

**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL
FEBRERO 2020**

San Juan de Pasto, marzo de 2020

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 E
Betty Silva Parra
Carlos Andrés Laverde
Cárdenas Santacruz Rafael
Darío Fernando Arcos
Edgar Antonio Muñoz
Jorge Edison Mora Arroyo
John Meneses Muñoz
Jairo Antonio Ortiz
Lourdes Narváez Medina
Oscar Cadena
Paola Andrea Narváez
Patricia Ponce
Roberto Torres
Richard Mier Portilla
Yenny Hache Timana

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – FEBRERO DE 2020	18
1.1 Red de Vigilancia	18
1.2 Sismología	23
1.3 Deformación	28
1.3.1 Inclínometría Electrónica	28
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	32
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM	34
1.4 Electromagnetismo	34
1.5 Geoquímica	40
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	40
1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo	40
1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales	43
1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales	43
1.6 Actividad Superficial	44
1.7 Conclusiones	47
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – FEBRERO DE 2020	48
2.1 Red de Vigilancia	48
2.2 Sismología	51
2.3 Deformación	55
2.4 Electromagnetismo	58
2.5 Geoquímica	58
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	58
2.6 Actividad Superficial	58
2.7 Conclusiones	60
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – FEBRERO DE 2020	61
3.1 Ubicación Geográfica	61
3.2 Red de Vigilancia	61
3.3 Sismología	64
3.4 Deformación	68
3.4.1 Inclínometría Electrónica	68
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	72
3.4.2 Electromagnetismo	73
3.5 Geoquímica	76

3.5.1	Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	76
3.5.2	Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	76
3.5.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	76
3.6	Actividad Superficial	76
3.7	Conclusiones	77
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – FEBRERO DE 2020	77
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y las Ánimas.	78
4.1.1	Red de Vigilancia	78
4.1.2	Sismología	81
4.1.3	Deformación	82
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	82
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	85
4.1.4	Electromagnetismo	86
4.1.5	Geoquímica	86
4.1.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	86
4.1.6	Actividad Superficial	87
4.1.7	Conclusiones	87
4.2	Actividad del Volcán Azufral	87
4.2.1	Red de Vigilancia	87
4.2.2	Sismología	89
4.2.3	Deformación	91
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	91
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	93
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	94
4.2.4	Electromagnetismo	96
4.2.5	Geoquímica	101
4.2.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral	101
4.2.5.2	Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufral	101
4.2.5.3	Estación térmica Mallama volcán Azufral	101
4.2.5.4	Estación Climatológica La Roca	102
4.2.6	Actividad Superficial	103
4.2.7	Conclusiones	105
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2020	20
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2020	20
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia - febrero de 2020	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en febrero de 2020	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	24
Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	24
Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	25
Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre enero y febrero de 2020 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para febrero de 2020	26
Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, febrero de 2020	27
Figura 10. 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 2016 y el 29 de febrero de 2020	29
Figura 11. 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 2016 y el 29 de febrero de 2020	29
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 2016 y el 29 de febrero de 2020	30
Figura 13. 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 2016 y el 29 de febrero de 2020	30
Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020	31

Figura 15. 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 2017 y el 29 de febrero de 2020	31
Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 29 de febrero de 2020	32
Figura 17. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 15 de febrero de 2020	33
Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Cobanegra instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020	34
Figura 19. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde), DEF (roja) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020	36
Figura 20. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta)	36
Figura 21. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en febrero de 2020	37
Figura 22. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en febrero de 2020	38
Figura 23. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MJAP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm	39
Figura 24. Variaciones del CEH, en la estación FRA (verde) de la red de monitoreo de Galeras, para el mes de febrero, 2020, comparado con el comportamiento del régimen de lluvias MIJP (azul), para el mismo periodo de tiempo	39
Figura 25. Registro en frecuencias del CEH, en la estación FRA, en febrero de 2020	40
Figura 26. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, durante el mes de febrero, 2020	40
Figura 27. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras	41
Figura 28. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (octubre 2018 – febrero 2020)	42
Figura 29. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (junio 2018 – febrero 2020)	43

Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 04 de febrero de 2020 a las 01: 02 pm, (izquierda) y desde Bruma el día 05 de febrero de 2020 a las 04:26 p.m. (derecha)	44
Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 07 de febrero de 2020 a las 10: 10 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero de 2020 a las 06:43 a.m., (derecha)	45
Figura 32. El sistema satelital PlanetScope (espectro visible, 3 metros por pixel resolución espacial horizontal), capturada el día 11 de febrero de 2020, a las 10:15 a.m.	45
Figura 33. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 13 de febrero de 2020 a las 09: 03 am, (izquierda) y desde Bruma el día 14 de febrero de 2020 a las 04:04 p.m. (derecha)	46
Figura 34. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 20 de febrero de 2020 a las 04: 37 pm., (izquierda) y desde Barranco el día 21 de febrero de 2020 a las 06:08 a.m. (derecha)	46
Figura 35. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 22 de febrero de 2020 a las 07: 25 a.m., (izquierda) y desde Barranco el día 23 de febrero de 2020 a las 06:00 a.m.(derecha)	47
Figura 36. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 24 de febrero de 2020 a las 06: 15 am., (izquierda) y desde Barranco el día 29 de febrero de 2020 a las 01:47 p.m. (derecha)	47
Figura 37. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de febrero de 2020	49
Figura 38. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de febrero de 2020	50
Figura 39. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2020	50
Figura 40. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	52
Figura 41. Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero de 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero de 2020	52
Figura 42. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 10 de febrero a la 1:04 a.m. en las componentes verticales de las estaciones La Mesa y Limones del CVC	53

Figura 43. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	54
Figura 44. Localizaciones de VT registrados en febrero de 2020 en el CVC	55
Figura 45. 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 29 de febrero de 2020	56
Figura 46. 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 29 de febrero de 2020	56
Figura 47. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020	57
Figura 48. 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 septiembre de 2018 y el 29 de febrero de 2020	57
Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 04 de febrero de 2020 a las 03:29 p.m., (izquierda) y El Verde el día 05 de febrero de 2020 a las 03:26 p.m. (derecha)	58
Figura 50. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el día 07 de febrero de 2020 a las 10:43 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero a las 03: 10 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	59
Figura 51. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 11 de febrero de 2020 a las 03: 12 p.m., (izquierda) y el Boliche el día 20 de febrero de 2020 a las 06:19 p.m. (derecha)	59
Figura 52. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 22 de febrero de 2020 a las 07:39 a.m., (izquierda) y El Verde el día 23 de febrero de 2020 a las 06:25 a.m. (derecha)	60
Figura 53. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el día 26 de febrero de 2020 a las 07 : 59 a.m., (izquierda) y el día 29 de febrero a las 06: 26 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	60

Figura 54. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	61
Figura 55. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2020	62
Figura 56. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero de 2020	64
Figura 57. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	65
Figura 58. Energía diaria de sismos registrados entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	66
Figura 59. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en febrero de 2020	67
Figura 60. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre. Superior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020. Inferior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación, en la Norte desde el 21 de abril de 2019 y en la Este desde el 27 de mayo de 2019	69
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 29 de febrero de 2020	70
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. Superior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020. Inferior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación desde el 27 de mayo de 2019	71
Figura 63. Vector resultante de los inclinómetros Chiles, Morro y Cerro Negro entre abril de 2019 y febrero de 2020. Los vectores muestran una posible inflación hacia el sur-oeste del volcán Cerro Negro	72
Figura 64. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 29 de febrero de 2020	73
Figura 65. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Chiles: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice K_p (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020	74

Figura 66. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de MOR y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta)	75
Figura 67. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones MOR y KOU, en febrero de 2020	75
Figura 68. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU, en febrero de 2020	76
Figura 69. 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	78
Figura 70. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de febrero de 2020	80
Figura 71. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2020	80
Figura 72. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	81
Figura 73. Sismos VT localizados en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, febrero de 2020	82
Figura 74. 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 2016 y el 29 de febrero de 2020	83
Figura 75. 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 29 de febrero de 2020	83
Figura 76. 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 2019 y el 29 de febrero de 2020	84
Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2018 y el 29 de febrero de 2020	85
Figura 78. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020	86
Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de febrero de 2020	88

Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de febrero de 2020	88
Figura 81. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante febrero de 2020	89
Figura 82. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	90
Figura 83. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en febrero de 2020	91
Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020	92
Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2019 y el 29 de febrero de 2020	92
Figura 86. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020	93
Figura 87. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 15 de febrero de 2020	94
Figura 88. Ubicación de la red EDM, dispuesta sobre la superficie del volcán Azufral, los círculos de color verde, indican la ubicación de los prismas reflectores y los triángulos de color amarillo, las respectivas Bases de medición	95
Figura 89. Información adquirida en ocupaciones de la red EDM instalada en el volcán Azufral, la última ocupación realizada fue a finales de febrero de 2020	96
Figura 90. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Azufral: LOB (naranja) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020	97
Figura 91. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de LOB y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta)	98
Figura 92. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones LOB y KOU, en febrero de 2020	98
Figura 93. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, en febrero de 2020	99
Figura 94. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral; LOB (naranja), para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría Geónica-Roca (azul), ubicada en la zona de influencia de Azufral. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm/h	100

Figura 95. Variaciones del CEH, en la estación LOB (verde) de la red de monitoreo de Azufral, para el mes de febrero, 2020, comparado con el comportamiento del régimen de lluvias en la estación Geónica-Roca (azul), para el mismo periodo de tiempo	100
Figura 96. Registro en frecuencias del CEH, en la estación LOB, en febrero de 2020	101
Figura 97. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación LOB, de monitoreo eléctrico en Azufral, durante el mes de febrero, 2020	101
Figura 98. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – febrero 2020	102
Figura 99. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el día 08 de febrero de 2020 a las 07: 43 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero de 2020 a las 07:53 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	103
Figura 100. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el día 11 de febrero de 2020 a las 07:58 a.m., (izquierda) y el día 14 de febrero de 2020 a las 08:28 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	104
Figura 101. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el día 21 de febrero de 2020 a las 12: 53 p.m., (izquierda) y el día 22 de febrero de 2020 a las 06:23 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	104
Figura 102. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el día 27 de febrero de 2020 a las 07: 28 a.m., (izquierda) y el día 29 de febrero de 2020 a las 07:38 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2020	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2020	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2020	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en febrero de 2020	22

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 sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2020. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	23
Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	25
Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 2.3 grados, volcán Galeras, febrero de 2020	27
Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras febrero 2020	42
Tabla 11. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras febrero 2020	43
Tabla 12. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2020	49
Tabla 13. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	51
Tabla 14. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	54
Tabla 15. Sismos con ML mayor o igual a 1.0 registrados en el CVC en febrero de 2020	54
Tabla 16. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	62
Tabla 17. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	63
Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	65
Tabla 19. Energía de eventos VT, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	65
Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 1.8 registrados en Chiles - Cerro Negro en febrero de 2020	67
Tabla 21. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2020	79
Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	81
Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de febrero de 2020	89

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados entre noviembre de 2019 y febrero de 2020	90
Tabla 25. Sismos con ML mayor o igual a 1.2 registrados en febrero de 2020 en la zona de influencia del volcán AzufraI	90
Tabla 26. Datos parámetros estación climatológica La Roca - febrero 2020	103

RESUMEN

Para el periodo evaluado y en comparación con el mes de enero, para Galeras se presentó un ligero descenso en la ocurrencia sísmica, con un total de 112 sismos, 97 de ellos, asociados con fractura de roca, la mayoría ubicados en dos fuentes, hacia el sector occidental y hacia el noreste del edificio volcánico, en general, los eventos se ubicaron a distancias menores a 14 km, con profundidades de hasta 15 km con respecto a su cima y su magnitud local máxima fue de 3.1 en la escala de Richter. Resaltándose los sismos Volcano – Tectónicos ocurridos el 3 y 7 de febrero a las 11:22 a.m. y 8:33 a.m., ubicados al noreste del Complejo Volcánico Galeras, con magnitudes de 2.3 y 3.1 respectivamente, que fueron reportados como sentidos por habitantes de los municipios de Nariño, La Florida y Chachagüí.

La sismicidad del complejo volcánico de Cumbal mostró un leve descenso en su ocurrencia, pasando de 1892 a 1709 eventos en comparación con el mes de enero. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca con 1014 eventos, que representan el 59%, actividad seguida por los sismos que involucran movimiento de fluidos de fuente transitoria con 621 eventos que equivalen al 36% del total. La mayoría de eventos tipo VT fueron de bajo nivel energético, y se localizaron en inmediaciones del cráter La Plazuela al nororiente del complejo volcánico, con profundidad menor de 8 km y magnitud local máxima de 1.3 en la escala de Richter.

En los volcanes Chiles y Cerro Negro con respecto a enero, se observó una disminución cercana al 38% en la ocurrencia sísmica, pasando de 1217 a 759 eventos, la mayoría de esta sismicidad se asocia con fractura de roca interior del volcán. El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 7 de febrero con un total de 49 eventos, de igual forma se observó un descenso en la energía liberada. Los sismos de fractura se ubicaron en dos fuentes diferenciables, la primera en el costado oriental del volcán Cerro Negro, a distancias entre cero y 3 km y profundidades menores de 5 km con respecto a su cima, con ML máxima de 1.1 Richter. La segunda fuente de sismos está ubicada en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, a distancias menores de 6 km, con profundidades de hasta 7 km con respecto a su cima, con ML máxima de 1.9 Richter.

Se mantienen los cambios de tendencia registrados por los sensores que monitorean los procesos deformativos sobre las superficies de estos volcanes.

La sismicidad en la región volcánica de Doña Juana y Las Ánimas, fue muy baja y con respecto al mes de enero disminuyó en un 66.7% en su ocurrencia pasando de 6 a 2 eventos, asociados con fractura de roca. Uno de ellos se localizó a 5 km al

noroccidente del volcán Doña Juana, a una profundidad de 11 km respecto a la cima volcánica y tuvo una magnitud de 0.4.

Para Azufral se tiene un total de 30 eventos, 26 de ellos, asociados a fractura de roca, la mayoría se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias entre 0.4 y 11 km respecto a la laguna cratérica, profundidades entre 3 y 10 km y ML máxima de 1.3 en la escala de Richter.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – FEBRERO DE 2020

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de febrero de 2020 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Dieciséis estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: cuatro de corto periodo y doce de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de infrasonido, ubicados en los sitios de las estaciones sísmicas Calabozo al occidente, Cráter-2 al sur e Ingenio al noroccidente (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).
- Una estación meteorológica, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente localizada al sur del cono activo (Figura 2).
- 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) localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Deformes, Frailejón y Barranco y dos estaciones de medición de campo eléctrico en Frailejón y Barranco (Figura 3, Tabla 5).

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

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 86 % (Figura 4).

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2020

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	4,4	SW	3977
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto Período	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-2	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
Cóndor	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Uniaxial	4,4	SW	3977
Cráter	CRAC	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	1,5	S	4032
Calabozo	CAMI	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	6,9	WSW	2313

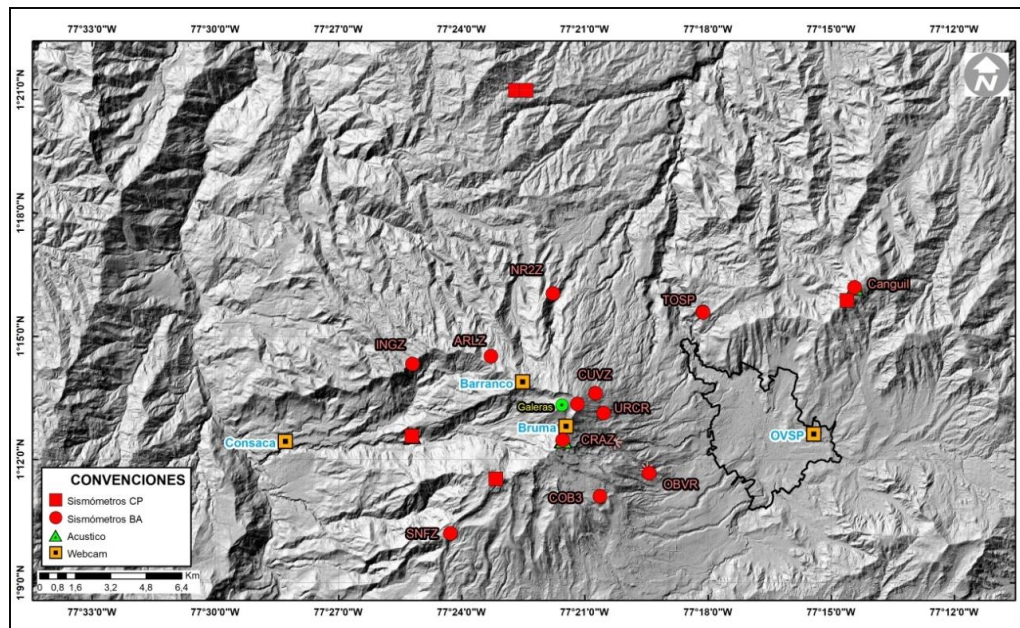


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2020

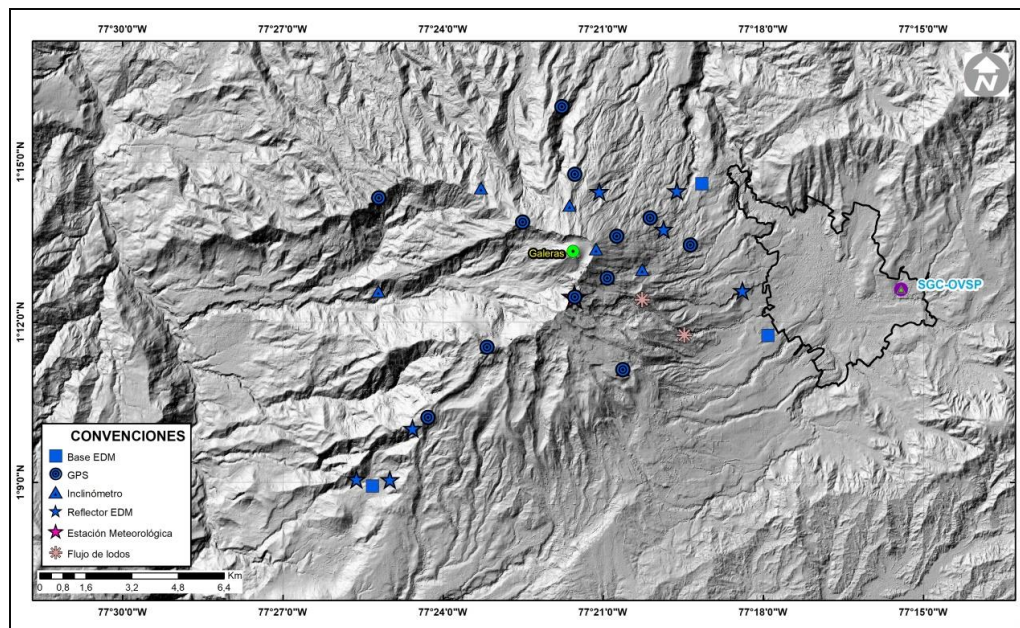


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en febrero de 2020

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2020

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	4.0	NW	3450
Cóndor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en febrero de 2020

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	7.0	WNW	2907
Chiguaco	2.8	NNE	3513
Cufiño	1.4	E	3827
Peladitos	1.4	SE	3850
Nariño	5.0	N	2870
Cóndor Pasto	4.9	SW	3985
Cobanegra	3.9	SSE	3625
Mapachico	2.9	NE	3268

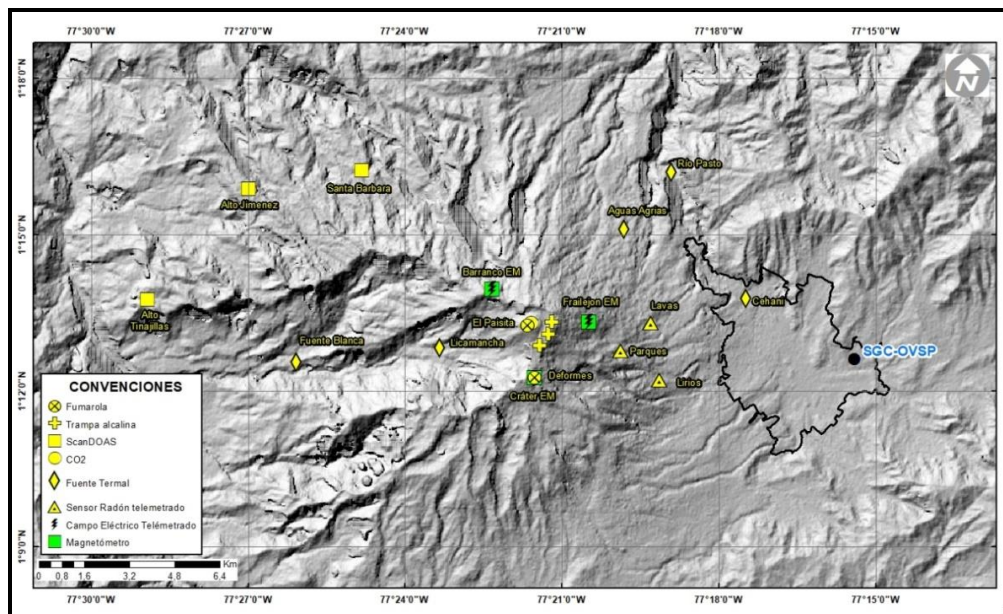


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia - febrero de 2020

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en febrero de 2020

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)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	NW	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

* 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
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.0	NW	3800
Barranco	Digital	Magnético	Triaxial	2.0	NW	3800
Deformes	Digital	Magnético	Triaxial	1,9	SSE	4001

Tabla 6. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de febrero de 2020. 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	3358
Lava1	4,5	E	3053
Lirios	4,7	SE	3000

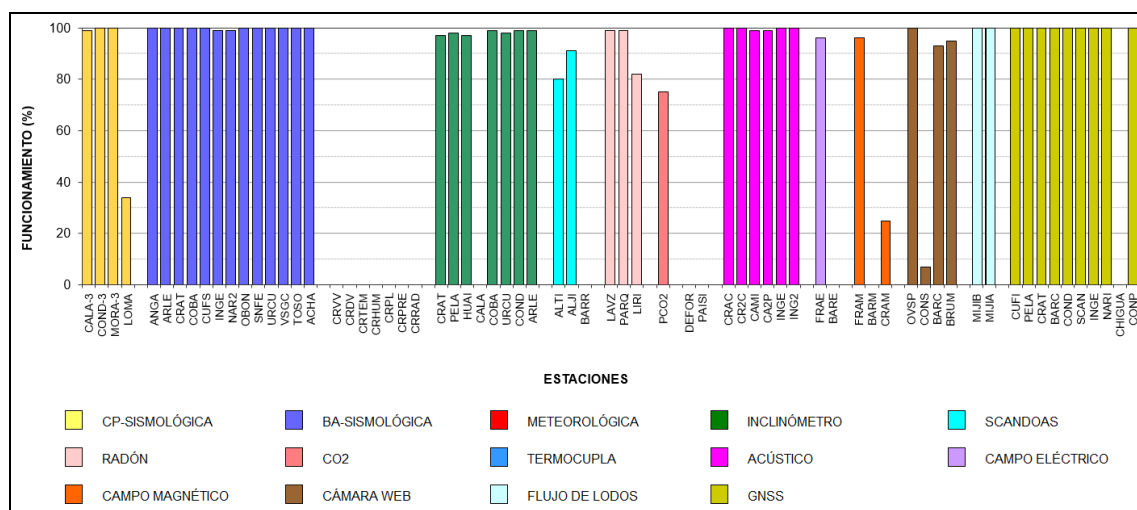


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en febrero de 2020

1.2 Sismología

En febrero de 2020 la sismicidad volcánica disminuyó su número en un 18.8%, pasando de 138 a 112 eventos, en comparación con enero de 2020. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 97 sismos que representan el 86.6% del total. La sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) registró 8 eventos que representan el 7.1%. Se registraron 8 eventos que involucran fractura de roca seguida por tránsito de fluidos o de tipo híbrido (HIB) y se tuvo registro de 5 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados). No se tuvo registro de episodios de tremor o eventos de fluidos de fuente permanente (TRE). Los sismos de tipo VT disminuyeron su número en un 28.1%, pasando de 135 a 97 eventos; los sismos de tipo LP aumentaron en 4 veces, pasando de 2 eventos a 8. El pico de ocurrencia sísmica diaria fue de 9 eventos, todos ellos de tipo VT, registrado el día 9 de febrero (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	109	5	0	0	0	114
01-dic-19 a 31-dic-19	76	3	0	0	0	79
01-ene-20 a 31-ene-20	135	2	0	1	0	138
01-feb-20 a 29-feb-20	97	8	0	2	5	112

