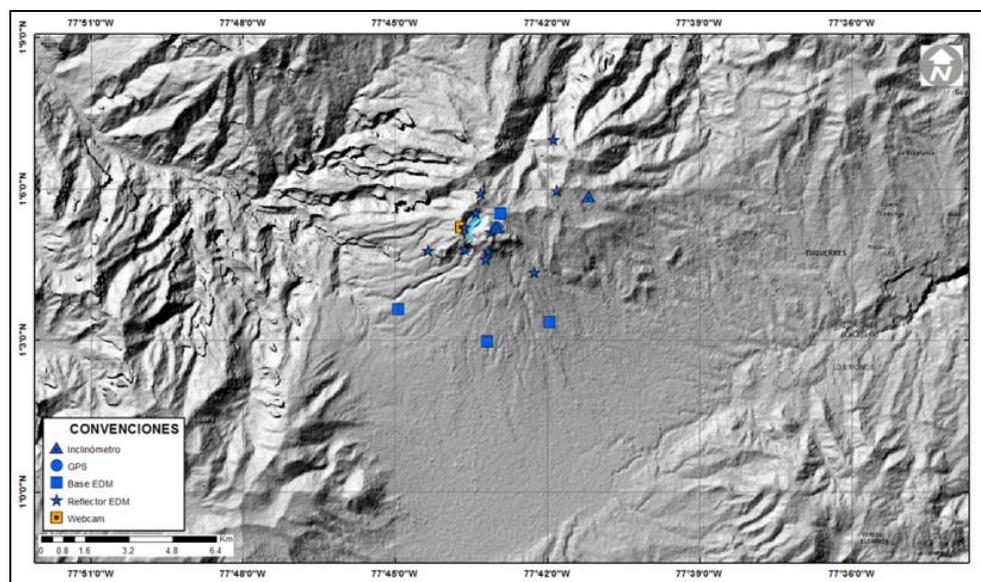


Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de marzo de 2021

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de marzo de 2021

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

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 91 % para este mes (Figura 81).

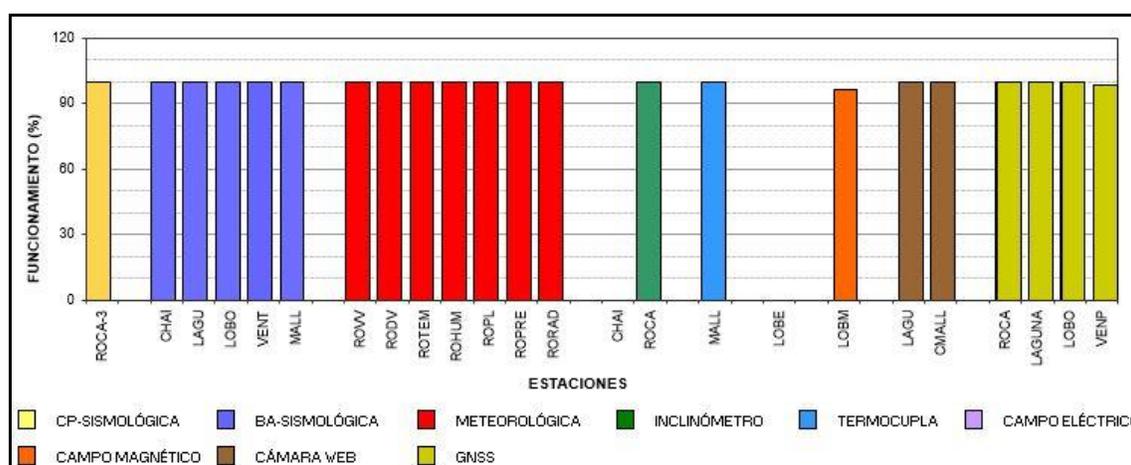


Figura 81. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante marzo de 2021