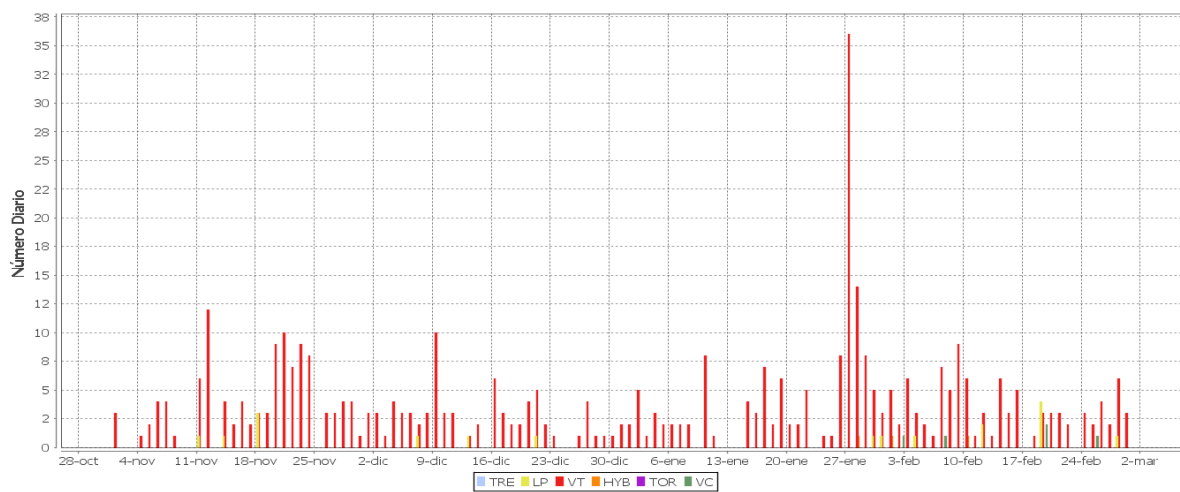


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

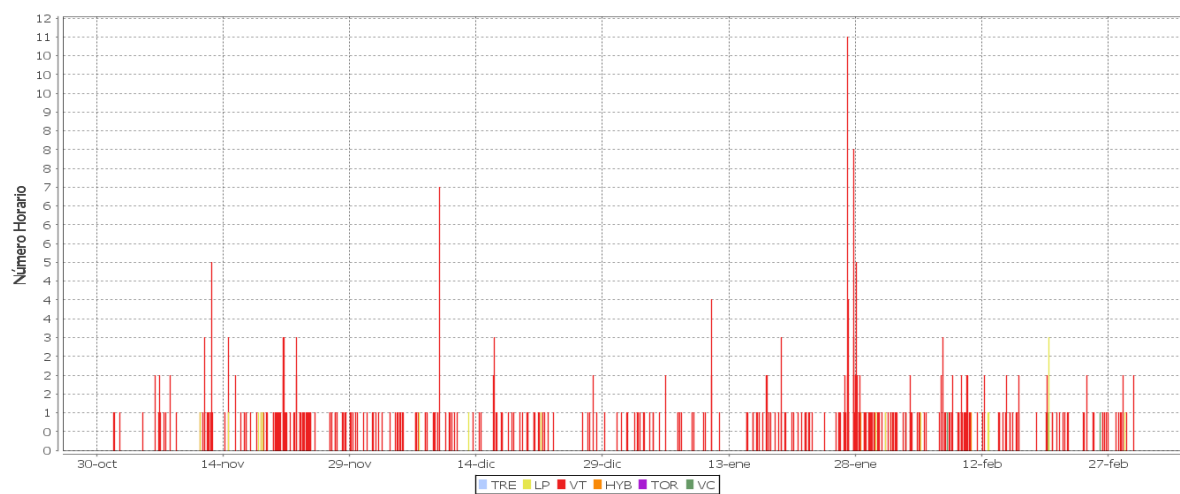


Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

La energía sísmica liberada en febrero de 2020 disminuyó en un 81.5%, pasando de 1.38×10^{15} ergios a 2.56×10^{14} ergios, en comparación con lo registrado en enero. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 99.9% de la energía sísmica del mes. Los sismos de tipo LP disminuyeron su energía en un orden de magnitud, pasando de 2.03×10^{12} ergios a 1.63×10^{11} ergios. El pico energético del mes se registró el 7 de febrero con 2.18×10^{14} ergios, debido al registro de un sismo de magnitud 3.1 y que fue reportado como sentido por habitantes de la ciudad de Pasto (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	1.78E+14	3.21E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.78E+14
01-dic-19 a 31-dic-19	7.36E+15	9.73E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.36E+15
01-ene-20 a 31-ene-20	1.38E+15	2.03E+12	0.00E+00	1.93E+12	0.00E+00	1.38E+15
01-feb-20 a 29-feb-20	2.56E+14	1.63E+11	0.00E+00	5.96E+10	5.89E+10	2.56E+14

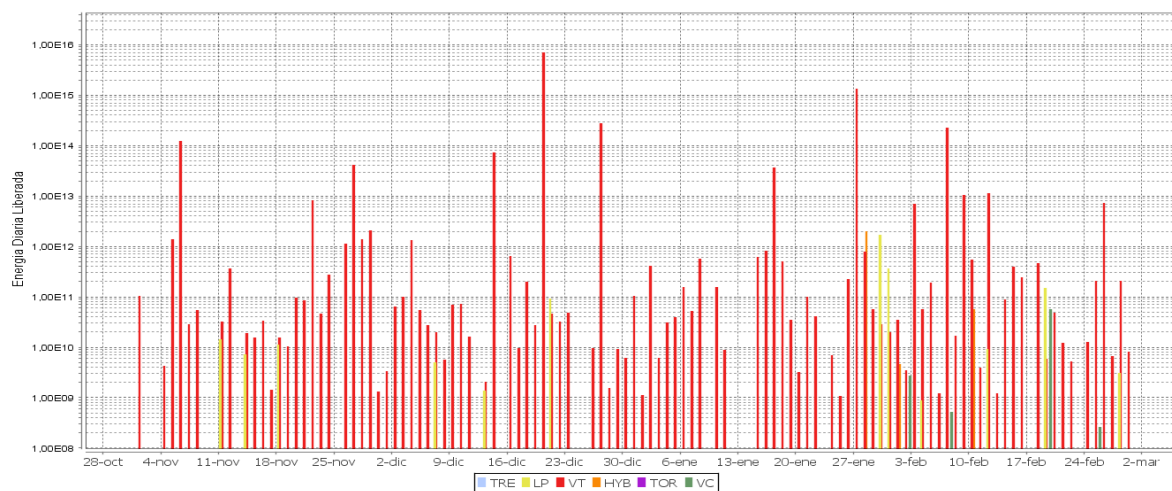


Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

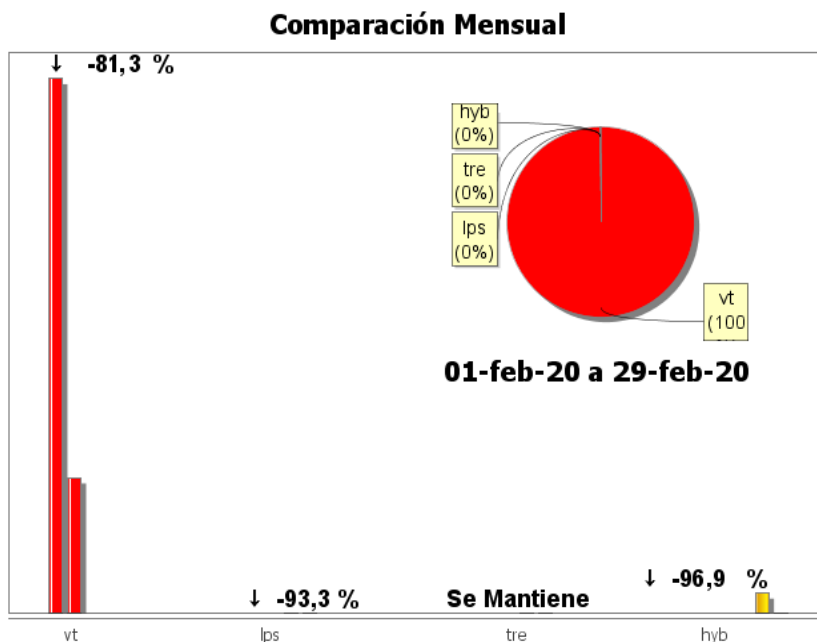


Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre enero y febrero de 2020 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para febrero de 2020

Fueron localizados 62 VT, ubicados en dos fuentes: la primera hacia el sector occidental del edificio volcánico, a una distancia epicentral promedio de 6 km respecto al cráter activo y a una profundidad entre los 8 y 9 km respecto a su cima (4270 msnm); la segunda fuente se localizó en el sector noreste del volcán, a una distancia máxima de 14 km del cráter activo y a una profundidad de alrededor de 10 km respecto de su cima. Se resaltan los sismos Volcano – Tectónicos registrados el 3 y 7 de febrero a las 11:22 a.m. y 8:33 a.m., a distancias de 14 km y 11 km al noreste del Complejo Volcánico Galeras, con magnitudes de 2.3 y 3.1 respectivamente, que fueron reportados como sentidos por habitantes de los municipios de Nariño, La Florida y Chachagüí (Figura 9).

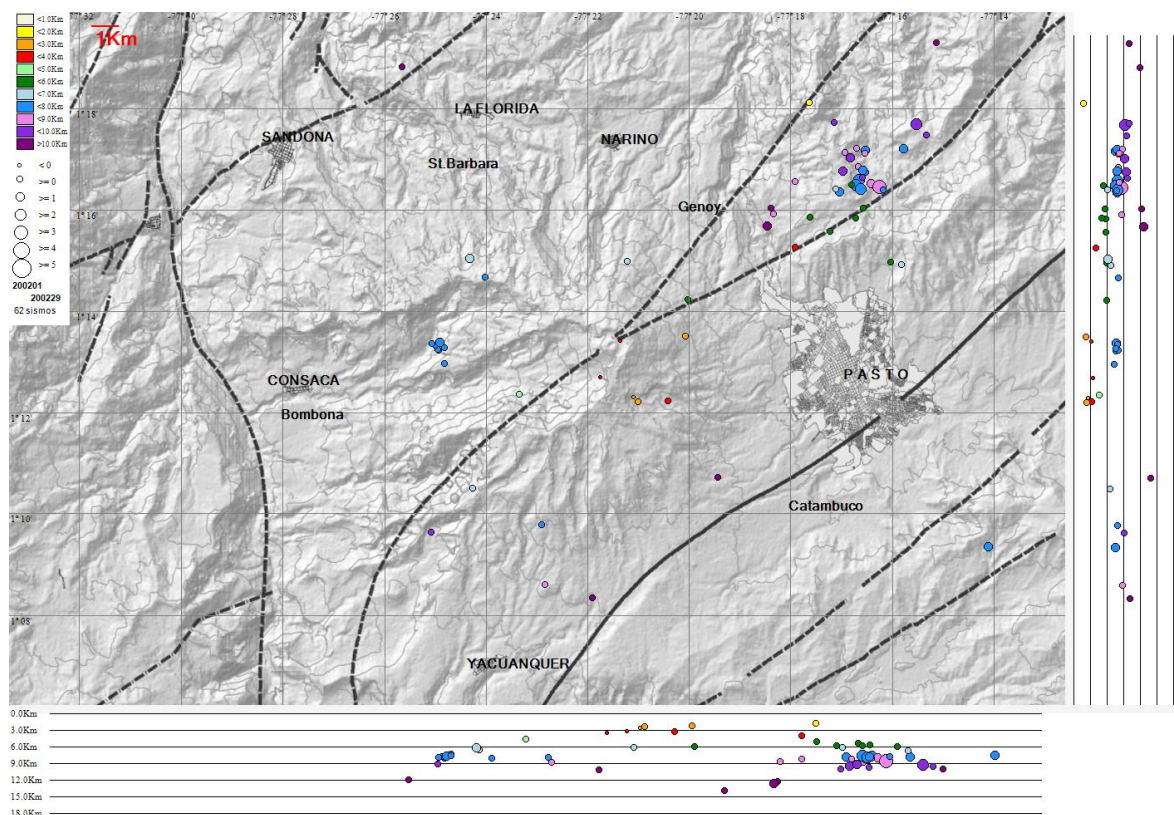


Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, febrero de 2020

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan los dos sismos VT sentidos, con magnitud local igual o superior a 2.3 en la escala de Richter, en la Tabla 9 se consignan sus características de localización.

Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 2.3 grados, volcán Galeras, febrero de 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
3/02/2020	11:22	1°17.70'	77°15.94'	7.8	2.35
7/02/2020	8:33	1°16.46'	77°16.26'	11.4	3.1

1.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 7 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas.

1.3.1 Inclinometría Electrónica

Se evidencian comportamientos estables en las componentes de inclinación de las estaciones de Cráter, Huairatola y Peladitos, con variaciones que pueden estar asociadas a la temperatura imperante en la zona (Figuras 10, 11 y 12).

Continua la tendencia descendente en la componente Norte del inclinómetro electrónico Arles, registrando cerca de 22 μ rad desde el mes de junio de 2018 (Figura 13). De igual forma persiste el comportamiento descendente en la componente Este del inclinómetro electrónico Cóndor, observado desde el mes de octubre de 2017 con variaciones menores de 5 μ rad (Figura 14).

El inclinómetro Cobanegra (Figura 15) desde septiembre de 2017, mantiene la tendencia ascendente en la componente Este, alcanzando 79 μ rad, en la Norte se evidencia un cambio de tendencia, de ascendente a descendente desde diciembre de 2019, descenso que registra 64 μ rad.

Los cambios observados en las componentes de inclinación de Urcunina, pueden estar asociados a la temperatura ambiente (Figura 16).

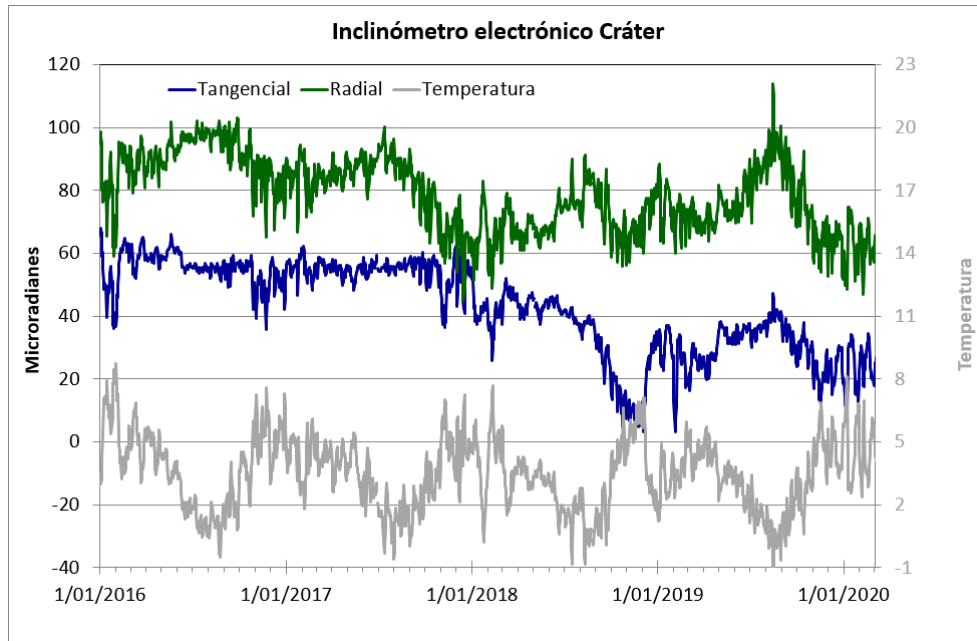


Figura 10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

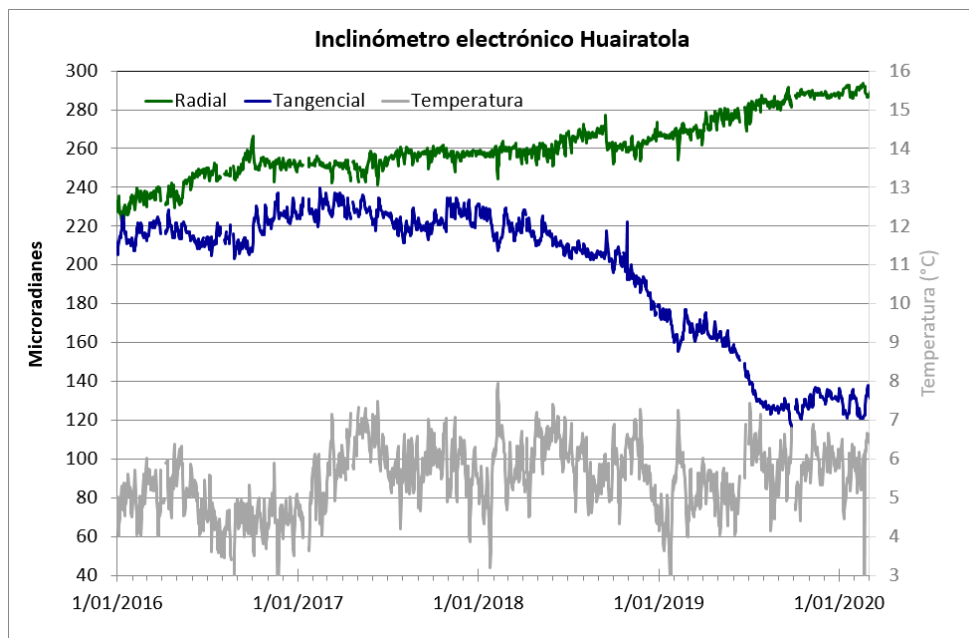


Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

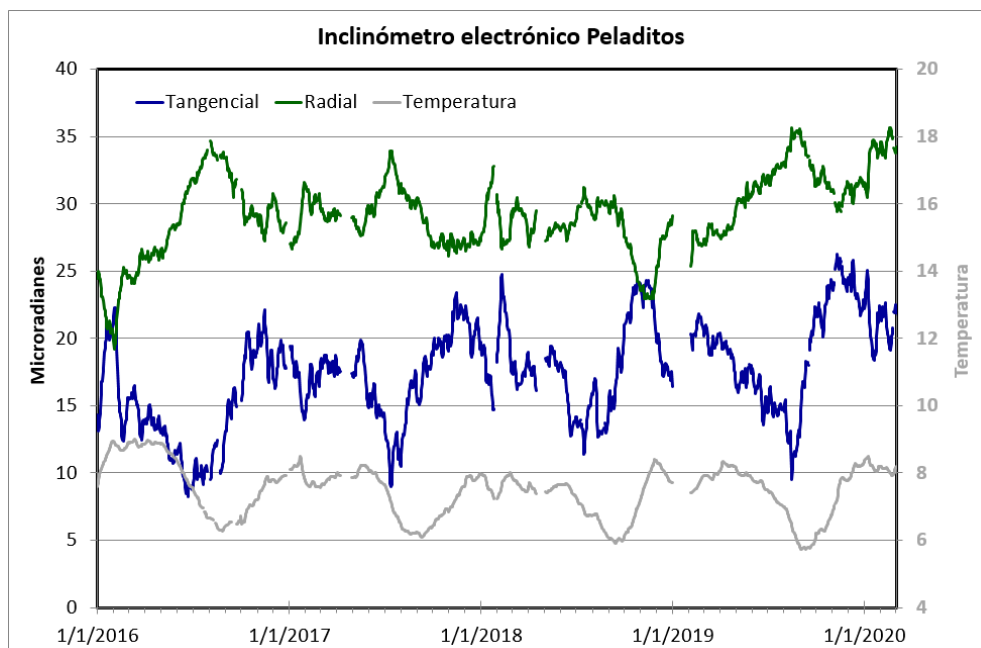


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

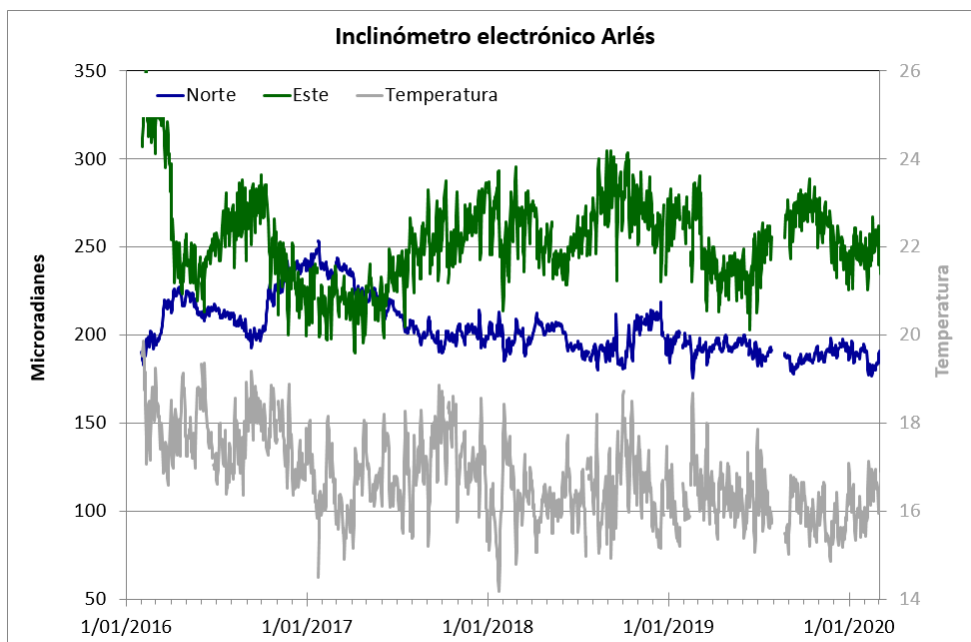


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

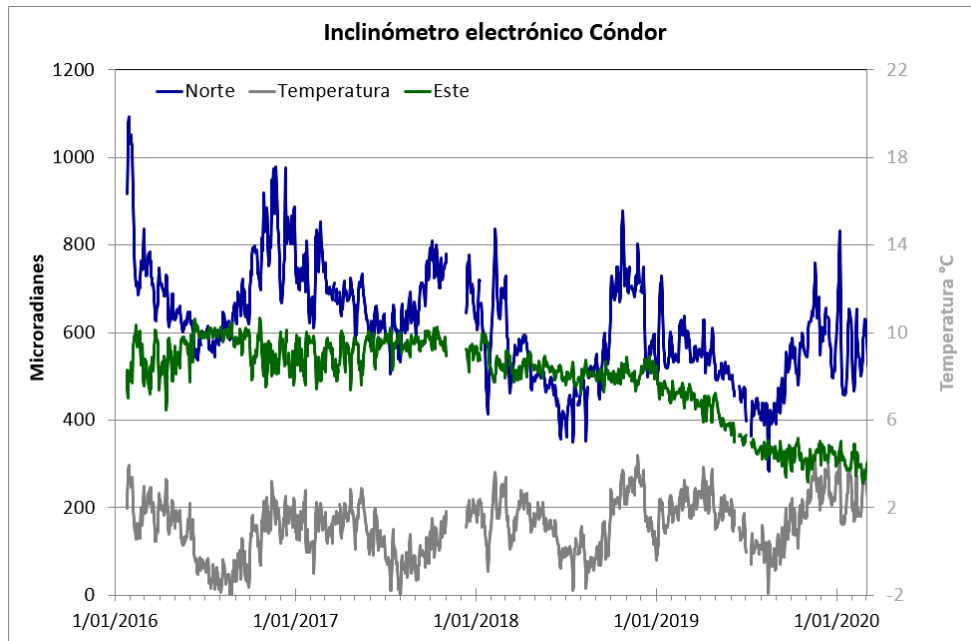


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

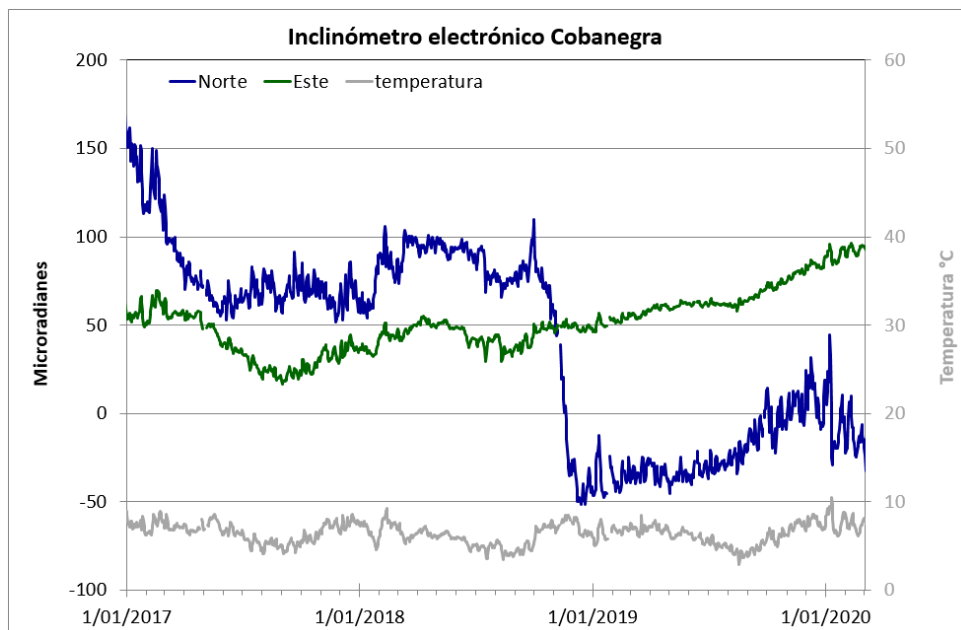


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 29 de febrero de 2020

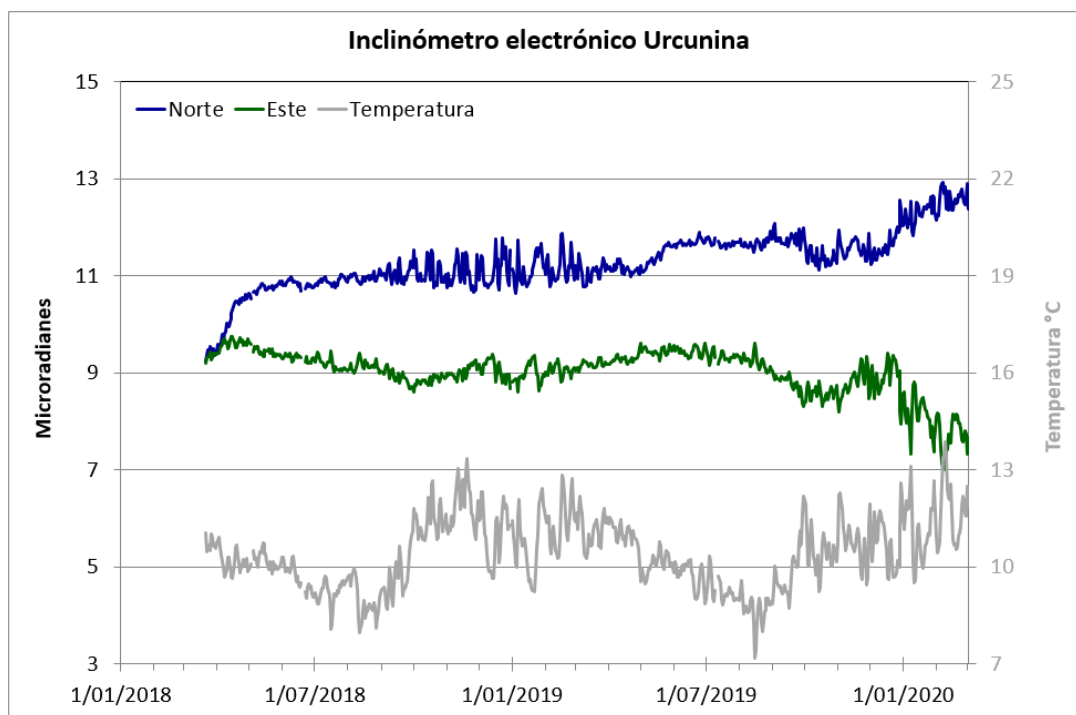


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 29 de febrero de 2020

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 12 estaciones permanentes, Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cándor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico. Desafortunadamente el 4 de septiembre de 2019 personas inescrupulosas sustrajeron del sitio de instalación los equipos de la estación GNSS Chiguaco, al norte del volcán.

Para el análisis se contempló un procesamiento PPP (posicionamiento puntual preciso), el cual se está realizando a través del Servicio Geodésico Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso. La tendencia tectónica local de los registros en la dirección Norte de las

estaciones GNSS de la red en Galeras, se remueve usando la estación QUILL, que pertenece a la red nacional GeoRED, ubicada fuera del edificio volcánico.

En general, en la red de GNSS de Galeras, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. Las Figuras 17 y 18, indican a manera de ejemplo, el comportamiento de las estaciones GNSS de Barranco y Cobanegra.

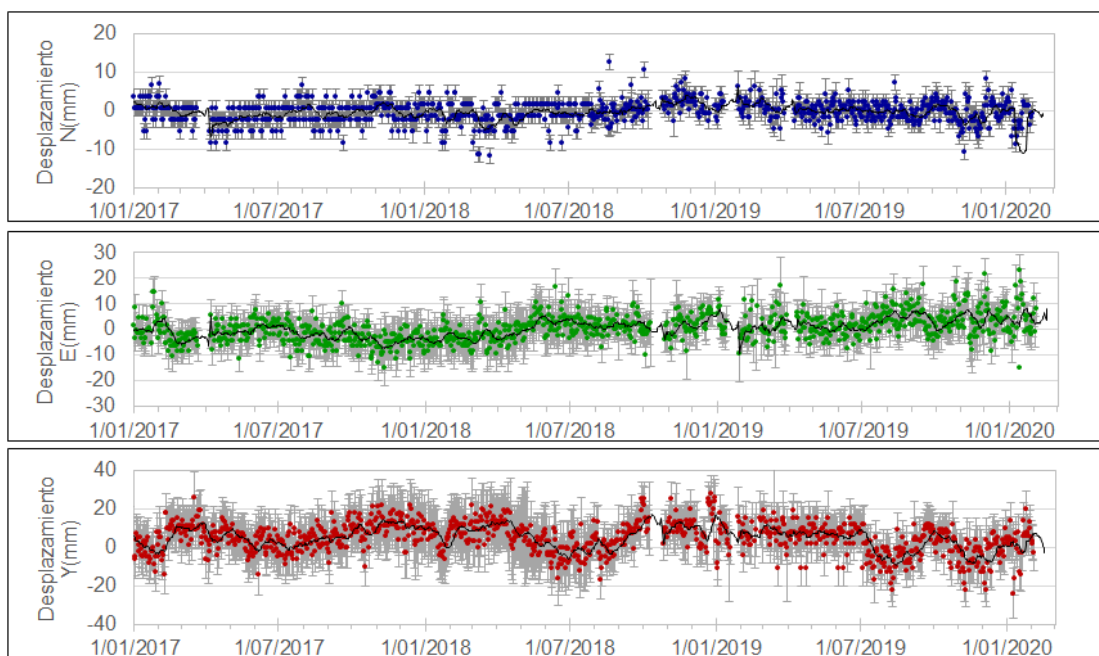


Figura 17. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 15 de febrero de 2020

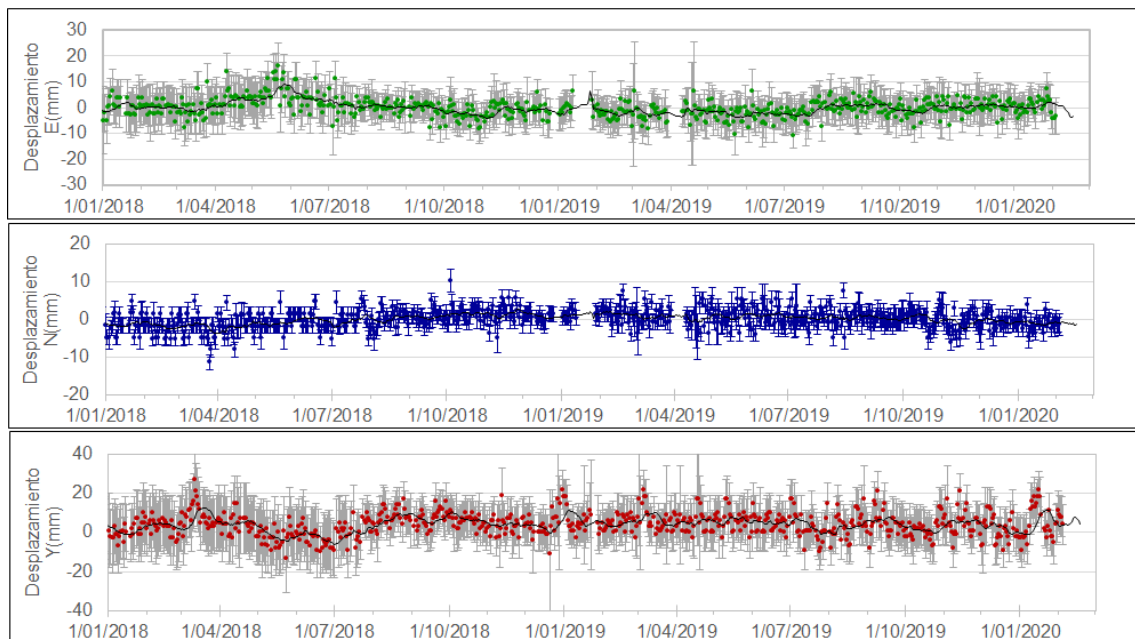


Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Cobanegra instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

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

1.4 Electromagnetismo

El análisis de la información del monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Galeras, para el mes de febrero de 2020, se realizó con los registros de las estaciones Frailejón (FRA) y Deformes (DEF), que cuentan con sensores magnéticos triaxial, tipo Fluxgate. Adicionalmente, en la estación FRA se instalaron dipolos eléctricos horizontales, para monitorear las variaciones del Campo Eléctrico en sus componentes NS y EW.

Entre noviembre, 2019 y febrero, 2020 (Figura 19), el comportamiento de las estaciones de monitoreo magnético, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, mostraron un comportamiento relativamente estable, resaltando principalmente las variaciones seculares diarias y de periodos mayores, así como variaciones de frecuencias mayores. Las variaciones del Campo Magnético Total (CMT) en las estaciones de monitoreo en la zona de Galeras, muestran variaciones de

alrededor de 50 nT para FRA y de alrededor de 70 nT para DEF; la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia registró una variación de alrededor de 50 nT. Kourou se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la red mundial de monitoreo del Campo Magnético Terrestre y por estar ubicada 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 los tres registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de otros fenómenos magnéticos conocidos como tormentas magnéticas solares, principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 4; lo que generan variaciones tanto en frecuencia como en amplitud, muy similares tanto en FRA, DEF, como en KOU (Figura 19). Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares 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 1).

En febrero, 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en las estaciones fue de alrededor de 28.415 nT en FRA, 29.420 nT en DEF y de 28.690 nT para KOU (Figura 19); mostrando en general un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, asociada con las variaciones día-noche, en cada una de las estaciones, es de alrededor 60 nT (Figura 20). Las variaciones más significativas se presentaron los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, cuando se registraron las tormentas externas mayores, con índice Kp entre 4 y 5 (Figura 20).

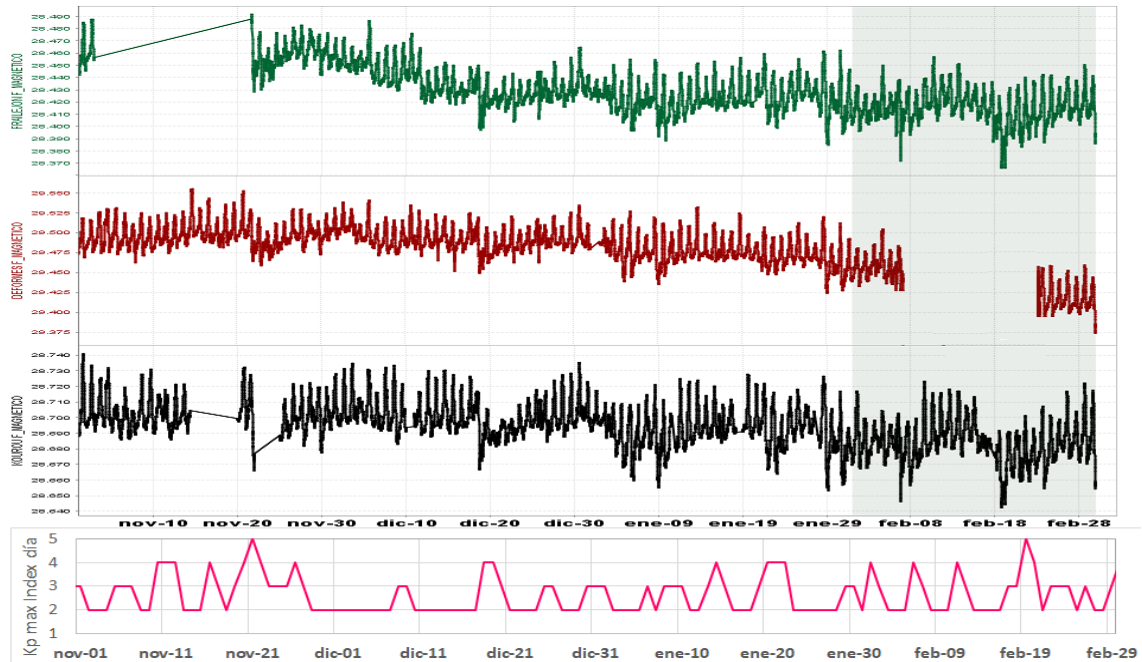


Figura 19. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde), DEF (roja) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020

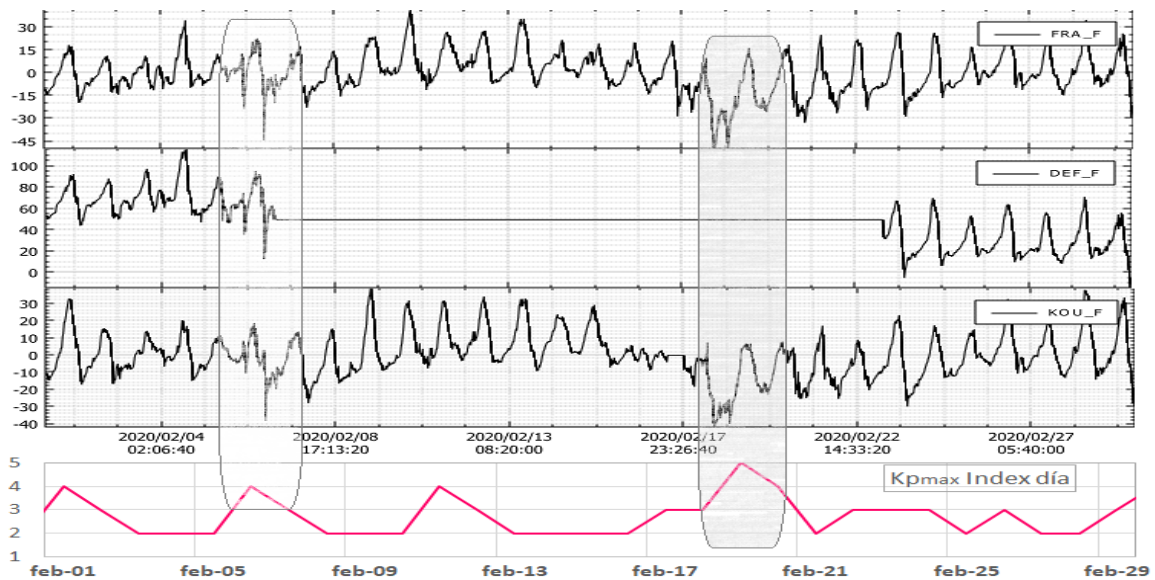


Figura 20. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el índice Kp (magenta)

El análisis espectral de los registros magnéticos (Figura 21) resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 2 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así también muestra frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, asociadas con las variaciones seculares, que se deben eliminar para obtener las variaciones asociadas con el campo magnético local. Al filtrar estas frecuencias, los registros del CMT en las estaciones de monitoreo magnético en Galeras (Figura 22), registra variaciones máximas entre ± 15 nT, que en general corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con procesos locales de baja actividad. Para los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, estos valores, incrementaron hasta valores de alrededor de 30 nT, debido a los registros de las tormentas externas.

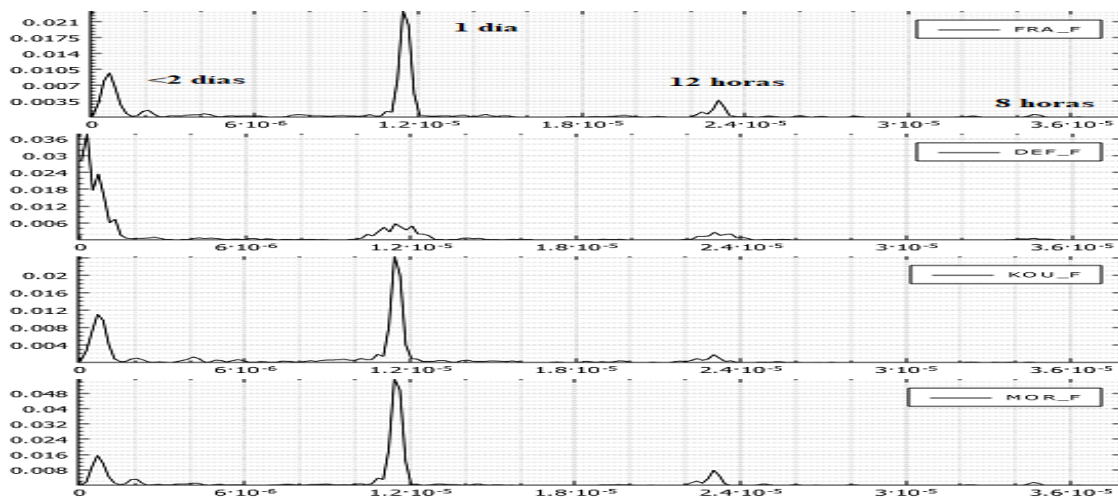


Figura 21. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en febrero de 2020

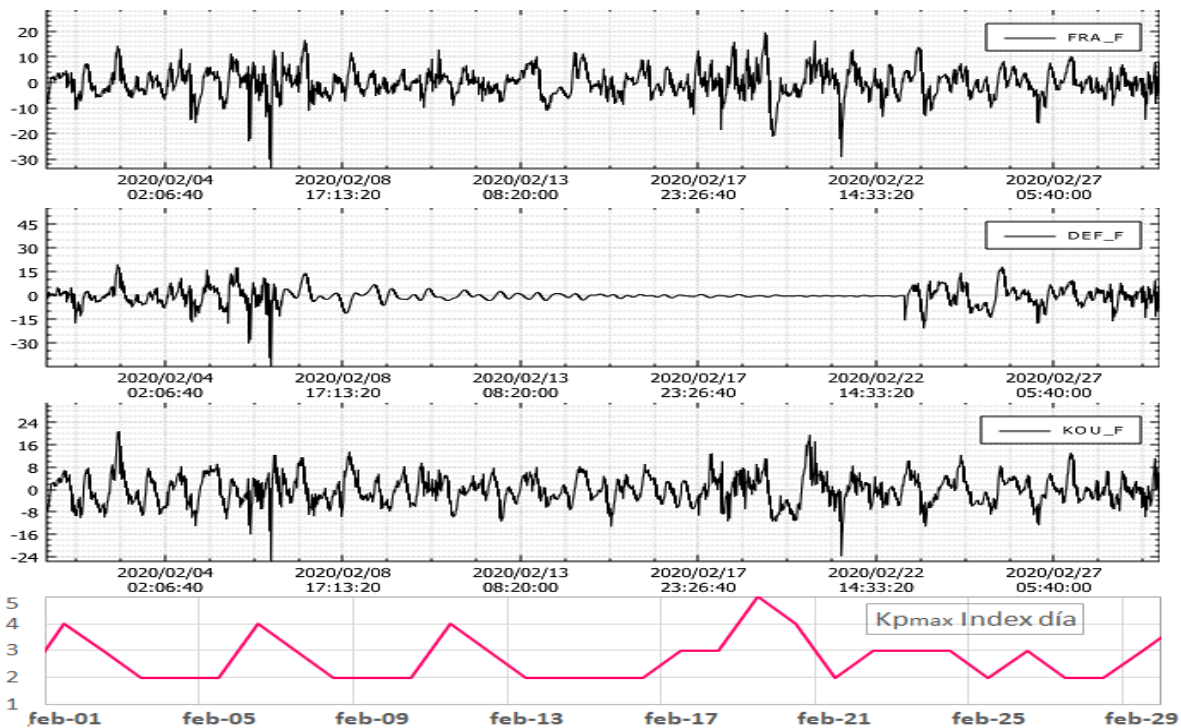


Figura 22. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en febrero de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registradas en la estación de monitoreo en Galeras, FRA, para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020 (Figura 23), muestra un comportamiento con mucha variación, asociado posiblemente con la temporada de fuertes lluvias en la zona donde se ubica la estación, especialmente hasta mediados de enero, 2020. Para el mes de febrero el registro se muestra un poco más estable, aun cuando las variaciones diarias son mayores a las usualmente registradas. La figura 23, muestra también los registros de lluvia acumulada, tomados del pluviómetro Mijitayo Alto (MIJAP), ubicado cercano a la zona donde está la estación FRA Eléctrica, que para el periodo evaluado (cuatro meses), tuvo un acumulado de alrededor de 130 mm. Los registros de MIJAP confirman la influencia de las lluvias sobre los registros de la estación de monitoreo eléctrico.

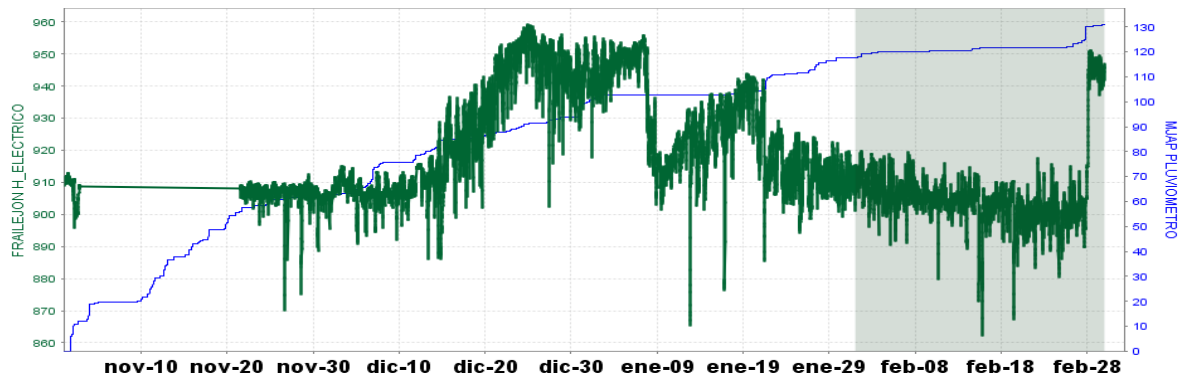


Figura 23. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MJAP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm

Para el mes de febrero, 2020; el comportamiento las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH) en FRA, muestran una estrecha relación con los incrementos de Lluvias en la zona, registradas en la estación de MIJP para el mismo periodo de tiempo (Figura 24). De acuerdo con esta información, la variación del CEH para febrero, 2020, registran gran estabilidad de la componente Horizontal, con variaciones diarias de alrededor de 22 mV, que eventualmente incrementaron de acuerdo con el incremento de las lluvias, como sucedió a finales del mes, cuando las Lluvias comenzaron a incrementar desde el 26 de febrero, hasta un máximo de alrededor de 12.5 mm el 28 de febrero, mostrando de igual forma un pulso importante en la variación del CEH.

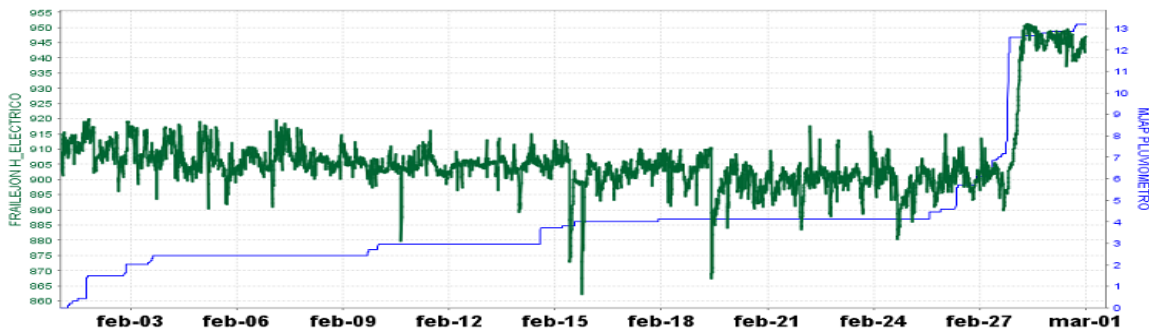


Figura 24. Variaciones del CEH, en la estación FRA (verde) de la red de monitoreo de Galeras, para el mes de febrero, 2020, comparado con el comportamiento del régimen de Lluvias MIJP (azul), para el mismo periodo de tiempo

El análisis espectral del CEH en FRA muestra frecuencias dominantes mayores a 2 días (Figura 25), que logran enmascarar las frecuencias seculares dominantes de 1 día, 12 horas y 8 horas, que también se encuentran presentes en los registros.