4.2.2 Sismología

En marzo de 2021 y dentro de niveles bajos de actividad, la sismicidad de Azufral tuvo un leve incremento del 4.2% en comparación a lo registrado en el mes de febrero, pasando de 48 a 50 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical (VT) con 41 sismos, seguida por aquella sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LPS) con 5 eventos y se tuvo registro de 4 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de clasificar) que corresponde al 8.0% del total de sismos (Tabla 21, Figura 82). Se localizaron 12 sismos, los cuales se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, con distancias epicentrales menores a 12.5 km respecto a la Laguna cratérica, profundidades menores a 21 km con respecto a su cima (4200 m.s.n.m.) y magnitud local máxima de 4.1 en la escala de Richter. Se resalta el sismo registrado el 29 de marzo a las 7:25 p.m., ubicado a 5.1 km al suroriente del cono activo, con profundidad de 16 km y con magnitud local de 4.1 en la escala de Richter, el cual se reportó sentido en Túquerres, El Espino y Guachucal (Figura 83). La energía sísmica liberada por todos los eventos fue de 5.54×10^{14} ergios.

Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufral entre diciembre de 2020 y marzo de 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-dic-20 a 31-dic-20	28	1	0	0	1	30
01-ene-21 a 31-ene-21	25	0	0	0	1	26
01-feb-21 a 28-feb-21	43	1	0	1	4	48
01-mar-21 a 31-mar-21	41	5	0	0	4	50

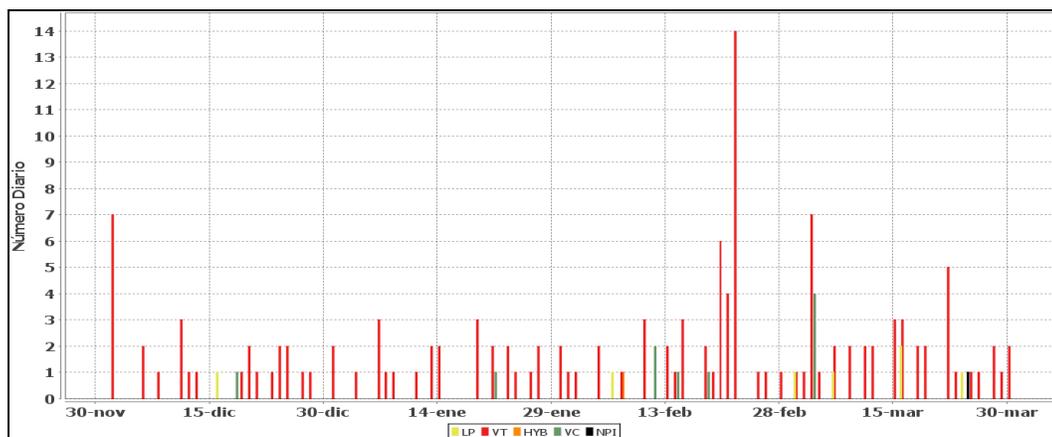


Figura 82. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

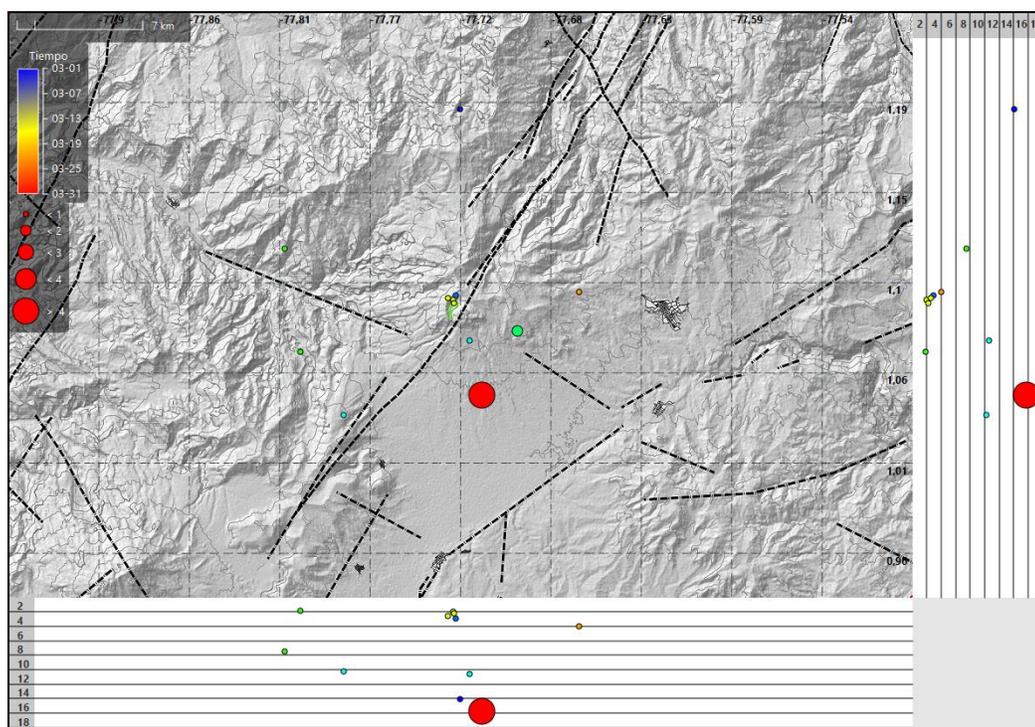


Figura 83. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en marzo de 2021

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclinometría Electrónica

La red de deformación del volcán AzufraI cuenta con dos inclinómetros y cuatro GNSS. El inclinómetro Chaitán está por fuera desde el 3 de octubre de 2020.

Las componentes del inclinómetro La Roca, muestran comportamientos ascendentes, la Norte tiene esta tendencia desde septiembre de 2018 con cerca de 86 μrad y la Este con 95 μrad desde diciembre de 2018 (Figura 84).