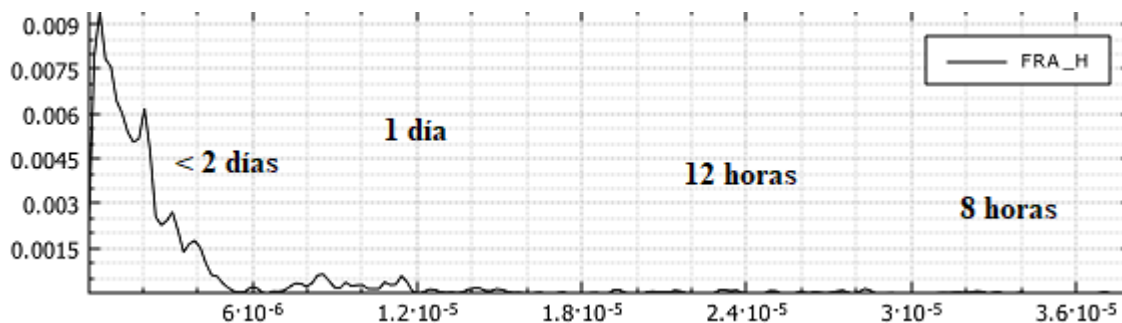


Figura 25. Registro en frecuencias del CEH, en la estación FRA, en febrero de 2020

Al eliminar estas frecuencias asociadas con ruido debido a la influencia de las lluvias y a variaciones seculares, debidas todas a efectos externos, se obtuvieron los registros de la actividad local, encontrando variaciones de alrededor de ± 6 mV, que son variaciones bajas asociadas con estabilidad en la actividad volcánica (Figura 26).

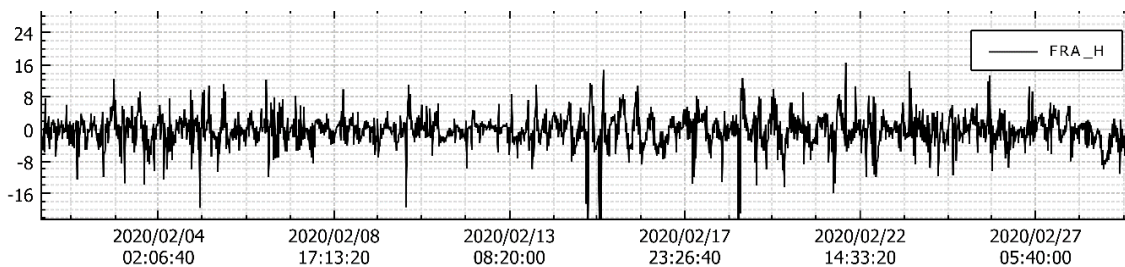


Figura 26. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, durante el mes de febrero, 2020

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. La emisión de radón desde la tierra a la atmósfera, es un proceso permanente que registra valores excepcionalmente altos en zonas de fallas geológicas.

En zonas de actividad sísmica y volcánica y específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan muestreos de gas Rn 222, considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad. En la Figura 27 se presenta el mapa de las estaciones para medición de flujo de gas Radón ubicadas en la red de vigilancia del volcán Galeras.

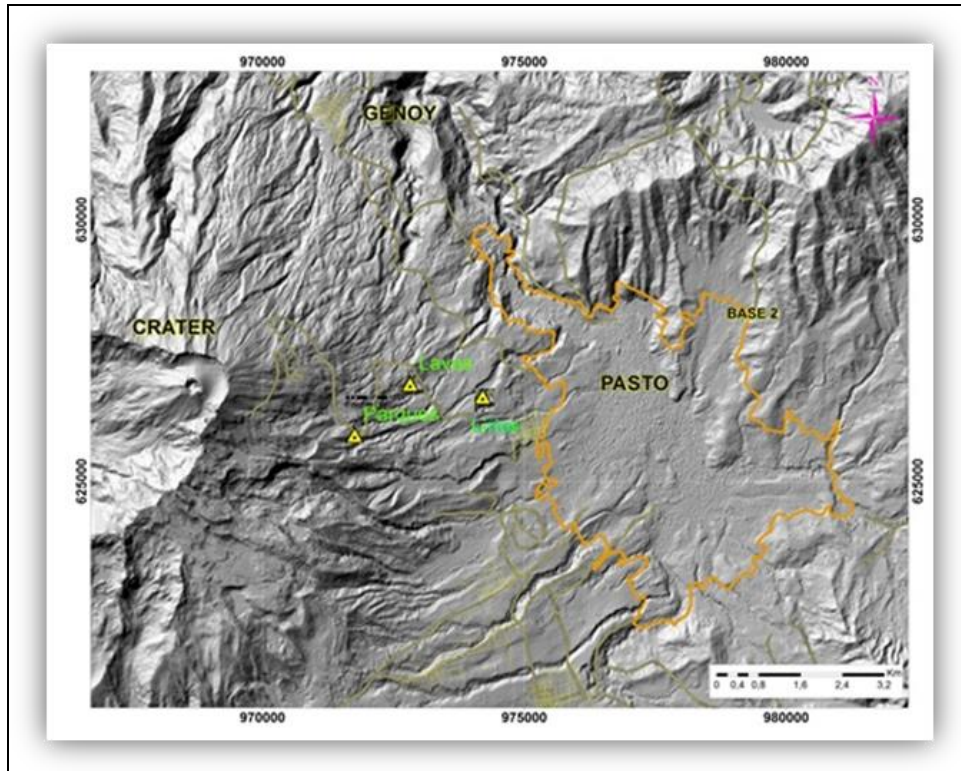


Figura 27. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Lirios en la Figura 28, Tabla 10, y la estación de Parques en la Figura 29, Tabla 11. Se puede observar que los valores registrados del gas radón en febrero de 2020 (área sombreada) desde las dos estaciones se encuentran dentro de la línea base de su comportamiento.

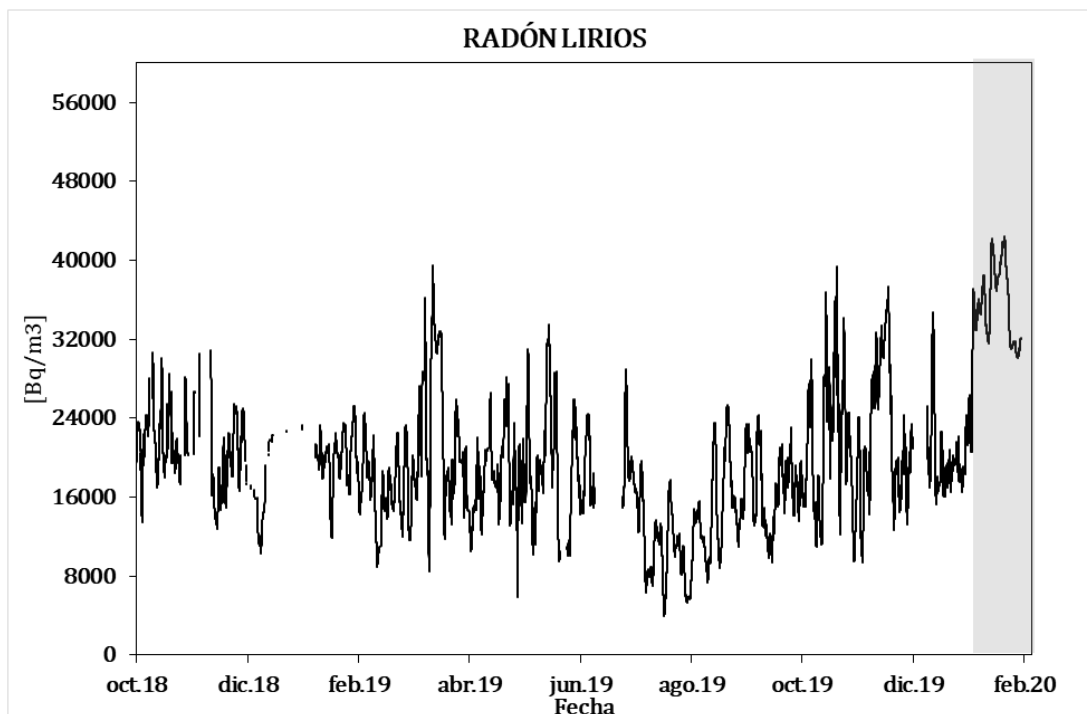


Figura 28. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (octubre 2018 – febrero 2020)

Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras febrero 2020

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Promedio	21487
Máximo	58808
Mínimo	4874

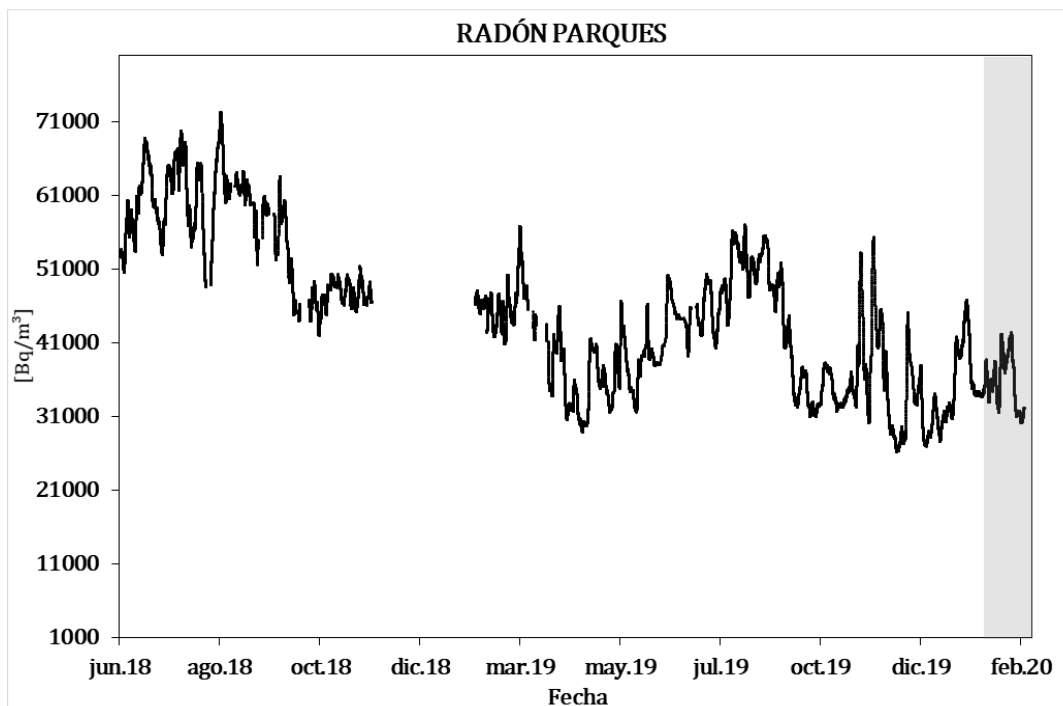


Figura 29. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (junio 2018 – febrero 2020)

Tabla 11. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras febrero 2020

Valor	Parques [Bq/m ³]
Promedio	36040
Máximo	50931
Mínimo	22050

1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

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

1.6 Actividad Superficial

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

Durante los días del mes de febrero del 2020, 04, 05, 07, 09, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24 y 29 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.

Continúan los procesos de desgasificación, y emisiones de gases en las zonas suroeste y sur, sobre la pared externa del cono activo (Florencia, Deformes, Joyería, principalmente); y las emisiones al norte (El Paisita) y noreste de la pared interna del cráter principal. La coloración blanquecina de las emisiones evidencia la predominancia del vapor de agua en estos procesos de desgasificación Figura 32.

En las Figuras 30 a 36 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 04 de febrero de 2020 a las 01: 02 pm, (izquierda) y desde Bruma el día 05 de febrero de 2020 a las 04:26 p.m. (derecha)



Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 07 de febrero de 2020 a las 10: 10 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero de 2020 a las 06:43 a.m., (derecha)



Figura 32. El sistema satelital PlanetScope (espectro visible, 3 metros por pixel resolución espacial horizontal), capturada el día 11 de febrero de 2020, a las 10:15 a.m.

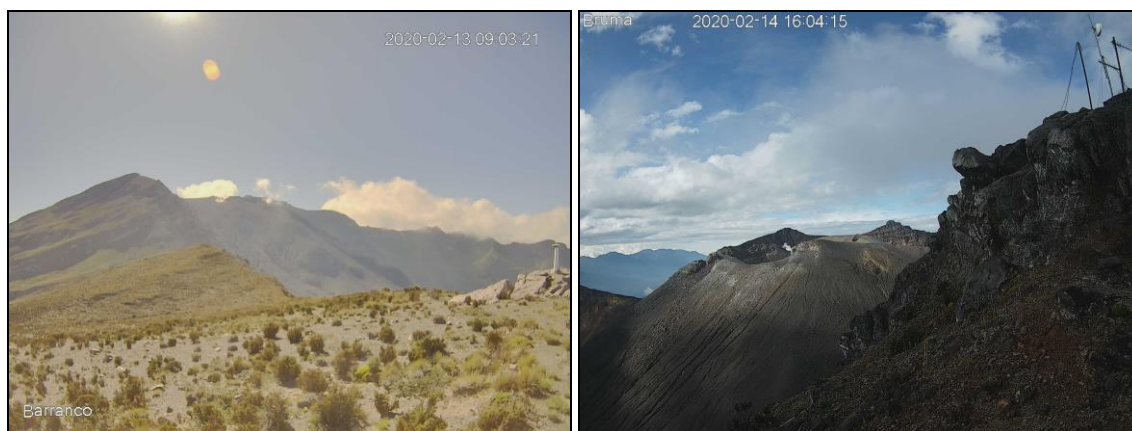


Figura 33. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 13 de febrero de 2020 a las 09: 03 am, (izquierda) y desde Bruma el día 14 de febrero de 2020 a las 04:04 p.m. (derecha)

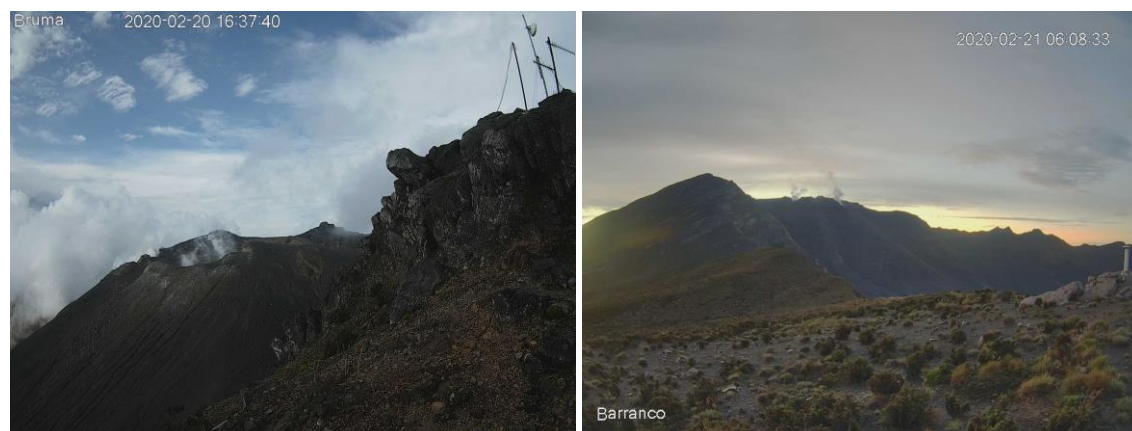


Figura 34. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 20 de febrero de 2020 a las 04: 37 pm., (izquierda) y desde Barranco el día 21 de febrero de 2020 a las 06:08 a.m. (derecha)



Figura 35. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 22 de febrero de 2020 a las 07: 25 a.m., (izquierda) y desde Barranco el día 23 de febrero de 2020 a las 06:00 a.m.(derecha)



Figura 36. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 24 de febrero de 2020 a las 06: 15 am., (izquierda) y desde Barranco el día 29 de febrero de 2020 a las 01:47 p.m. (derecha)

1.7 Conclusiones

En febrero de 2020 en el volcán Galeras se registró descenso en la ocurrencia y en la energía de los sismos en comparación con el mes anterior. El mayor aporte tanto en ocurrencia como en energía provino de la sismicidad de tipo VT, asociada con fractura de roca al interior del volcán. Se destaca el registro de dos sismos de con ML de 2.3 y 3.1 que se reportaron sentidos en Pasto y en algunas poblaciones de la zona de influencia del volcán Galeras.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en febrero 2020 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – FEBRERO DE 2020

2.1 Red de Vigilancia

En febrero de 2020 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 37, Tabla 12).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 37).
- Dos cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal y otra en el sitio de la estación Punta Vieja (Figura 37).
- Un pluviómetro y un anemómetro instalados en el sitio donde se ubica la estación La Nieve (Figura 37).
- Cuatro inclinómetros electrónicos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 38, Tabla 12).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 98 % (Figura 39).

Tabla 12. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2020

Estación	T. 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

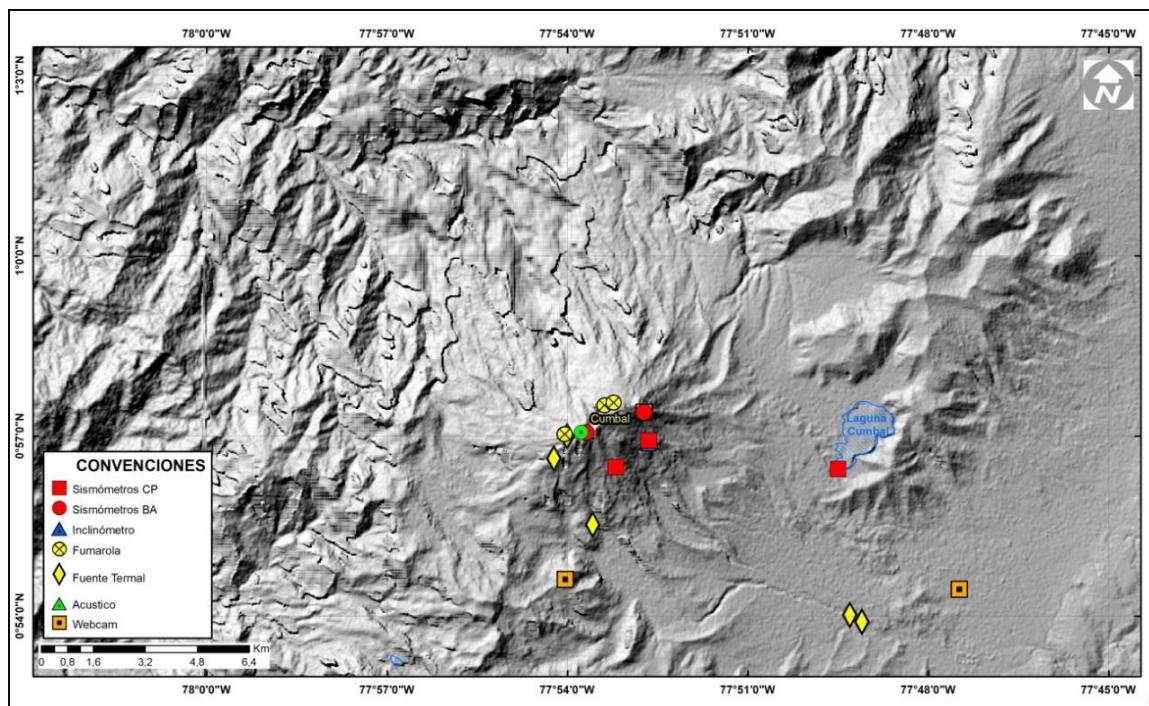


Figura 37. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de febrero de 2020

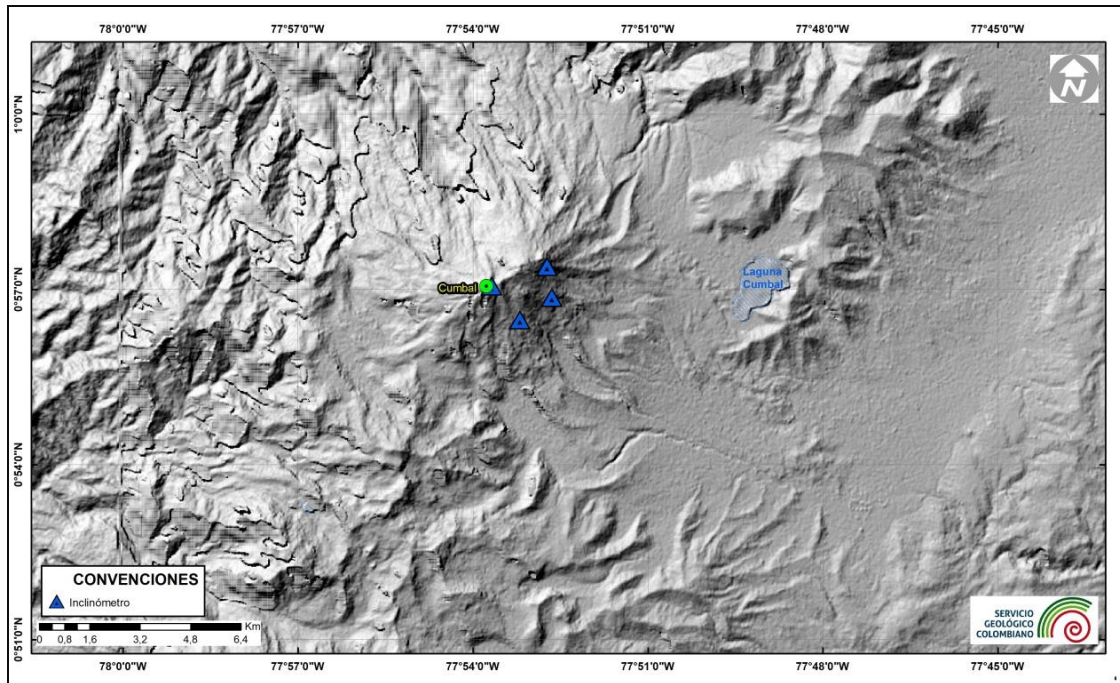


Figura 38. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de febrero de 2020

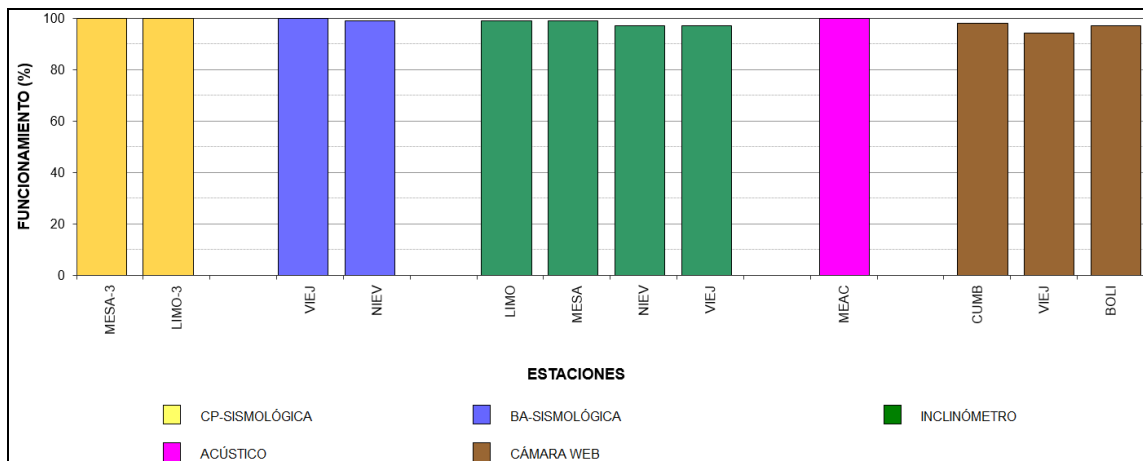


Figura 39. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en febrero de 2020

2.2 Sismología

La sismicidad en febrero de 2020 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) mostró descenso del 9.7% en su ocurrencia pasando de 1892 a 1709 eventos en comparación con el mes de enero. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 1014 eventos que representan el 59.3% del total, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) con 621 eventos que representan el 36.3%. Los sismos que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos (HIB) y los episodios de tipo tremor (TRE) registraron 71 y 3 eventos respectivamente, que en conjunto representan el 4.4% de la ocurrencia sísmica (Tabla 13, Figuras 40 y 41). No se registraron eventos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos) (94 VT, 63 LP y 10 HIB).

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT disminuyeron un 17.5% pasando de 863 a 1014 eventos, los LP disminuyeron un 37% pasando de 985 a 621 eventos, los episodios de TRE continúan con estabilidad en ocurrencia, pasando de 1 a 3 eventos y los HIB aumentaron en un 65.1%, pasando de 43 a 71 eventos (Tabla 13, Figuras 40 y Figura 41).