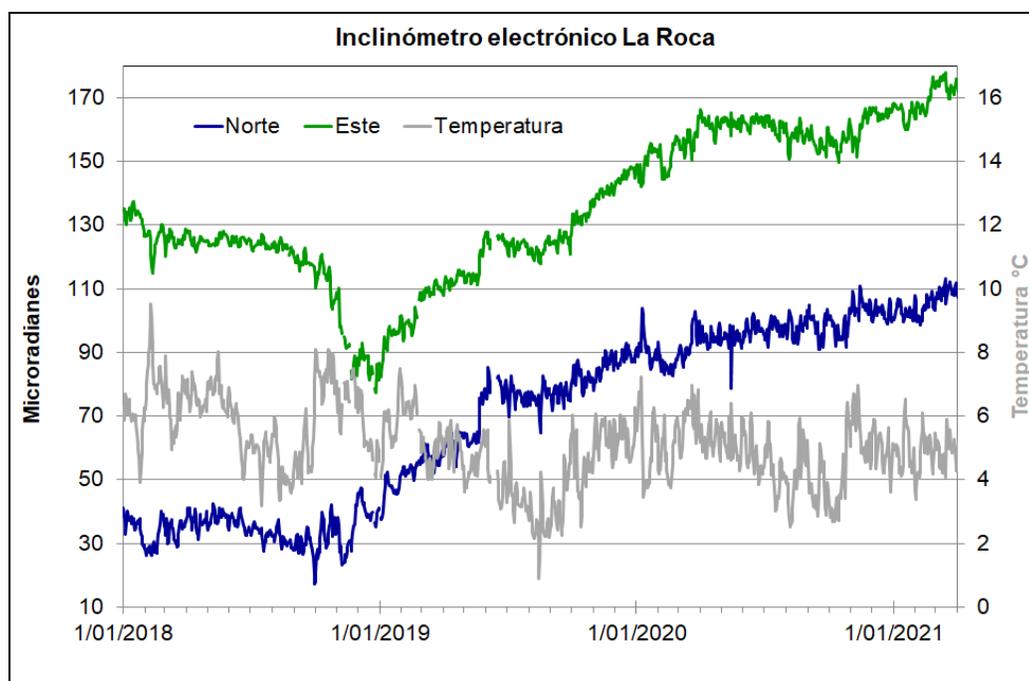


Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2021

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que

describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 85, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura del GNSS Laguna, se resalta la ligera tendencia ascendente que se presenta en la dirección Este, acumulando cerca de 12 mm desde 2019. Las estaciones Lobo, Ventana y Roca mantienen tendencias estables, en la Figura 86 se muestran las series temporales de la estación La Roca.