Tabla 13. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	472	505	1	30	1008
01-dic-19 a 31-dic-19	764	998	0	54	1816
01-ene-20 a 31-ene-20	863	985	1	43	1892
01-feb-20 a 29-feb-20	1014	621	3	71	1709

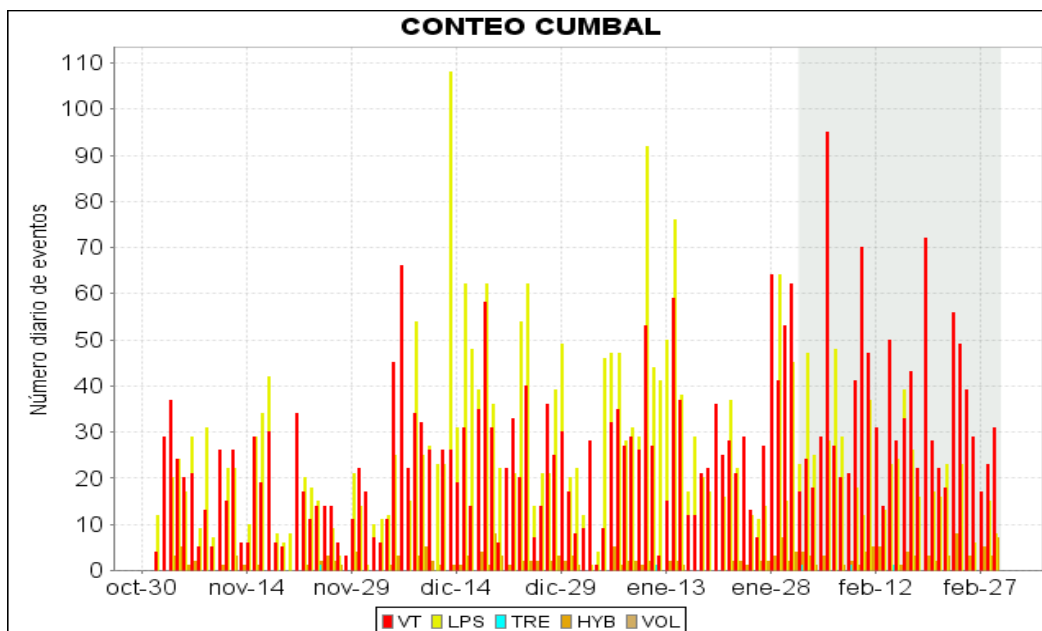


Figura 40. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

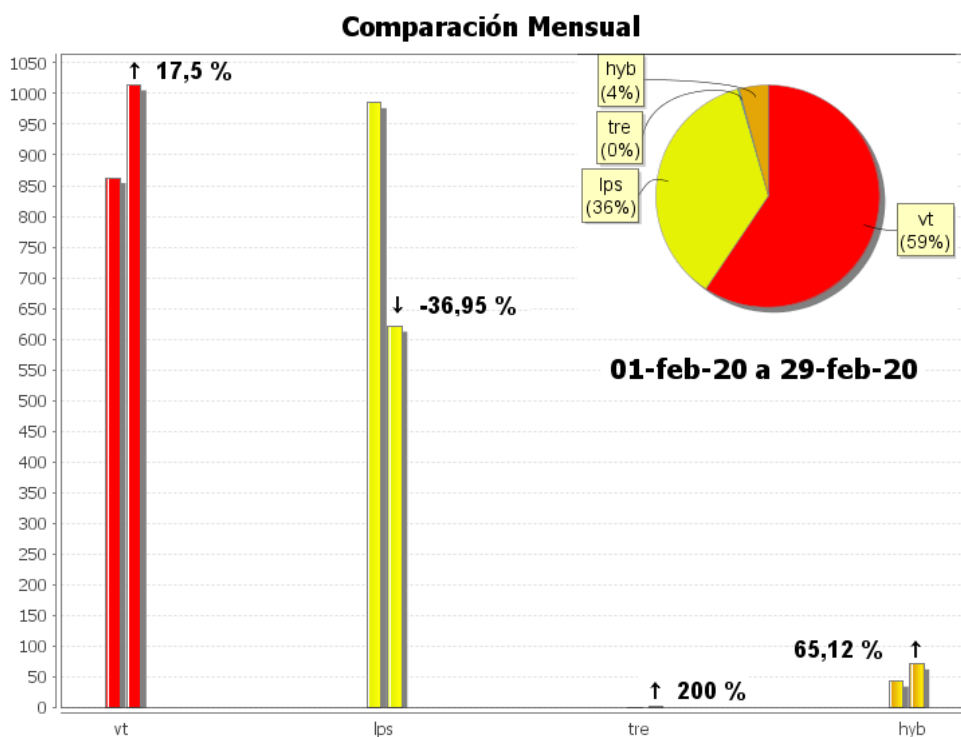


Figura 41. Comparación del número de sismos por tipo entre enero y febrero de 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para febrero de 2020

Se registraron tres 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 42 se muestran los sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR registrado el 10 de febrero de 2020 a la 1:04 a.m., en las componentes verticales de las estaciones Limones, La Mesa, Punta Vieja y La Nieve. Este evento presentó un pico dominante en la frecuencia de 1.46 Hz y otro pico de menor amplitud en la frecuencia de 2.73 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.

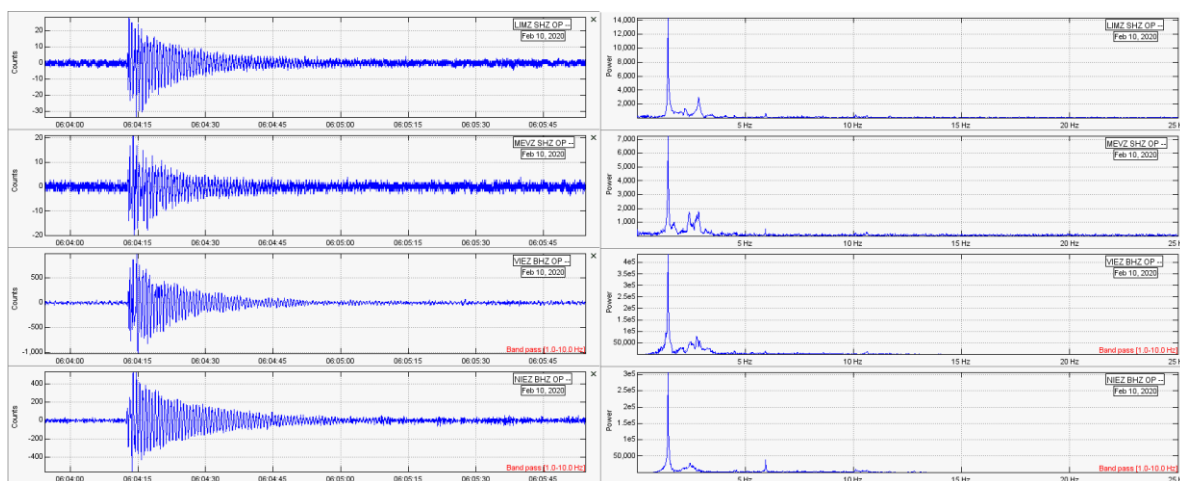


Figura 42. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 10 de febrero a la 1:04 a.m. en las componentes verticales de las estaciones La Mesa y Limones del CVC

La energía sísmica liberada en febrero de 2020 fue 11 veces mayor en comparación con la registrada en enero, pasando de 1.85×10^{10} ergios a 2.12×10^{11} ergios. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo LP con el 99.9% de la energía sísmica del mes. Los sismos de tipo VT disminuyeron su energía a casi la mitad del valor registrado en enero, pasando de 4.20×10^8 ergios a 2.30×10^8 ergios. El pico energético del mes se registró el 23 de febrero con 1.22×10^{11} ergios (Tabla 14, Figura 43).

Tabla 14. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	4.48E+10	2.30E+11	7.85E+04	5.23E+06	3.37E+11
01-dic-19 a 31-dic-19	1.81E+08	3.16E+10	0.00E+00	4.52E+06	3.19E+10
01-ene-20 a 31-ene-20	4.20E+08	1.80E+10	2.08E+04	2.94E+06	1.85E+10
01-feb-20 a 29-feb-20	2.30E+08	2.12E+11	1.13E+06	1.13E+07	2.12E+11

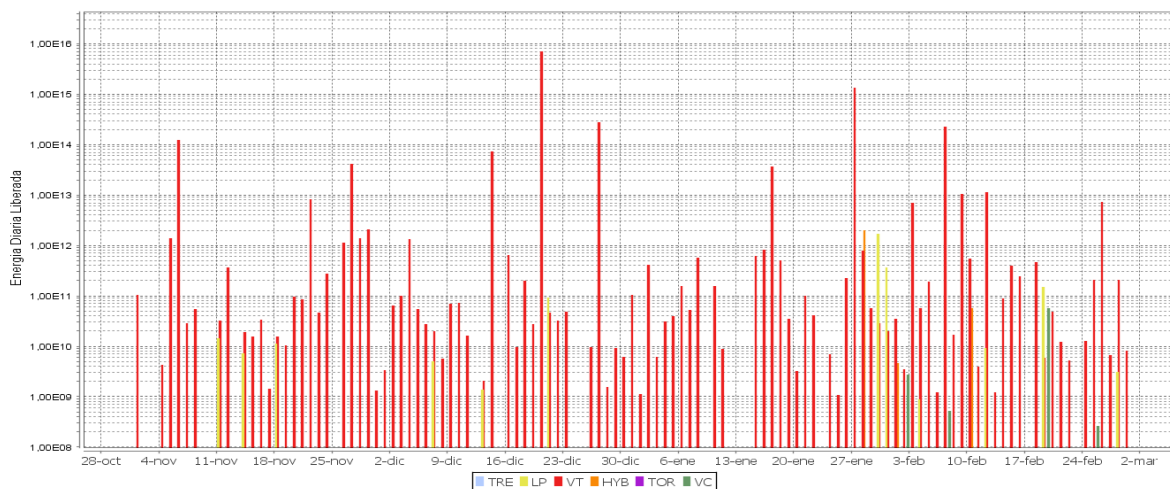


Figura 43. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

Fueron localizados 101 sismos VT, la mayoría ubicados en inmediaciones de la cima del complejo volcánico hacia el sector noroccidental, a distancias entre cero y 3.5 km con respecto a La Plazuela, ML máxima de 1.3 y profundidades menores de 8 km con respecto a su cima (4700 m) como se muestra en la Figura 44.

En general, la magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 2 sismos VT con magnitud local igual o superior a 1.0 en la escala de Richter, en la Tabla 15 se consignan sus características de localización.

Tabla 15. Sismos con ML mayor o igual a 1.0 registrados en el CVC en febrero de 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
16/02/2020	06:30	1-01.21	77-54.73	14.5	1.1
16/12/2020	07:26	1-02.27	77-55.30	7.7	1.3

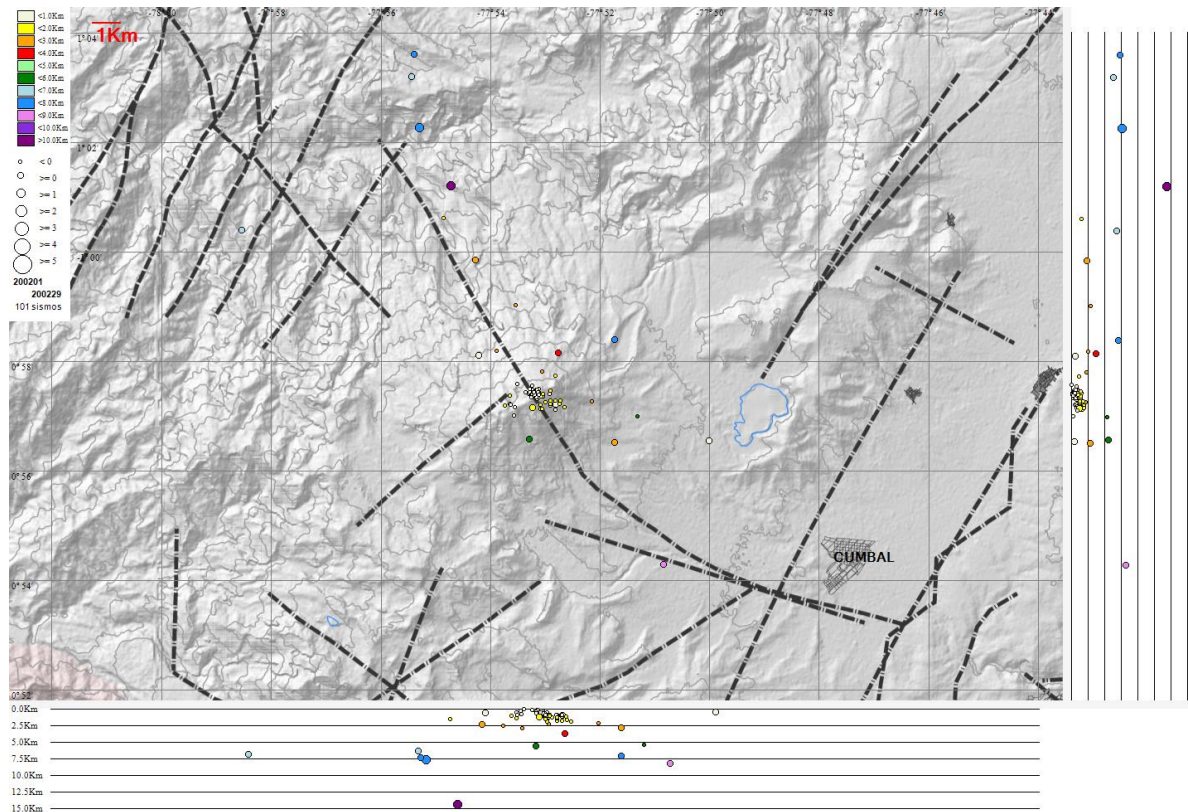


Figura 44. Localizaciones de VT registrados en febrero de 2020 en el CVC

2.3 Deformación

Las componentes de inclinación de las estaciones Punta Vieja, Limones, La Nieve y Mesa, muestran tendencias estables. Las variaciones que se observan en los registros que en algunos casos alcanzan más de $25 \mu\text{rad}$, muy probablemente están asociadas con los cambios en la temperatura imperante en la zona (Figuras 45, 46, 47 y 48).

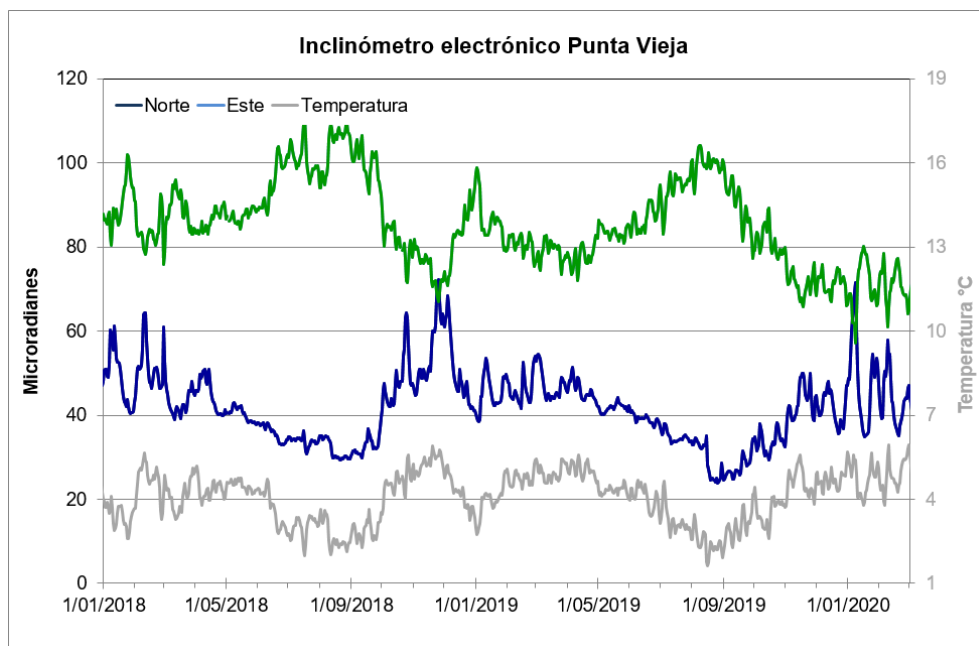


Figura 45. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 29 de febrero de 2020

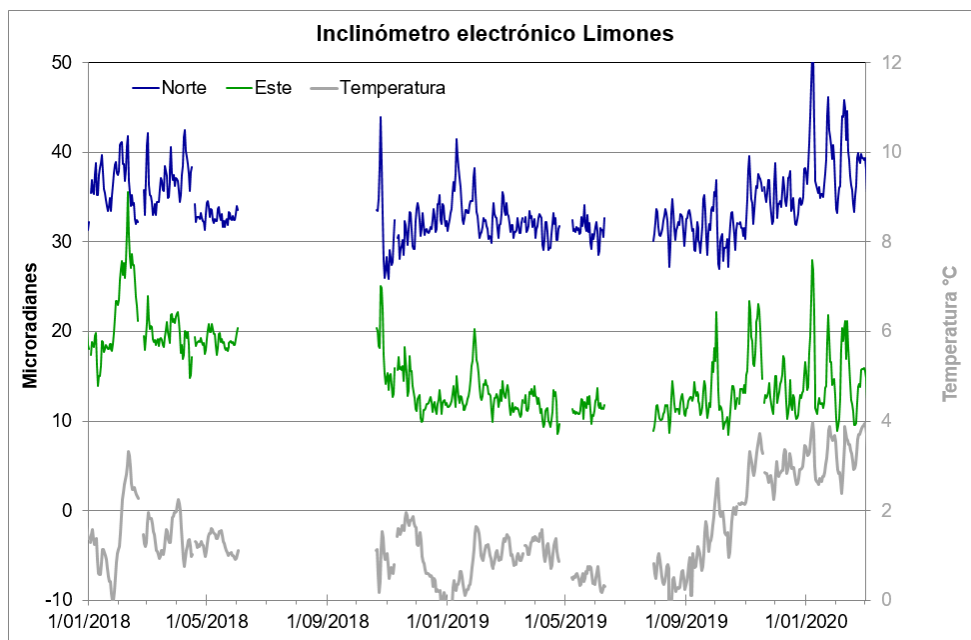


Figura 46. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 29 de febrero de 2020

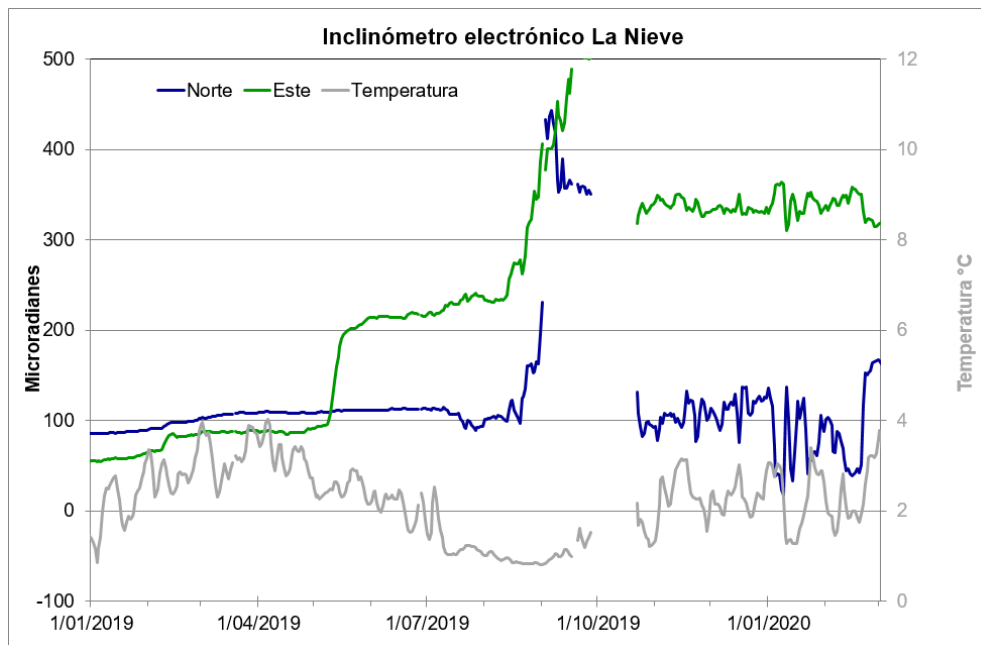


Figura 47. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020

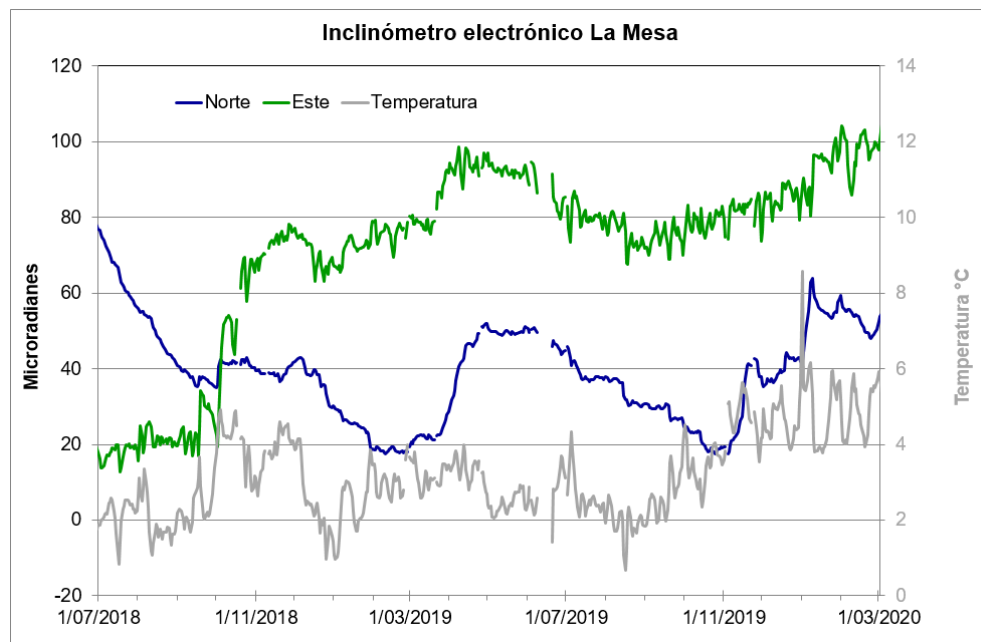


Figura 48. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2018 y el 29 de febrero de 2020

2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta técnica.

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

2.6 Actividad Superficial

Condiciones atmosféricas favorables para los días 04, 05, 07, 09, 11, 20, 22, 23, 26 y 29 de febrero de 2020, permitieron evidenciar emisiones de gases provenientes principalmente desde el campo fumarólico El Verde, al norte-nororiente del complejo volcánico, como también desde El Rastrojo y otros campos fumarólicos ubicados al sur del cráter de Mundo Nuevo. Las columnas de emisión se observaron de color blanco, altura y dirección variables por acción de los vientos.

En las Figuras 49 a 53 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.

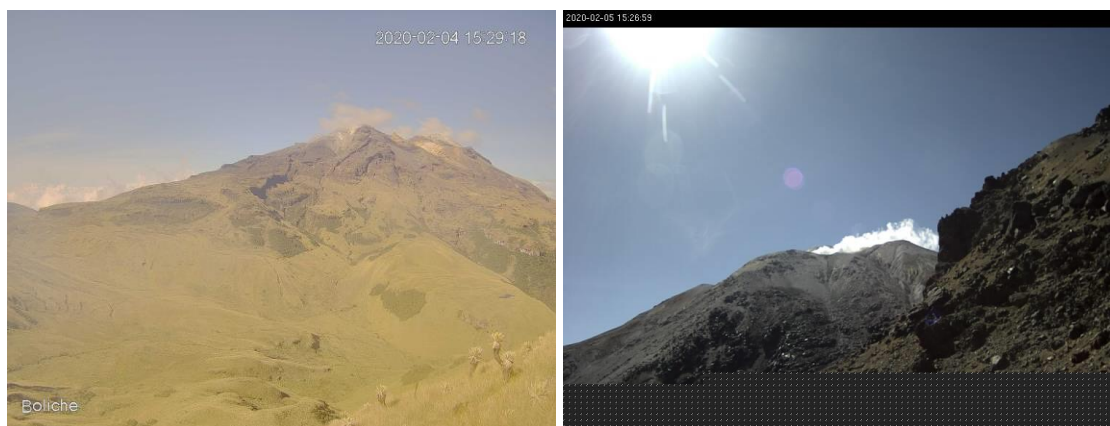


Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 04 de febrero de 2020 a las 03:29 p.m., (izquierda) y El Verde el día 05 de febrero de 2020 a las 03:26 p.m. (derecha)

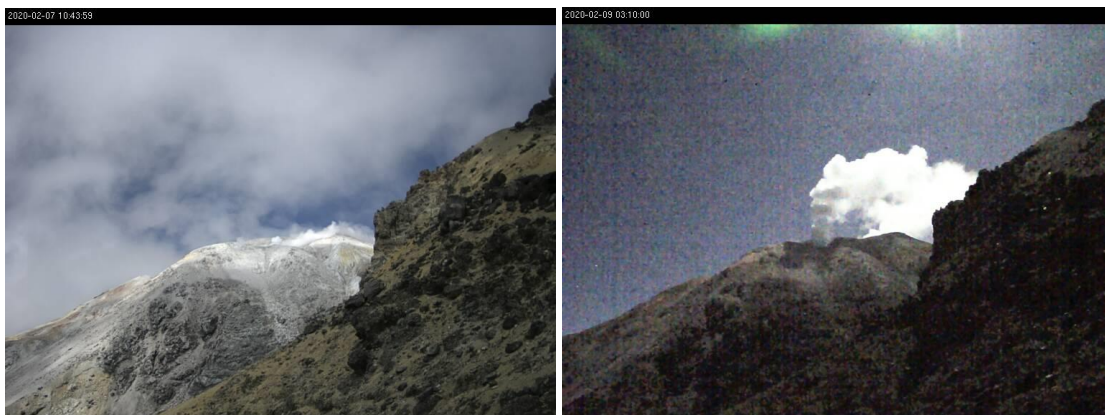


Figura 50. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el día 07 de febrero de 2020 a las 10:43 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero a las 03: 10 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

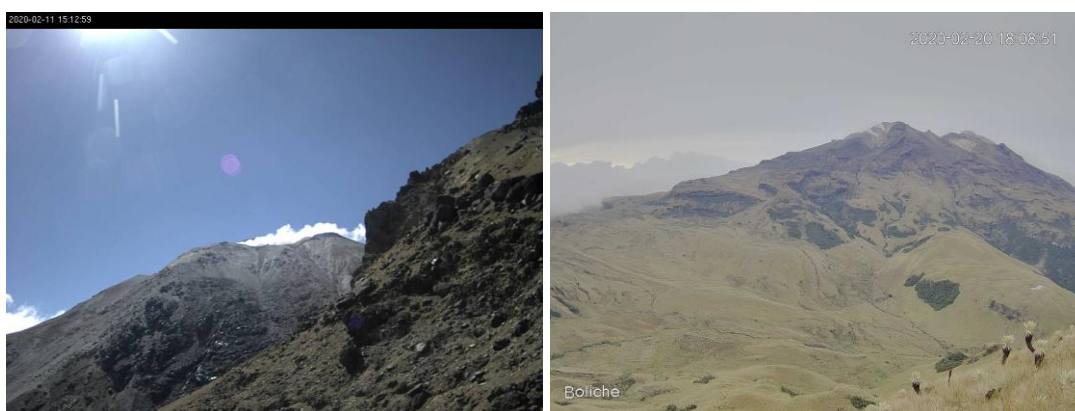


Figura 51. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 11 de febrero de 2020 a las 03: 12 p.m., (izquierda) y el Boliche el día 20 de febrero de 2020 a las 06:19 p.m. (derecha)

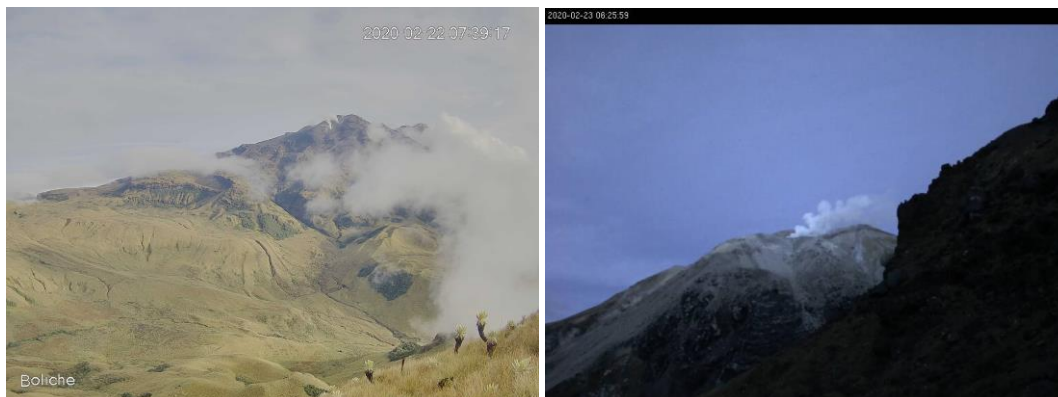


Figura 52. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 22 de febrero de 2020 a las 07:39 a.m., (izquierda) y El Verde el día 23 de febrero de 2020 a las 06:25 a.m. (derecha)

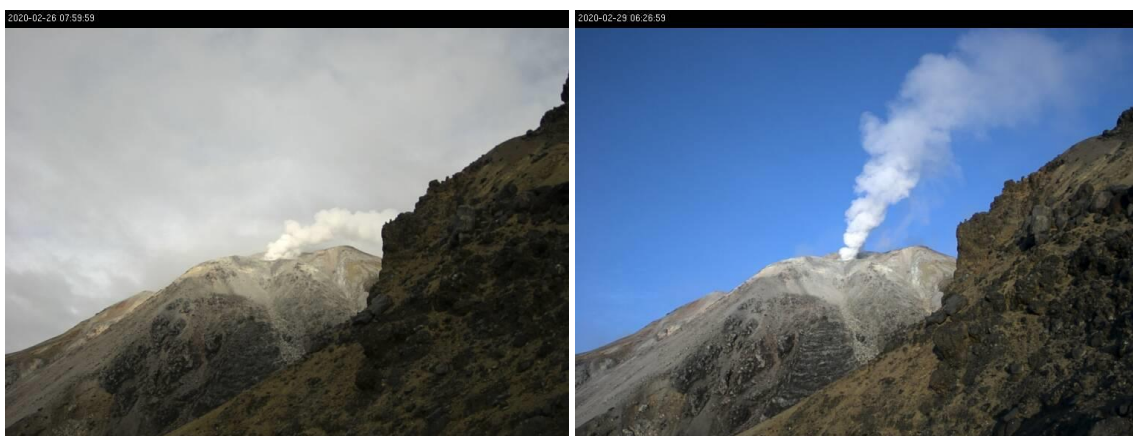


Figura 53. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el día 26 de febrero de 2020 a las 07 : 59 a.m., (izquierda) y el día 29 de febrero a las 06: 26 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

2.7 Conclusiones

En febrero de 2020, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) la sismicidad registró disminución en su ocurrencia, localizándose principalmente en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter Mundo Nuevo al suroccidente, en profundidades menores de 8 km, con ML máxima de 1.3 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 febrero 2020 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – FEBRERO DE 2020

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 54).

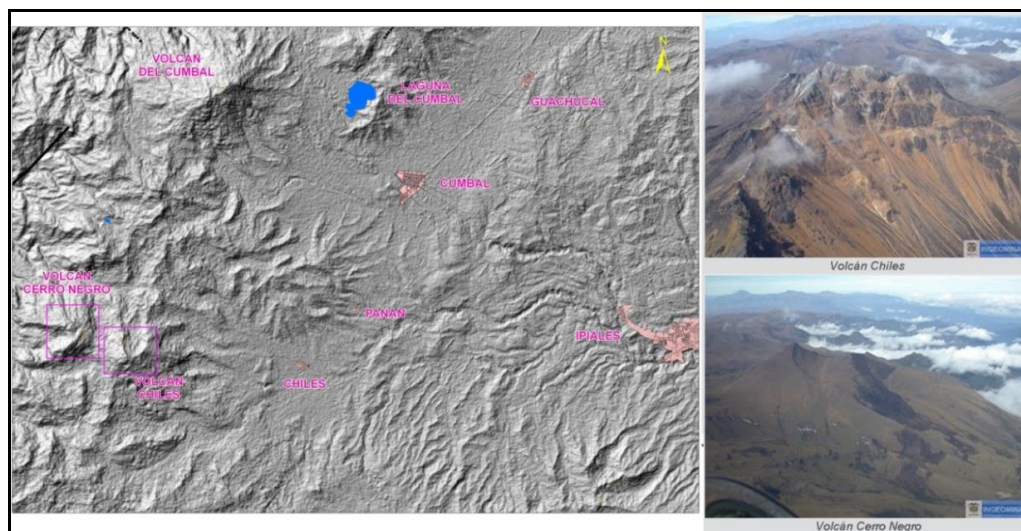


Figura 54. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por 6 estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos, estaciones dispuestas para el seguimiento de los cambios en superficie, un sensor de infrasonido, una cámara WEB y una estación permanente de temperatura en fuente termal. Las estaciones se ubican así: una estación en la cima volcánica en el costado occidental de

Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector nororiental denominada Canguil (sismómetro, Cámara web y sensor de infrasonido), otra al noroccidente en el volcán Cerro Negro (sismómetro e inclinómetro), la estación Panan, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (sismómetro y termocupla en fuente termal), ubicada en el sector de Baño Grande. Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 55, Tablas 16 y 17).

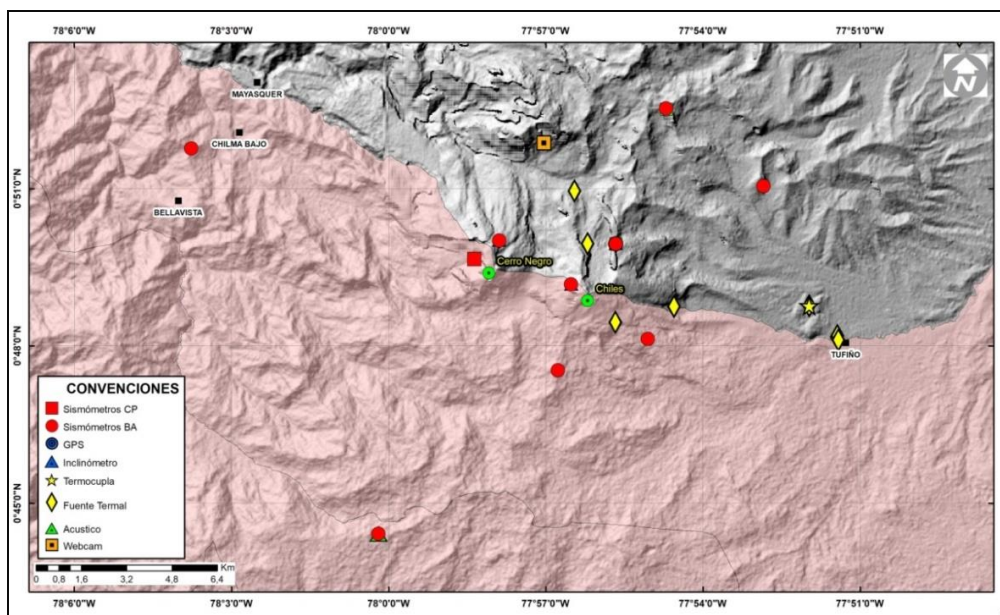







Figura 55. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2020

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

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro 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	5,5	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

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

Fuente Termal	Imagen	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)
(A) 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 98% (Figura 56).

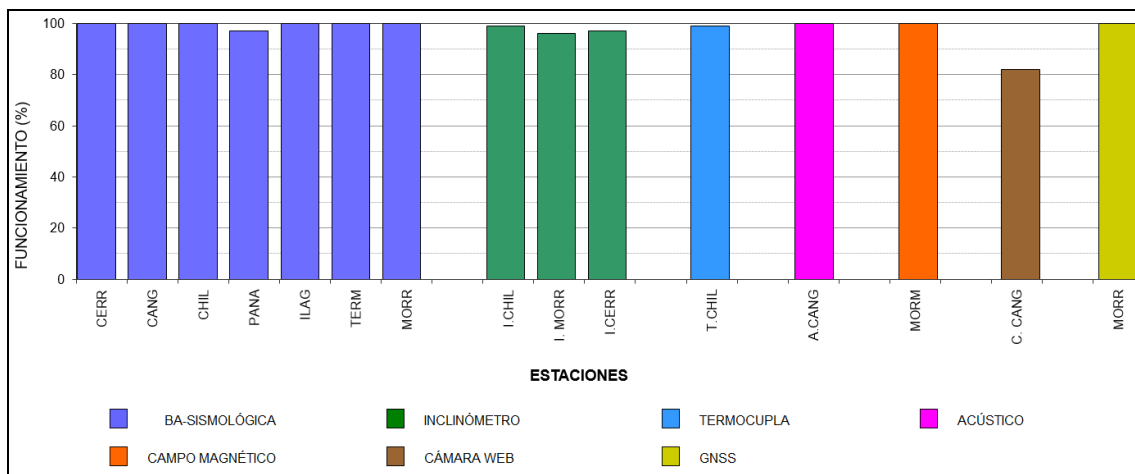


Figura 56. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero de 2020

3.3 Sismología

La ocurrencia sísmica en región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en febrero de 2020 registró disminución del 37.6%, pasando de 1217 a 759 eventos, con respecto al mes de enero. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 639 eventos, que representan el 84.1% del total; se destaca el registro de 108 eventos de tipo LP, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos, con el 14.2% del total, también se registraron 7 sismos tipo HIB, cuyo porcentaje equivale al 0.9% del total de sismos, y se tuvo registro de 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 al 0.7% del total de eventos registrados. En meses anteriores el registro de LP era esporádico, por lo cual se destaca el registro de este tipo de eventos a partir del 23 de enero, hasta terminar el mes, con un promedio diario de 7 sismos LP (Tabla 18, Figura 57). El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 7 de febrero con un total de 49 eventos, 46 de ellos de tipo VT y 3 LP. La sismicidad VT disminuyó su ocurrencia en un 38.9%, pasando de 1046 a 639 eventos, los LP disminuyeron un 36.5%, pasando de 170 a 108 eventos y los HIB se incrementaron en 7 veces, pasando de 1 a 7 eventos (Tabla 18, Figura 57).

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	2983	1	0	0	0	2984
01-dic-19 a 31-dic-19	1821	0	0	0	0	1821
01-ene-20 a 31-ene-20	1046	170	0	1	0	1217
01-feb-20 a 29-feb-20	639	108	0	7	5	759

La energía sísmica liberada en febrero de 2020 disminuyó en un 57.1%, pasando de 5.12×10^{14} ergios a 2.20×10^{14} ergios, en comparación con lo registrado en enero. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 74.6% de la energía sísmica del mes. Los sismos de tipo LP disminuyeron su energía en un 32.7%, pasando de 8.17×10^{13} ergios a 5.50×10^{13} ergios. El pico energético del mes se registró el 26 de febrero con 5.57×10^{13} ergios (Tabla 19, Figura 58).

Tabla 19. Energía de eventos VT, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	1.18E+15	2.78E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.18E+15
01-dic-19 a 31-dic-19	1.63E+15	0.00E+00	4.67E+09	0.00E+00	0.00E+00	1.63E+15
01-ene-20 a 31-ene-20	4.30E+14	8.17E+13	0.00E+00	0.00E+00	1.78E+08	5.12E+14
01-feb-20 a 29-feb-20	1.64E+14	5.50E+13	0.00E+00	6.38E+11	3.39E+10	2.20E+14

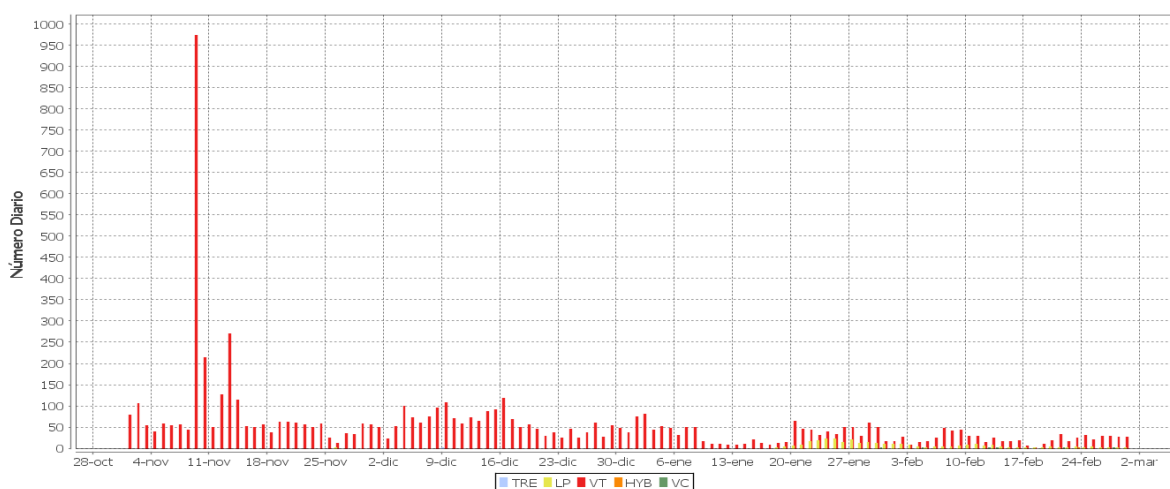


Figura 57. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

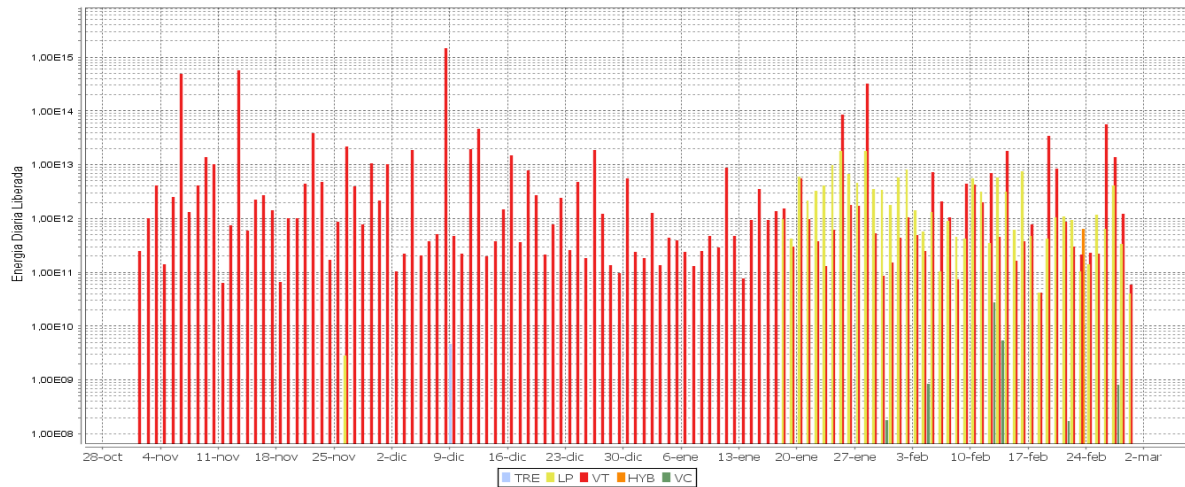


Figura 58. Energía diaria de sismos registrados entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Fueron localizados 188 sismos VT, ubicados en 2 zonas o fuentes diferenciables, la primera en el costado oriental del volcán Cerro Negro, a distancias entre cero y 3 km, profundidades menores de 5 km con respecto a su cima (4470 m), con ML máxima de 1.1 Richter. La segunda fuente se ubicó en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, distancias menores a 6 km y profundidades menores de 7 km con respecto a su cima (4700 m), con ML máxima de 1.9 en la escala de Richter. Otros pocos sismos se ubicaron dispersos en distancias hasta de 13 km y profundidades hasta de 13 km con respecto a la cima del volcán Chiles (Figura 59). Para este periodo no se tuvo reportes de sismos sentidos.

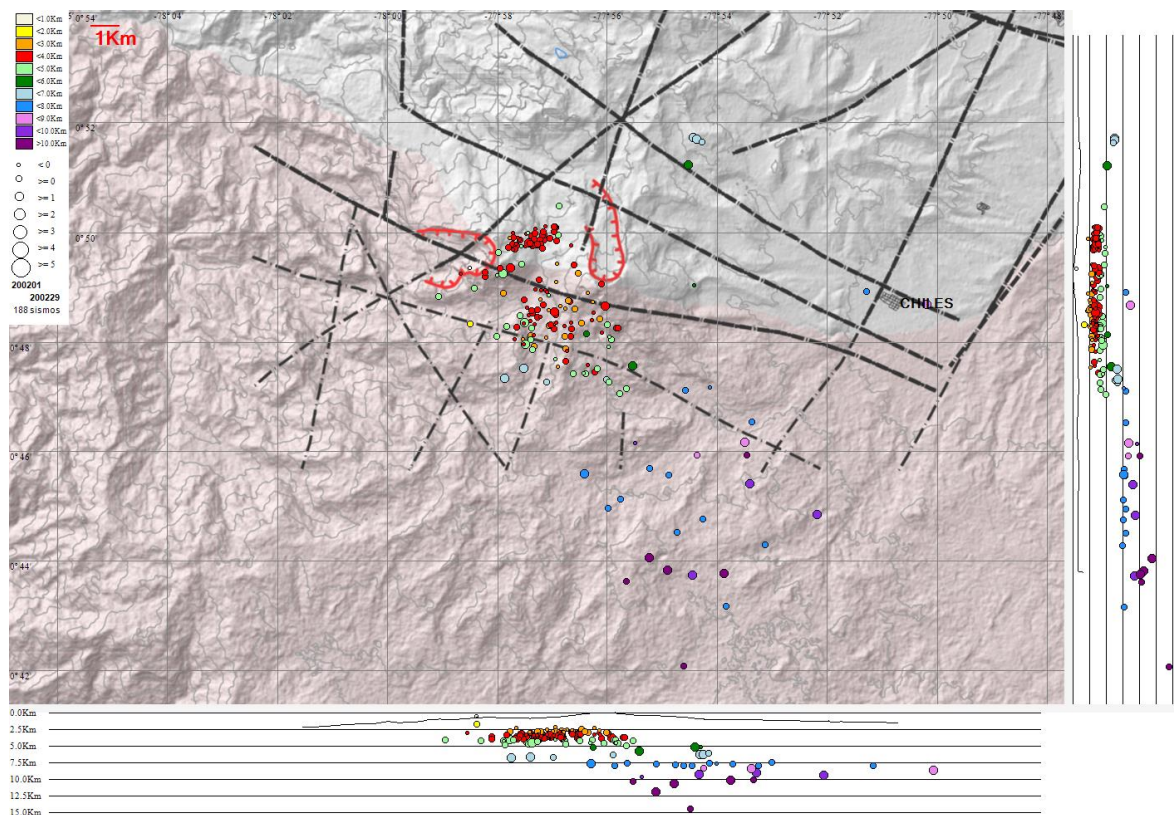


Figura 59. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en febrero de 2020

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destaca el registro de 2 sismos VT con ML mayor o igual a 1.8; en la Tabla 20 se consignan las características de localización de los VT con ML igual o mayor a 1.8.

Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 1.8 registrados en Chiles - Cerro Negro en febrero de 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
12/02/2020	1:27	0-46.17	77-53.49	8.5	1.9
14/02/2020	5:17	0-47.53	77-57.52	6.7	1.8

3.4 Deformación

3.4.1 Inclínometría Electrónica

Con respecto al comportamiento del inclinómetro electrónico de Chiles, persisten las tendencias similares a las reportadas en meses anteriores, en la componente de inclinación Norte, se evidencian dos tendencias, la primera reportada entre el 26 de mayo de 2016 y el 21 de abril de 2019, alcanzando cerca de 402 μrad , posteriormente se observa un comportamiento descendente, acumulando entre abril de 2019 y febrero de 2020 alrededor de 627 μrad . Por su parte para la componente Este, pese a las fluctuaciones del registro se observó cierta estabilidad, sin embargo, desde el 27 de mayo de 2019, se tiene una tendencia ascendente, registrando 2853 μrad (Figura 60).

En el inclinómetro El Morro, desde su reinstalación a finales de junio de 2019, se observó estabilidad en sus registros, pero desde el mes de octubre de 2019 se evidencia un comportamiento descendente en la componente Este, registrando 28 μrad , en contraste se presenta estabilidad en la Norte (Figura 61).

En la Figura 62, se indica el comportamiento del inclinómetro instalado sobre la superficie del Volcán Cerro Negro. De igual forma se resaltan los cambios de tendencia en las dos componentes, ambas presentan un comportamiento ascendente, en la Este se mantiene alcanzando desde mayo de 2019 cerca de 93 μrad , por su parte la componente Norte tiende a estabilizarse desde el 1 de noviembre de 2019.