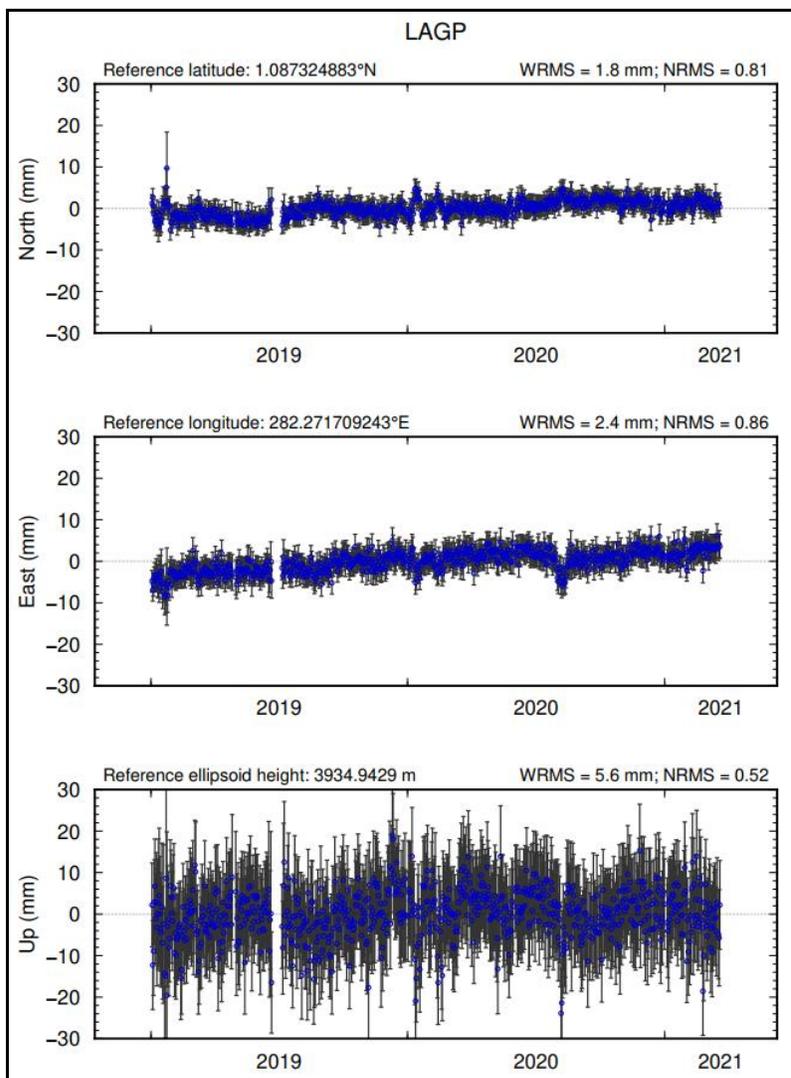


Figura 85. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

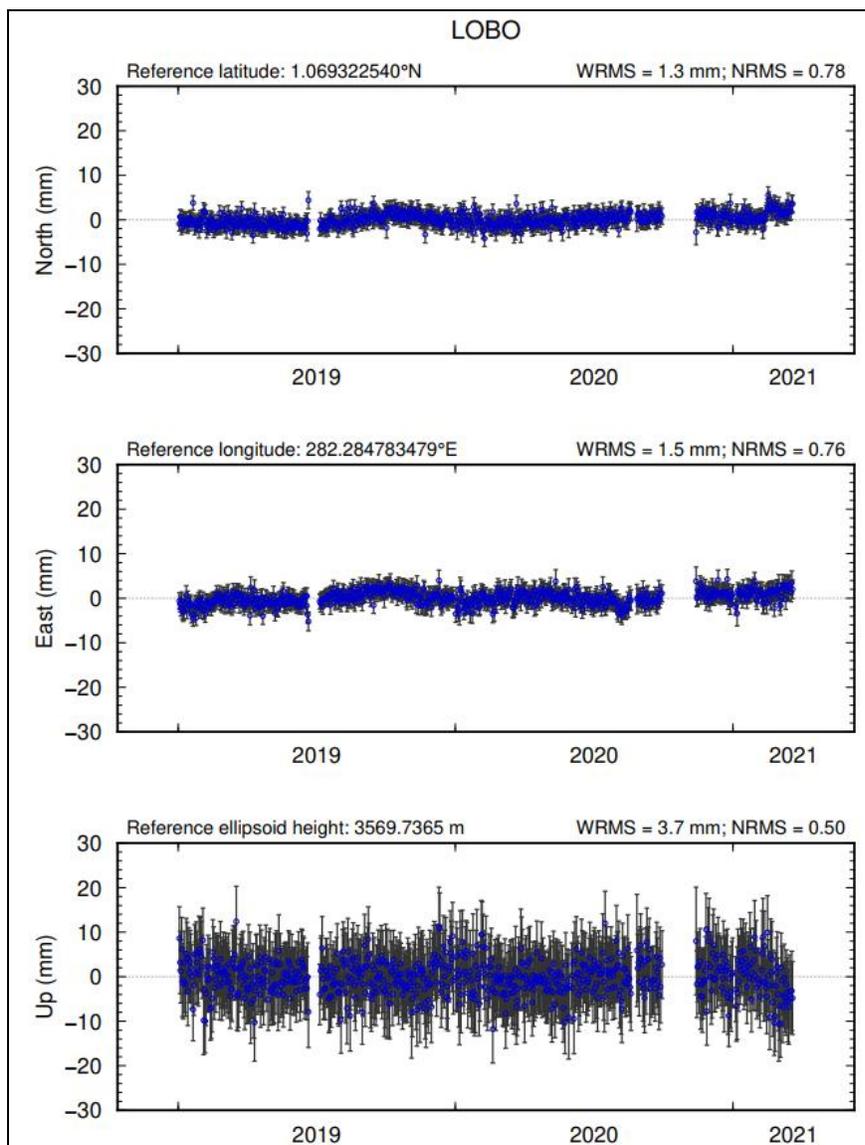


Figura 86. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente La Roca instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 20 de marzo de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga,

en la Figura 87, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 88, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas líneas.

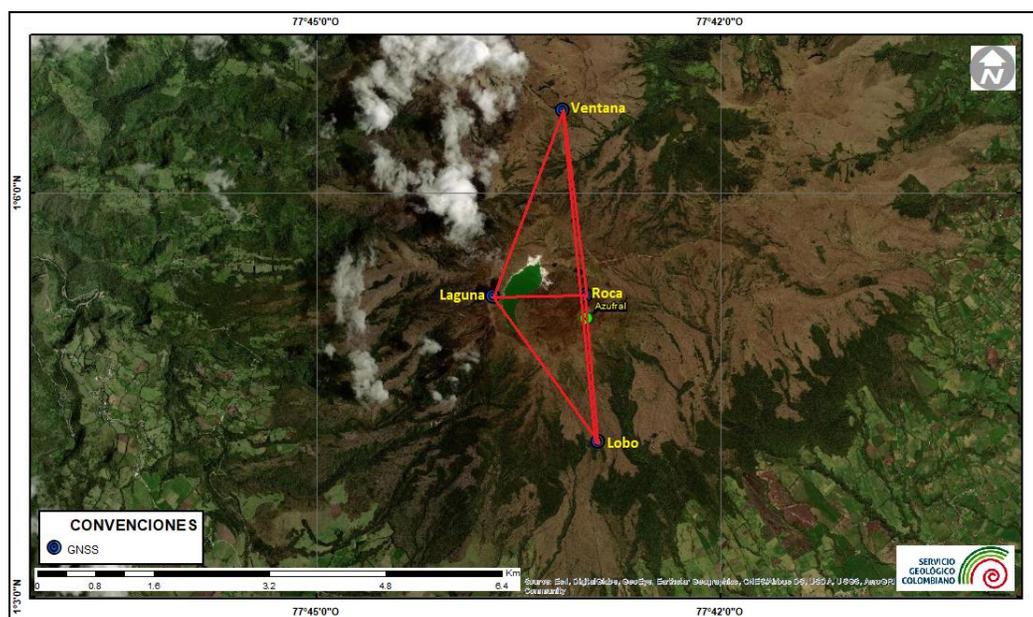


Figura 87. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

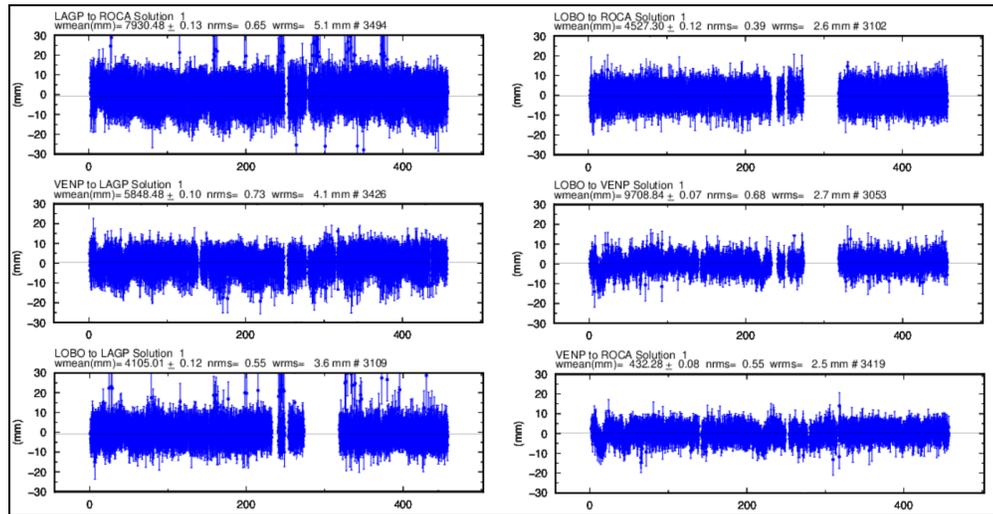


Figura 88. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de marzo de 2021. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

4.2.4 Electromagnetismo

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

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán AzufraI

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

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán AzufraI

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

4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán Azufral

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

4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

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

En la Figura 89, se muestra la gráfica temporal de los datos registrados en la estación climatológica y los valores numéricos en la Tabla 22, para el periodo evaluado se observan cambios en la dirección del viento para algunos días del mes de marzo, los cuales no tienen relación con la actividad del volcán Azufral. Los otros parámetros presentan variaciones características de su respectivo comportamiento.

Tabla 22. Datos parámetros estación climatológica La Roca - marzo de 2021

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)
Med.	4,7	200,3	4,3	629,9	98,9
Máx.	13,9	344,9	13,1	632,4	1126,8
Mín.	0,1	24,6	1,4	627,3	0,0
Acu.	--	--	--	--	--