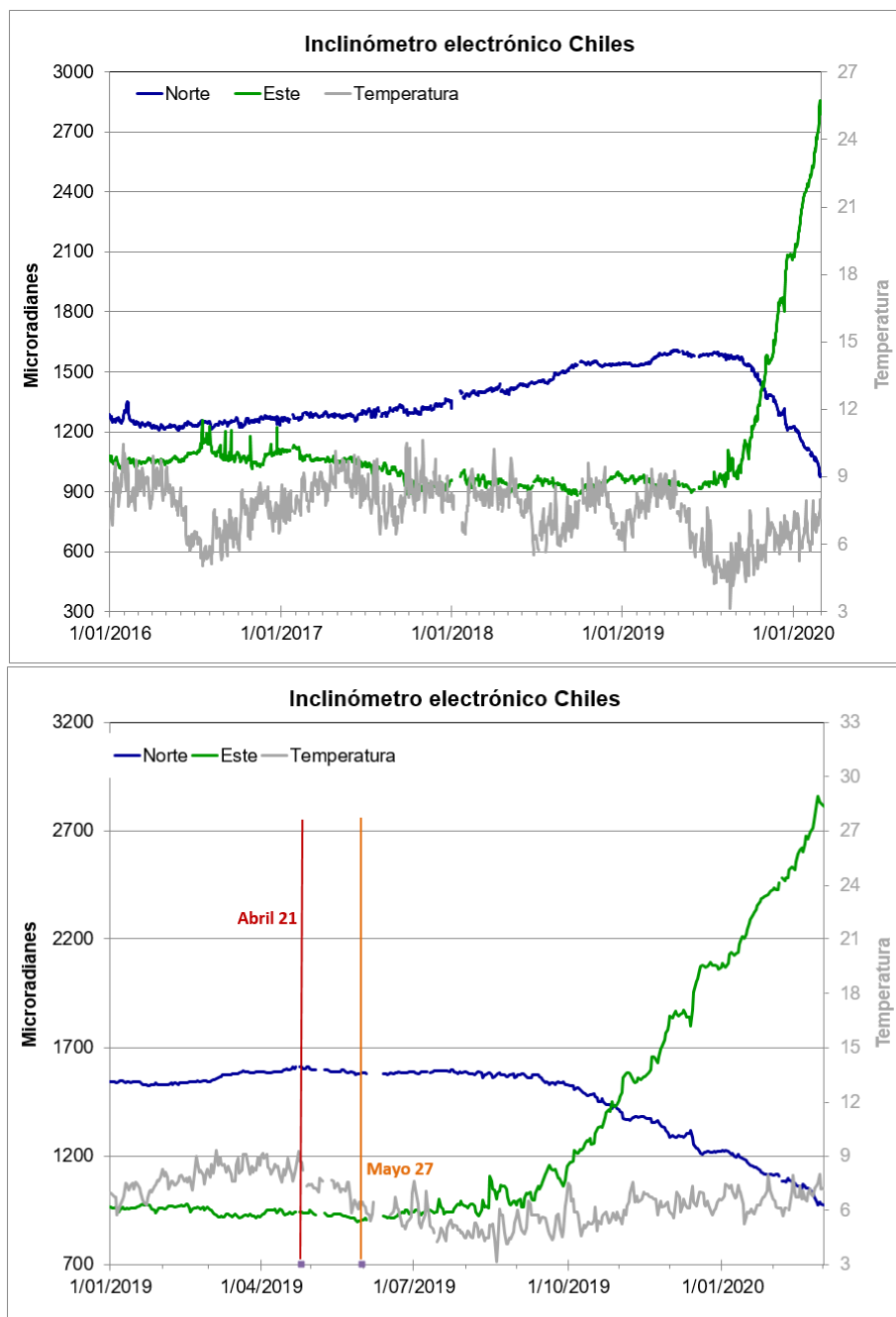


Figura 60. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre. Superior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020. Inferior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación, en la Norte desde el 21 de abril de 2019 y en la Este desde el 27 de mayo de 2019

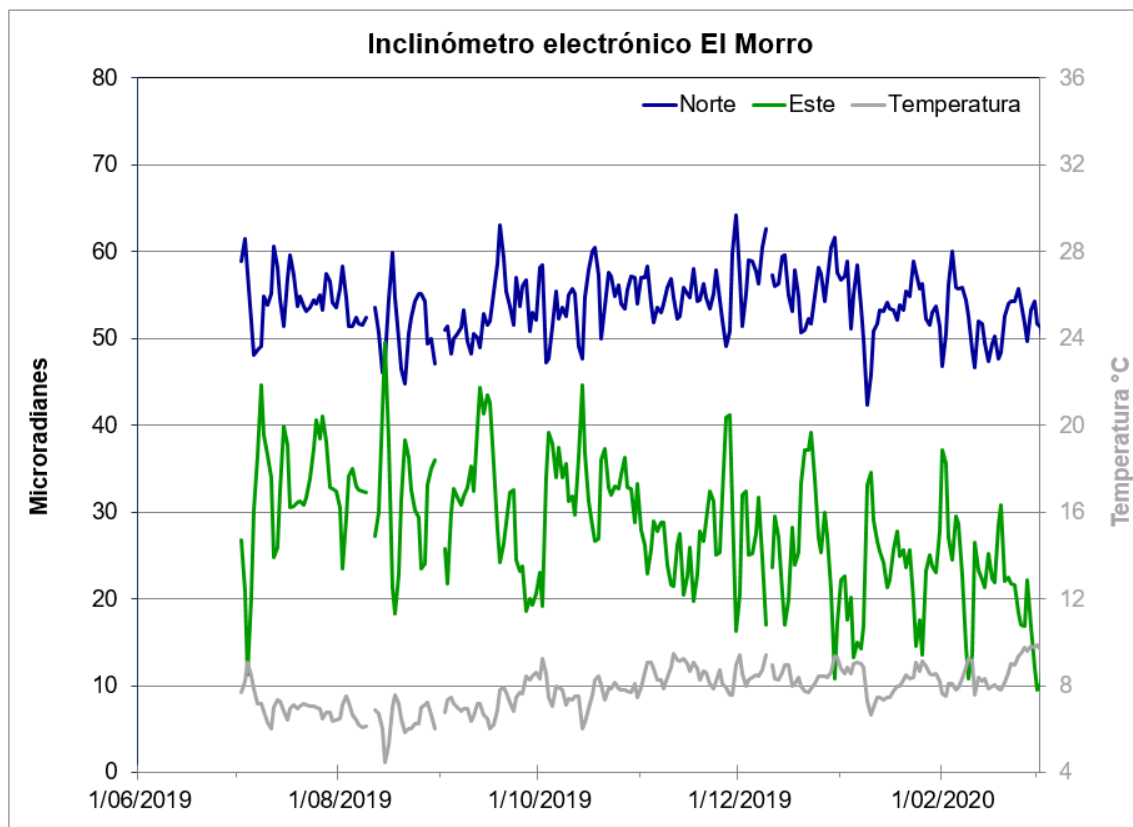


Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 29 de febrero de 2020

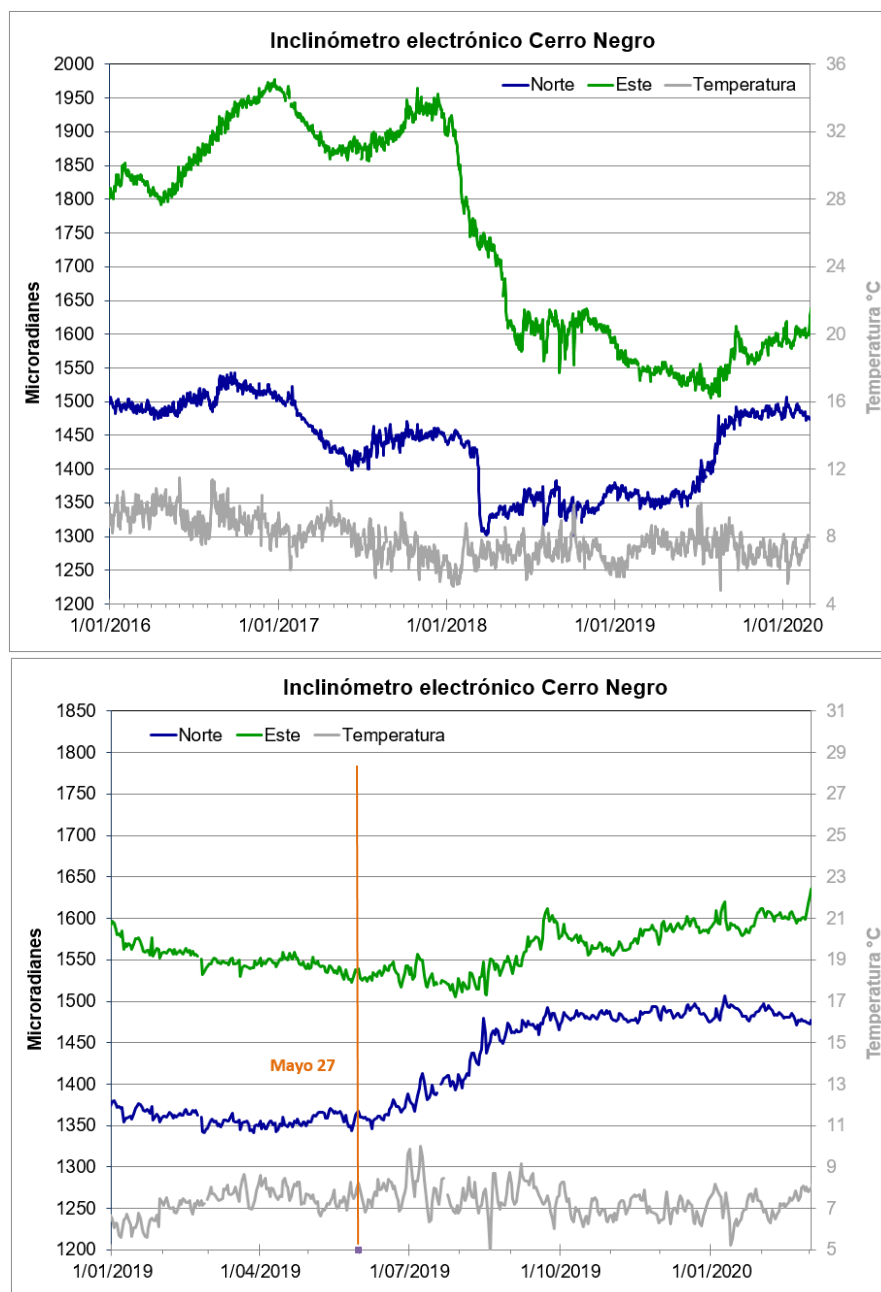


Figura 62. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre. Superior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020. Inferior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación desde el 27 de mayo de 2019

En la Figura 63, se indica la orientación de los vectores resultantes de los inclinómetros Chiles y Cerro Negro para el periodo comprendido entre abril de 2019 y febrero de 2020, indicando una posible inflación hacia el SW respecto a la cima del volcán Cerro Negro.

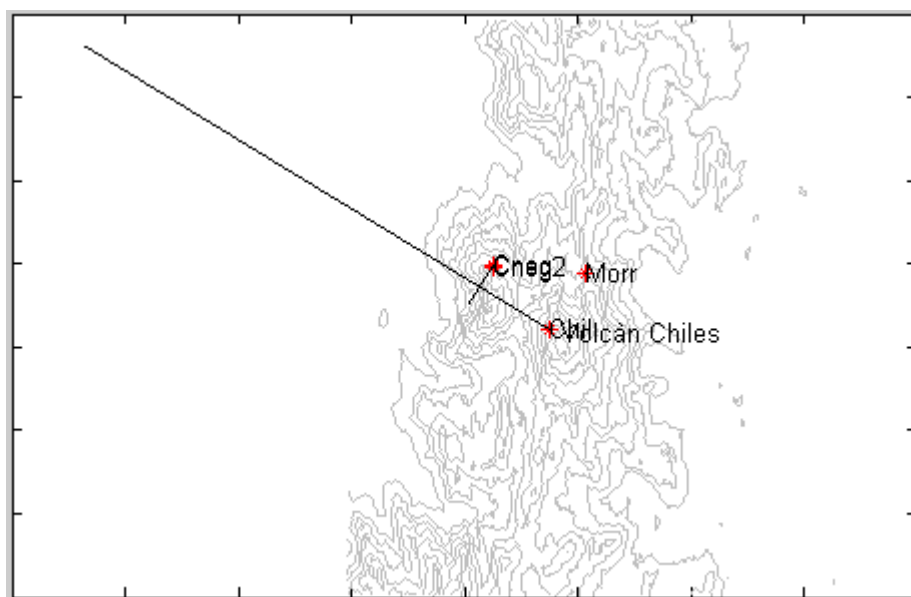


Figura 63. Vector resultante de los inclinómetros Chiles, Morro y Cerro Negro entre abril de 2019 y febrero de 2020. Los vectores muestran una posible inflación hacia el sur-oeste del volcán Cerro Negro

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 PPP (posicionamiento puntual preciso), el cual se está realizando a través del Servicio Geodésico Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso. La tendencia tectónica local de los registros en la dirección Norte, se remueve usando la estación QUILL, que pertenece a la red nacional GeoRED, ubicada fuera del edificio volcánico.

En general, en la estación GNSS El Morro, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura (Figura 64).

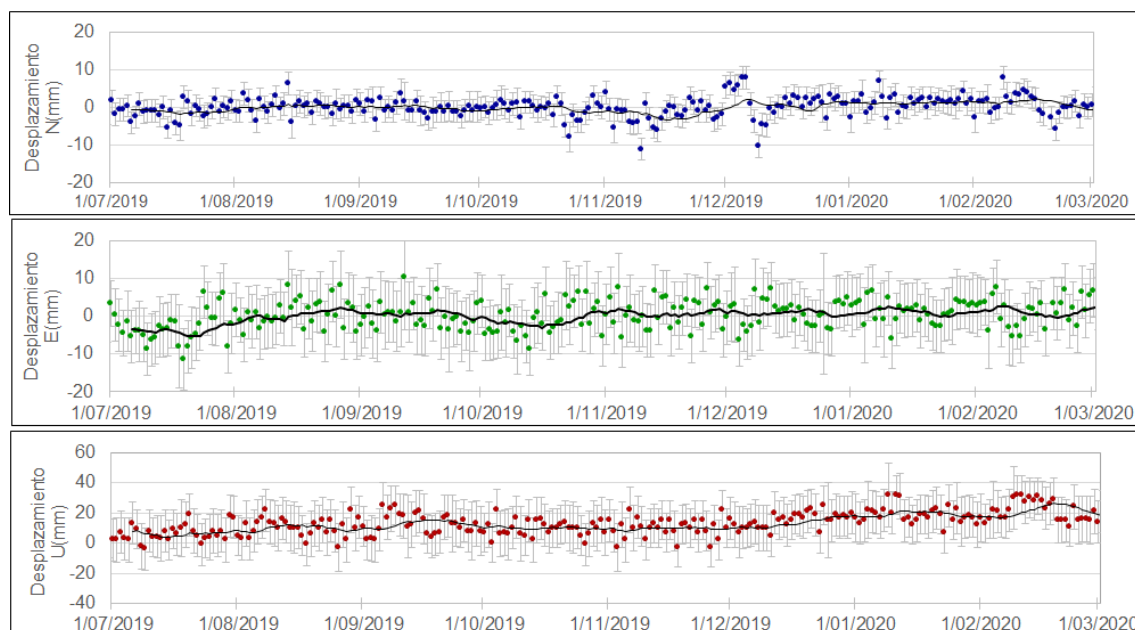


Figura 64. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 29 de febrero de 2020

3.4.2 Electromagnetismo

El análisis de la información del monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, para el mes de febrero de 2020, se realizó con los registros de la estación Morro (MOR), que cuentan con sensor magnéticos triaxial, tipo Fluxgate.

Entre noviembre, 2019 y febrero, 2020 (Figura 65), el comportamiento de la estación de monitoreo magnético, ubicadas en la zona de influencia del Complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, mostró una tendencia ligeramente descendente, resaltando principalmente las variaciones seculares diarias y de periodos mayores, así como variaciones de frecuencias mayores. Las variaciones del Campo Magnético Total (CMT) en la estación MOR, muestran variaciones de alrededor de 75 nT; la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia registró una variación de alrededor de 50 nT. Kourou se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la red mundial de

monitoreo del Campo Magnético Terrestre y por estar ubicada 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 la estación de monitoreo magnético de Chiles y Kourou, se resaltan las variaciones similares en los registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de otros fenómenos magnéticos conocidos como tormentas magnéticas solares, principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 4; lo que generan variaciones tanto en frecuencia como en amplitud, muy similares tanto en MOR como en KOU (Figura 65). Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares 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).

En febrero, 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en la estación MOR de alrededor de 29.320 nT y de 28.690 nT para KOU (Figura 65); mostrando en general un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, asociada con las variaciones día-noche, en cada una de las estaciones, es de alrededor 60 nT (Figura 66). Las variaciones más significativas se presentaron los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, cuando se registraron las tormentas externas mayores, con índice Kp entre 4 y 5 (Figura 66).

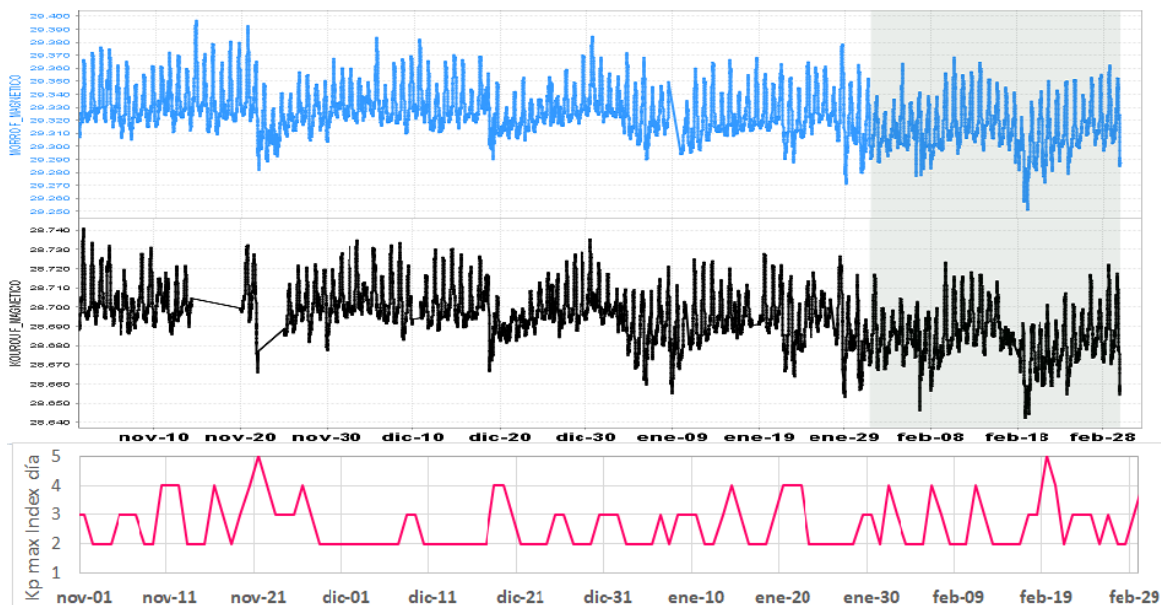


Figura 65. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Chiles: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020

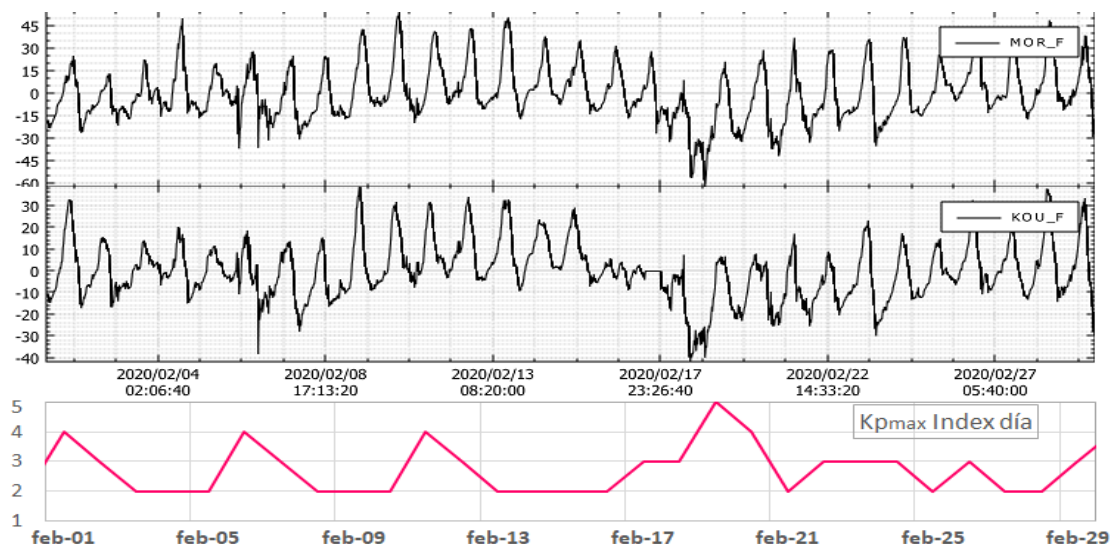


Figura 66. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de MOR y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta)

El análisis espectral de los registros magnéticos (Figura 67) resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 2 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así también muestra frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, asociadas con las variaciones seculares, que se deben eliminar para obtener las variaciones asociadas con el campo magnético local. Al filtrar estas frecuencias, los registros del CMT en la estación de monitoreo magnético MOR (Figura 68), registra variaciones máximas entre ± 15 nT, que en general corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con procesos locales de baja actividad. Para los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, estos valores, incrementaron hasta valores de alrededor de 30 nT, debido a los registros de las tormentas externas.

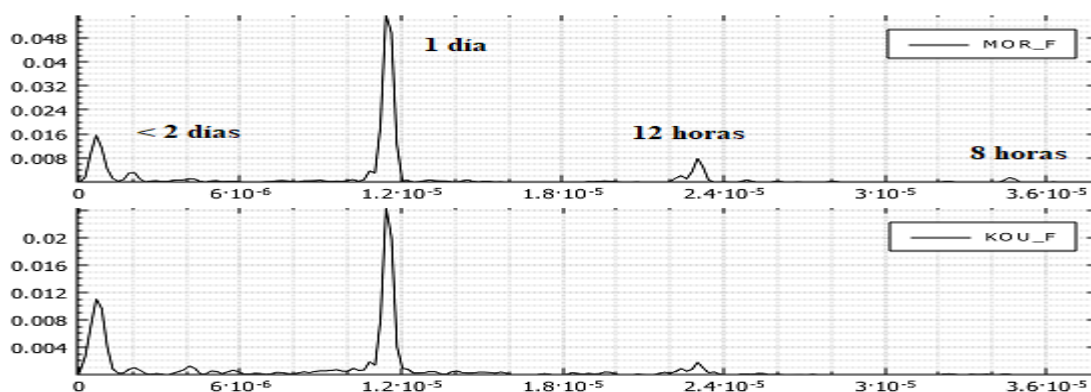


Figura 67. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones MOR y KOU, en febrero de 2020

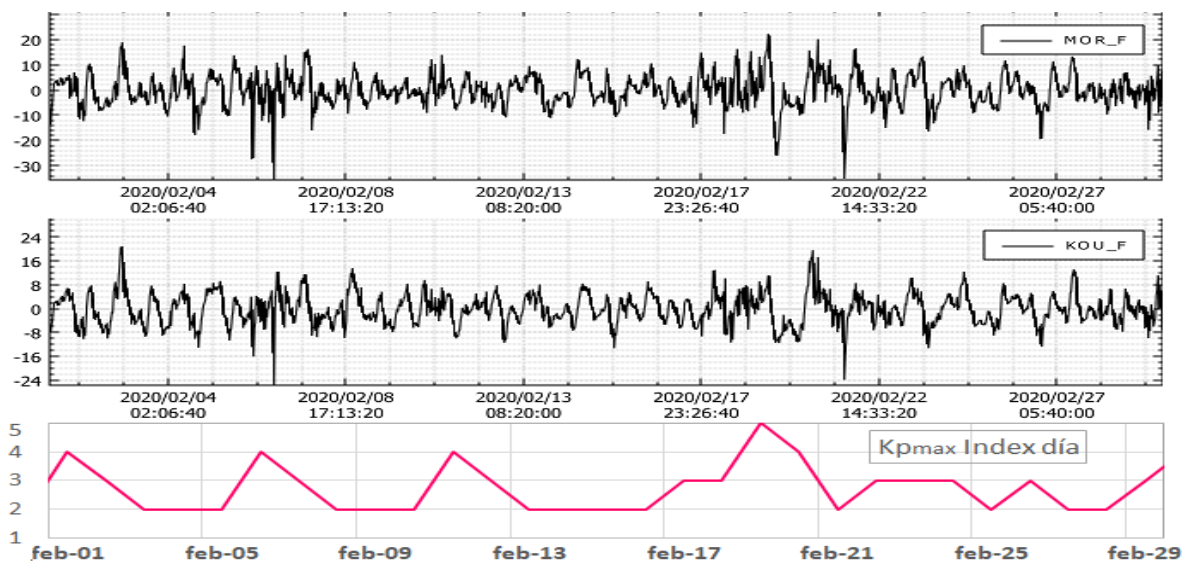


Figura 68. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU, en febrero de 2020

3.5 Geoquímica

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

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

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

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

3.5.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

3.6 Actividad Superficial

Durante el mes de febrero de 2020 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.7 Conclusiones

En febrero de 2020 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró disminución en su ocurrencia y energía, 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 los cuales incrementaron su ocurrencia a partir del 23 de enero de éste año.