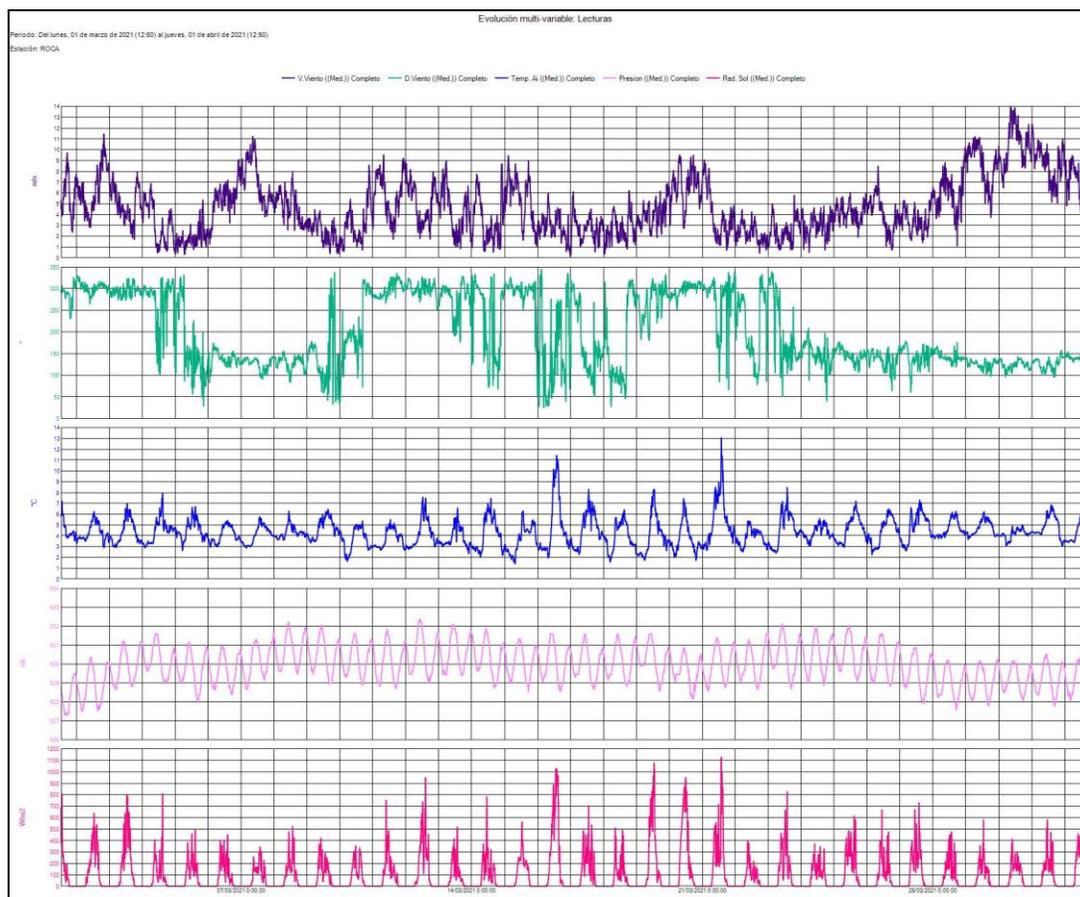


Figura 89. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufra – marzo 2021

Finalizando el mes de marzo se registra un leve incremento en la velocidad del viento alcanzando valores máximos de 13,9 m/s. En la dirección del viento, las mayores fluctuaciones se presentan desde el 6 hasta el 20 de marzo, registrándose valores hasta 344,9 °, los cambios presentados no se encuentran relacionados con cambios en la actividad volcánica. Las otras variables, se encuentran dentro de la línea base del comportamiento.

4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes del domo Mallama

ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 1, 2, 4, 05, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 23 Y 27 del mes de marzo de 2021.

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

En las Figuras 91 a 96 se ilustran imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 1 de marzo de 2021 a las 7:28 a.m., (izquierda) y el 2 de marzo de 2021 a las 8:18 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

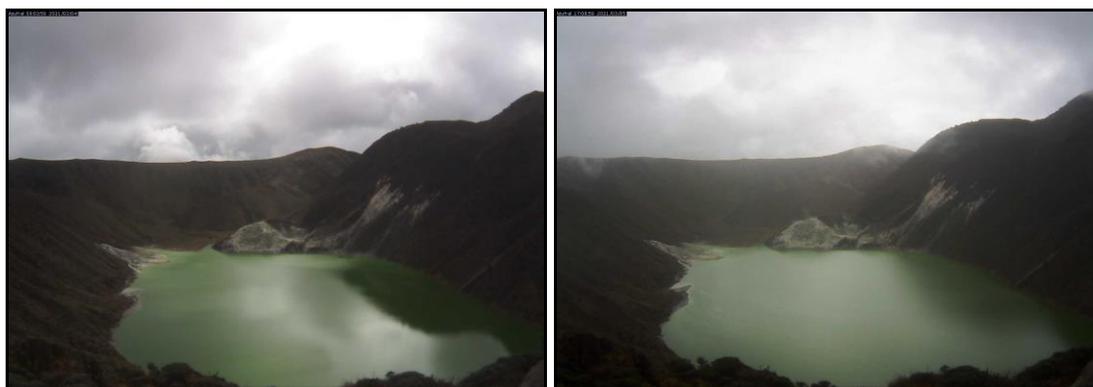


Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 4 de marzo de 2021 a las 9:03 a.m., (izquierda) y el 5 de marzo de 2021 a las 5:08 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

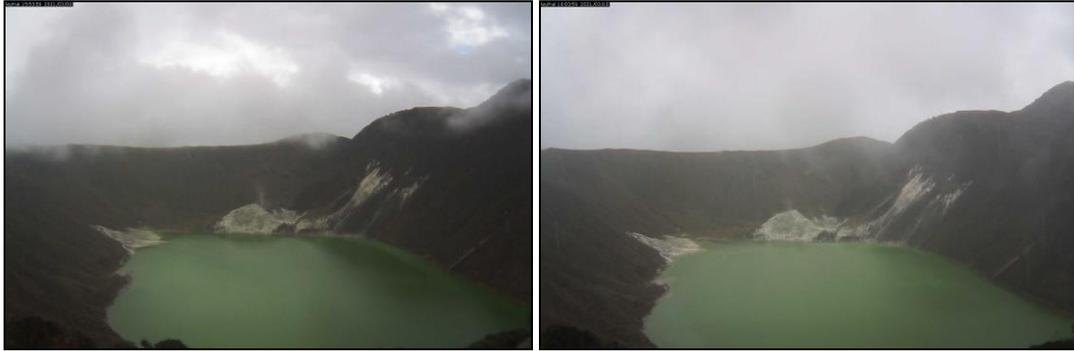


Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 9 de marzo de 2021 a las 3:53 p.m., (izquierda) y el 10 de marzo de 2021 a las 4:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 13 de marzo de 2021 a la 1:08 p.m., (izquierda) y el 14 de marzo de 2021 a las 8:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

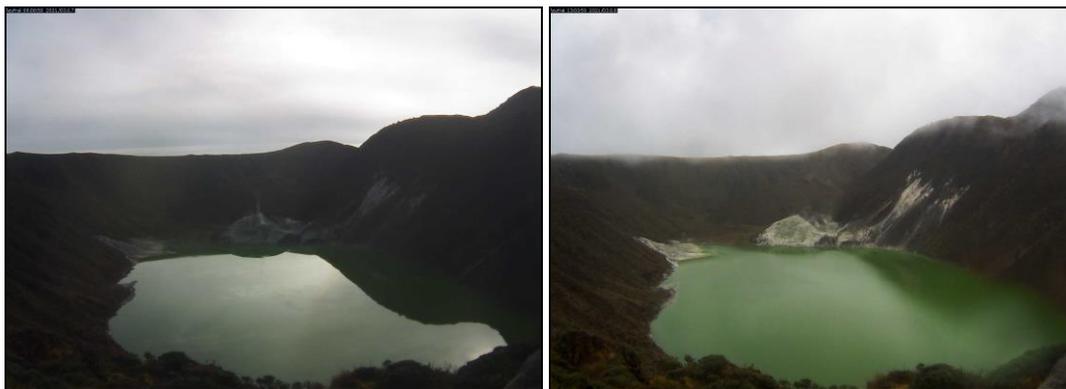


Figura 94. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registradas el 17 de marzo de 2021 a las 5:58 a.m., (izquierda) y el 18 de marzo de 2021 a la 1:03 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 95. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 19 de marzo de 2021 a las 6:53 a.m., (izquierda) y el 21 de marzo de 2021 a las 7:43 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 96. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 23 de marzo de 2021 a las 7:18 a.m., (izquierda) y el 27 de marzo de 2021 a las 7:33 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

- En marzo de 2021 la sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán Azufral aumentó levemente su ocurrencia con eventos asociados con fractura de material cortical (VT) y del cual se resalta el sismo registrado el 29 de marzo a las 7:25 p.m. ubicado a 5.1 km al suroriente del cono activo, con profundidad de 16 km y con magnitud local de 4.1 en la escala de Richter, el cual se reportó sentido Túquerres, El Espino y Guachucal.
- Se registra estabilidad en las variables con excepción de la dirección y velocidad del viento, sin estar relacionado con la actividad volcánica.

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

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2021). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internos del SGC-OVSP. Meses de diciembre de 2020, enero, febrero y marzo de 2021. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

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

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