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

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante febrero 2020 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 – FEBRERO DE 2020

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 69).

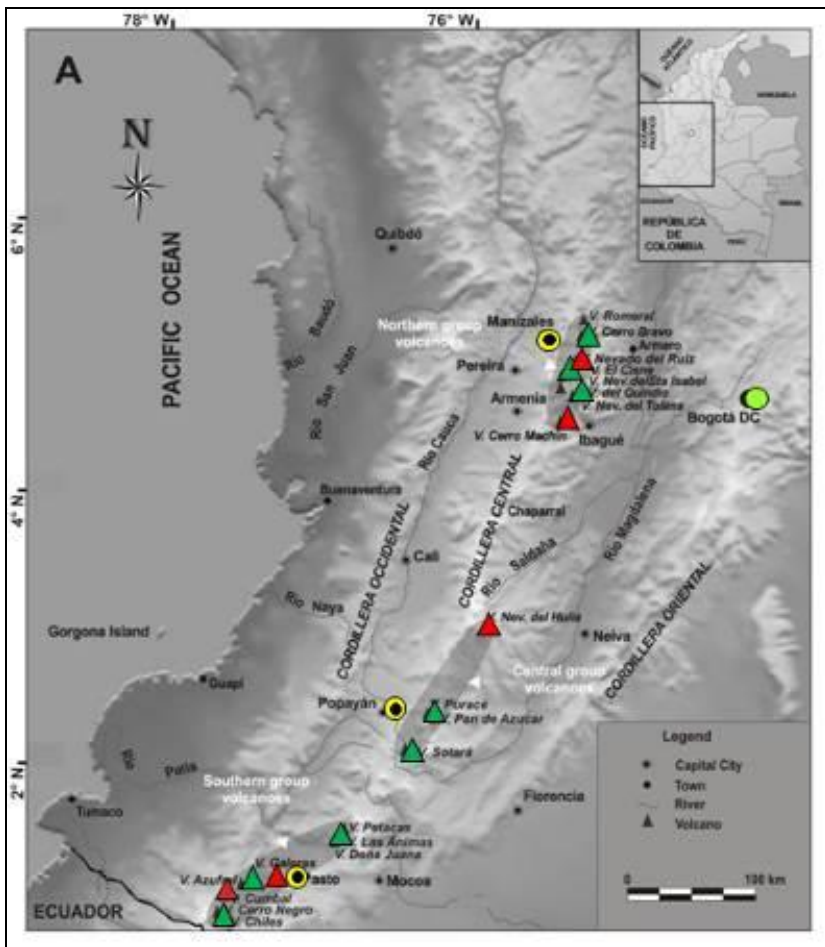


Figura 69. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufraal, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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: tres estaciones sísmicas, dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental

del volcán Las Ánimas. En el volcán Doña Juana se tiene instalado tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales, tres inclinómetros localizados en cada una de las estaciones sísmicas, dos GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparámetro Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 21, Figura 70). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 21), Figura 70. En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 100 % (Figura 71).

Tabla 21. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2020

Estación	Trans. de Datos	Tipo de Sensor	Comp.	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	Triaxial	2.1	S	12.3	SW	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2.3	W	13	SW	3140
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Triaxial	2.3	W	13	SW	3140
Lavas	Análogica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
I. Lavas	Análogica	Inclinómetro Electrónico	Triaxial	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
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	7.53	NW	4	WSW	2995
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7.5	NNW	10.3	W	2761
Animas I	No Telemétrica	Fuente Termal		8,8	NE	6,9	NW	2586
Animas II	No Telemétrica	Fuente Termal		9,7	NE	7	NW	2486
Animas III	No Telemétrica	Fuente Termal		9,1	NE	6,6	NW	2578
El Silencio	No Telemétrica	Fuente Termal		5,5	SW	16,9	SW	2458

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles – Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral – febrero 2020

La Vega	No Telemétrica	Fuente Termal		6,8	SW	18,5	SW	2432
Tajumbina	No Telemétrica	Fuente Termal		9,7	NW	9,5	NW	2500

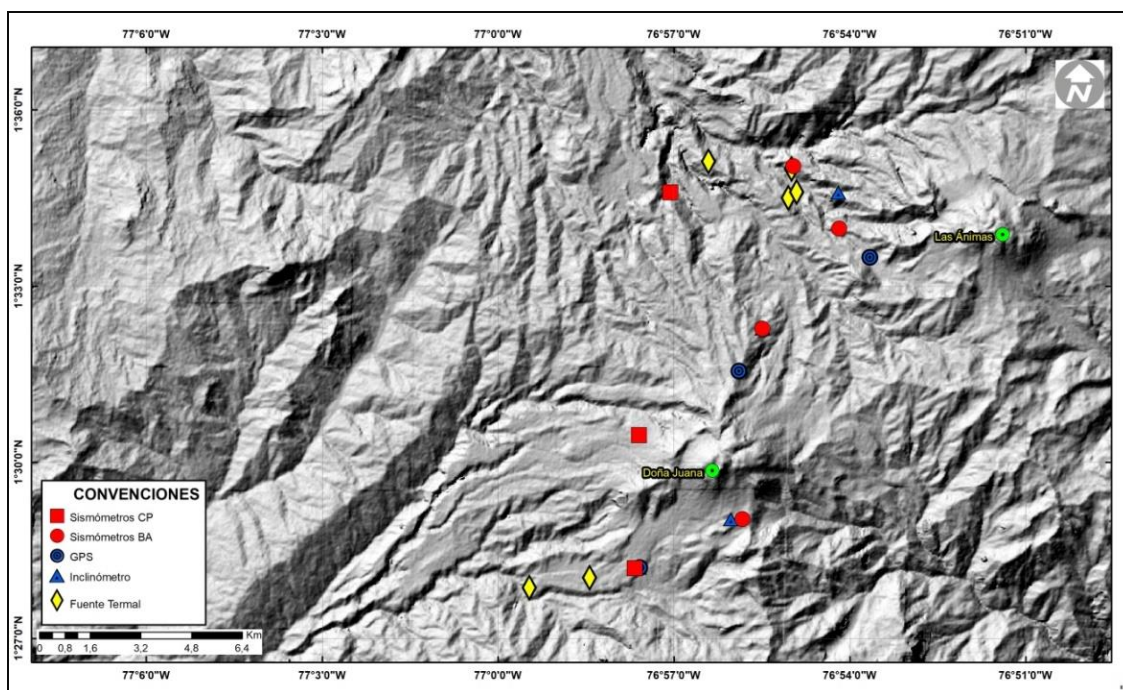


Figura 70. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de febrero de 2020

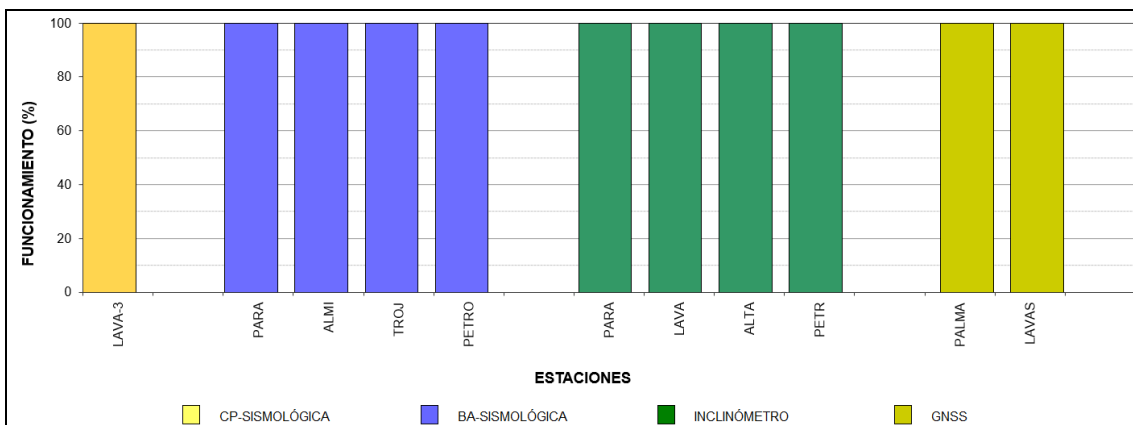


Figura 71. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en febrero de 2020

4.1.2 Sismología

La sismicidad de febrero de 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas disminuyó en un 66.7%, pasando de 6 a 2 eventos en comparación con el mes de enero. Los sismos registrados estuvieron asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) (Tabla 22, Figura 72) y uno de ellos se localizó a 5 km al noroccidente del volcán Doña Juana, a una profundidad de 11 km respecto a la cima volcánica (4200 msnm) y tuvo una magnitud de 0.4 (Figura 73).

Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre noviembre de 2019 y febrero de 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	6	0	0	0	6
01-dic-19 a 31-dic-19	11	0	0	0	11
01-ene-20 a 31-ene-20	6	0	0	0	6
01-feb-20 a 29-feb-20	2	0	0	0	2

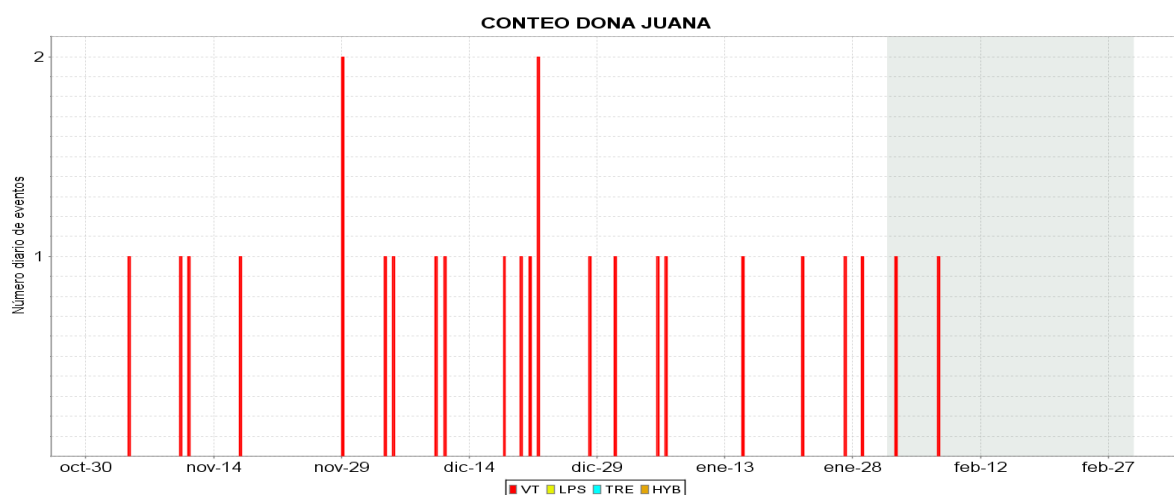


Figura 72. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

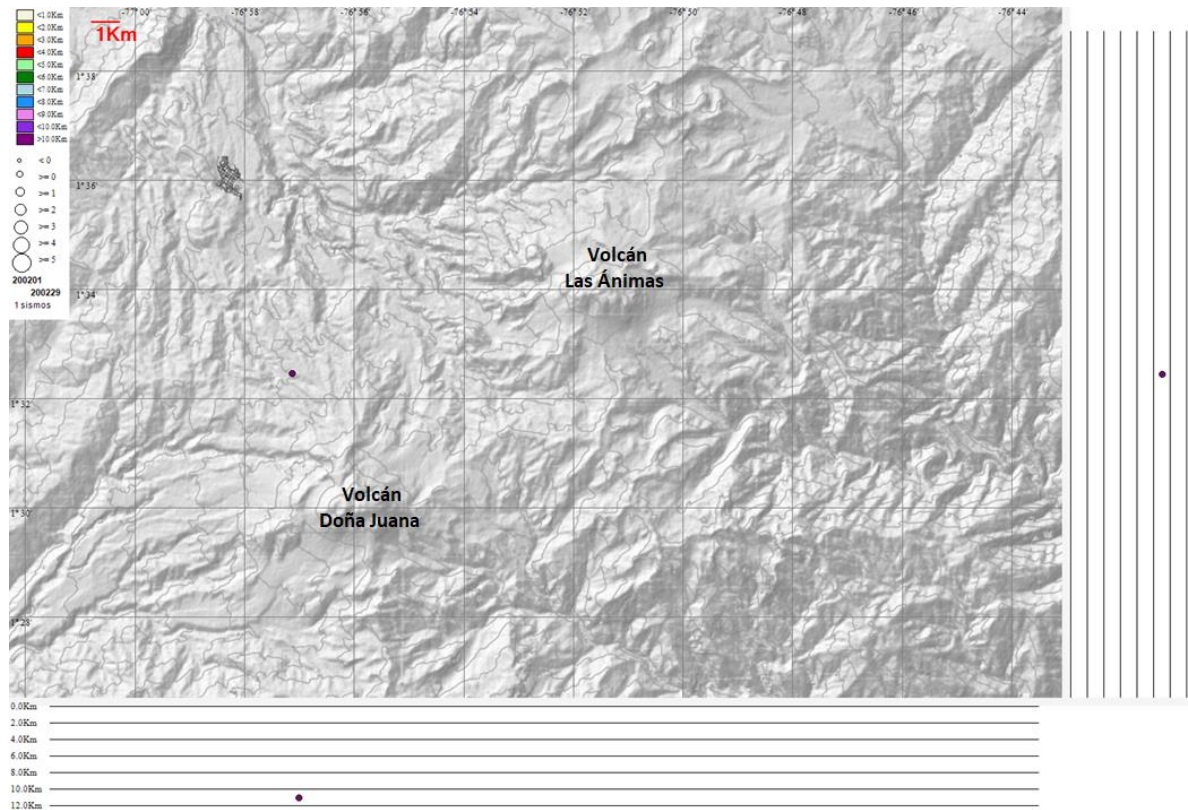


Figura 73. Sismos VT localizados en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, febrero de 2020

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

La componente Este del inclinómetro Altamira, muestra una tendencia levemente ascendente a partir de febrero de 2018 acumulando cerca de 32 urad, mientras su componente Norte presenta estabilidad (Figura 74).

En la Figura 75, se muestra la serie temporal para la estación de inclinometría Petroglifo; en la componente Este persiste la tendencia estable, y en la Norte, la tendencia descendente acumula 150 μ rad desde el mes de enero de 2019.

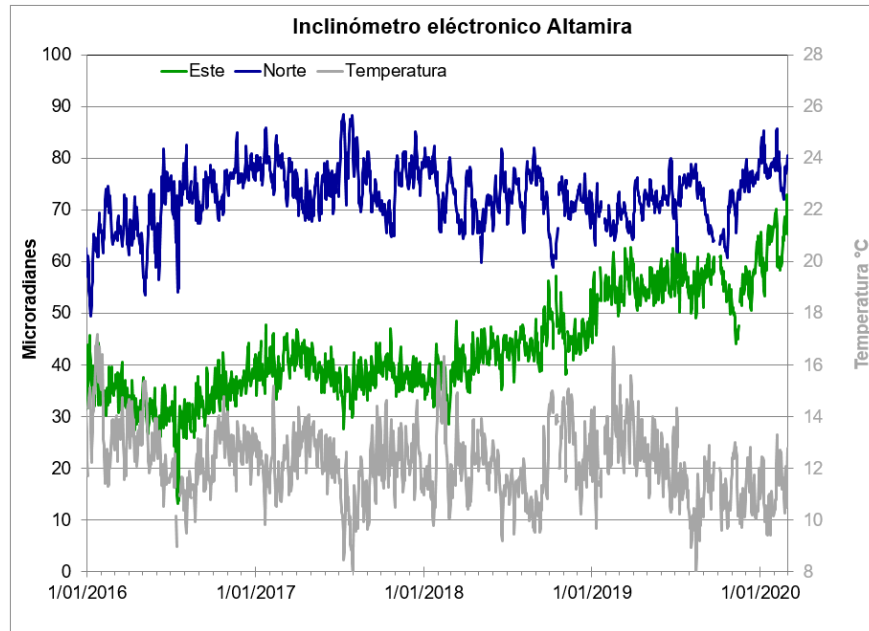


Figura 74. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

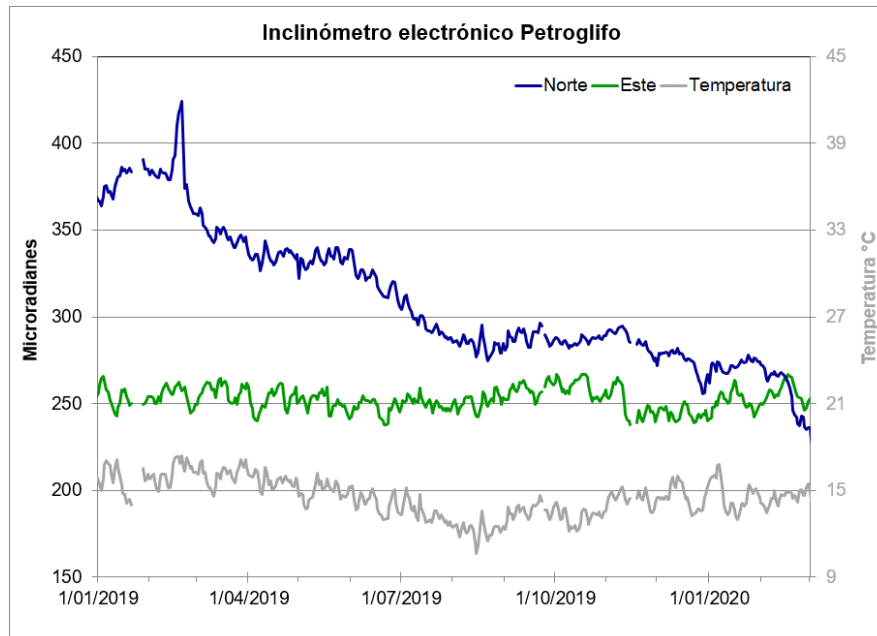


Figura 75. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 29 de febrero de 2020

Para el Volcán Doña Juana, posterior al mantenimiento correctivo realizado en el inclinómetro electrónico Páramo, se observa una ligera tendencia descendente en las componentes de inclinación, registrando la Este 46 μrad y la Norte, cerca de 27 μrad (Figura 76).

Los registros de las componentes de inclinación Lavas, al parecer desde mediados de noviembre, tienden a estabilizarse (Figura 77).

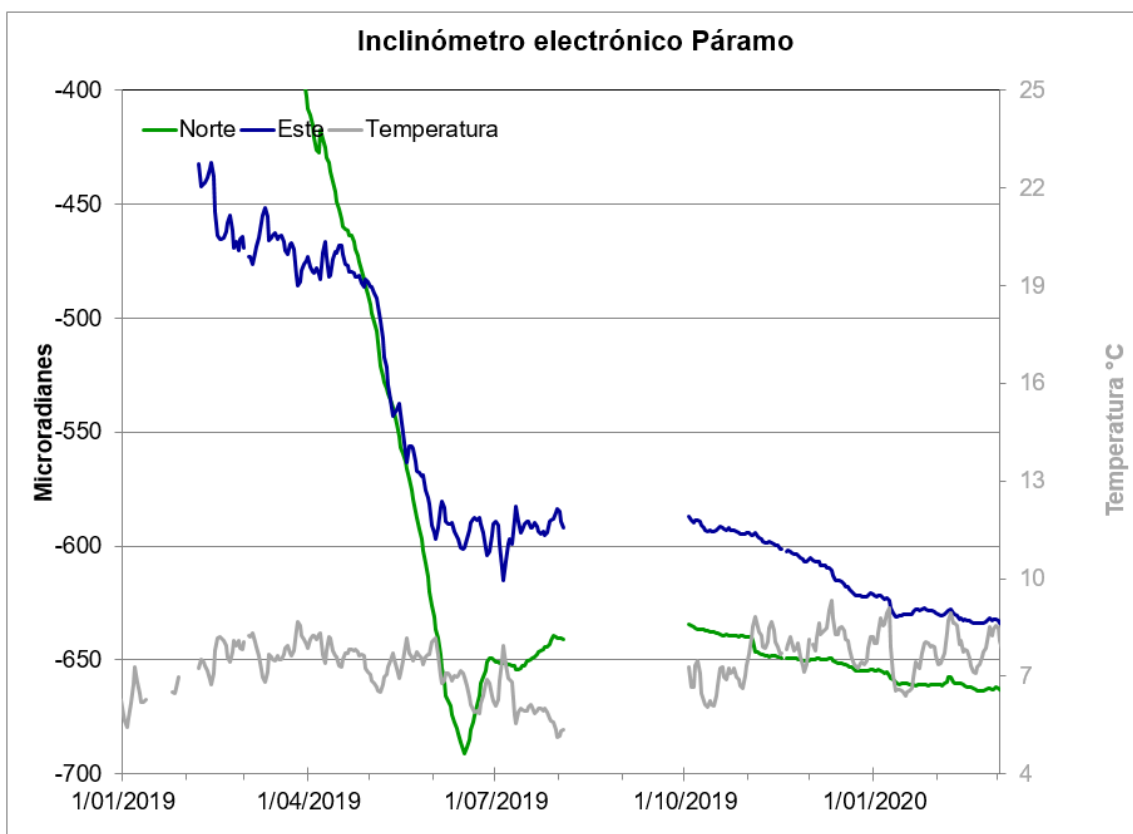


Figura 76. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 29 de febrero de 2020

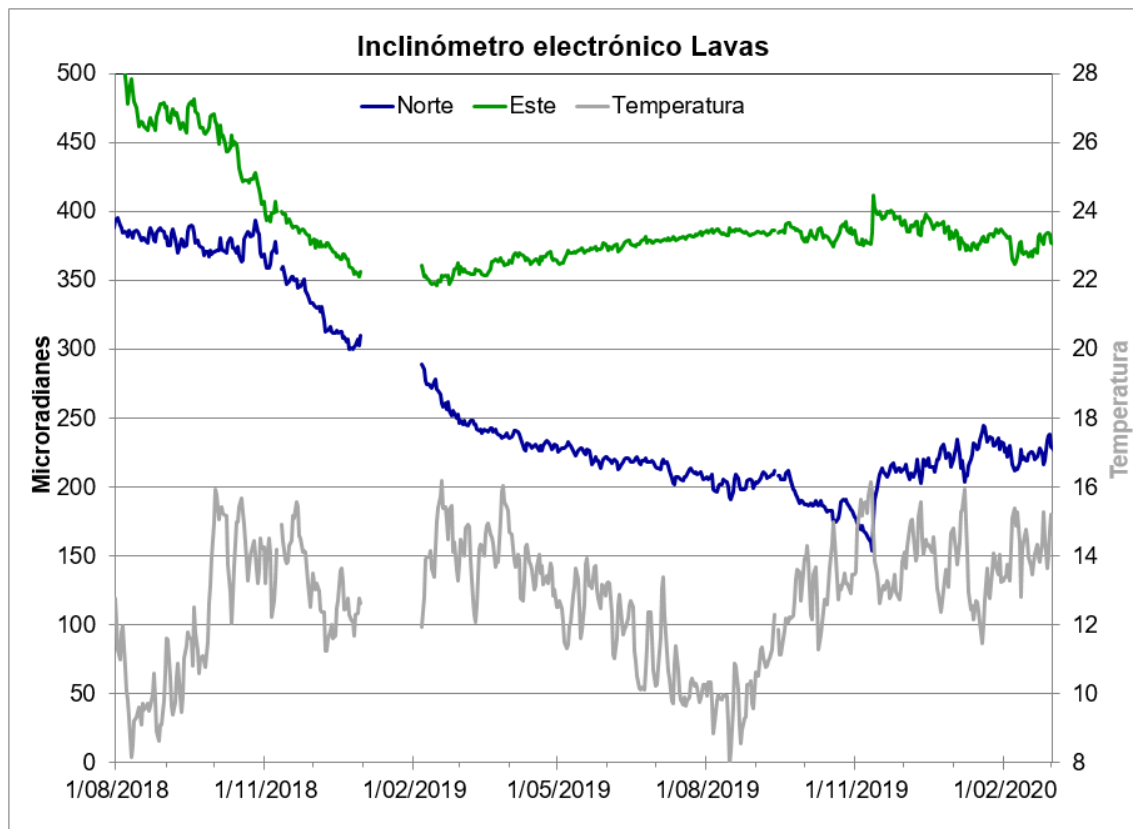


Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2018 y el 29 de febrero de 2020

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

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

Para el análisis se contempló un procesamiento PPP (posicionamiento puntual preciso), el cual se está realizando a través del Servicio Geodésico Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso. La tendencia tectónica local de los registros en la dirección Norte de las

estaciones GNSS se remueve usando la estación QUILL, que pertenece a la red nacional GeoRED, ubicada fuera del edificio volcánico. En la Figura 78, se indica el comportamiento del desplazamiento en las direcciones Este, Norte y Altura del GNSS La Palma, instalado en Doña Juana. En la figura se aprecia que después del cambio registrado por las componentes Norte y Vertical, entre septiembre y noviembre de 2018, las componentes muestran estabilidad.

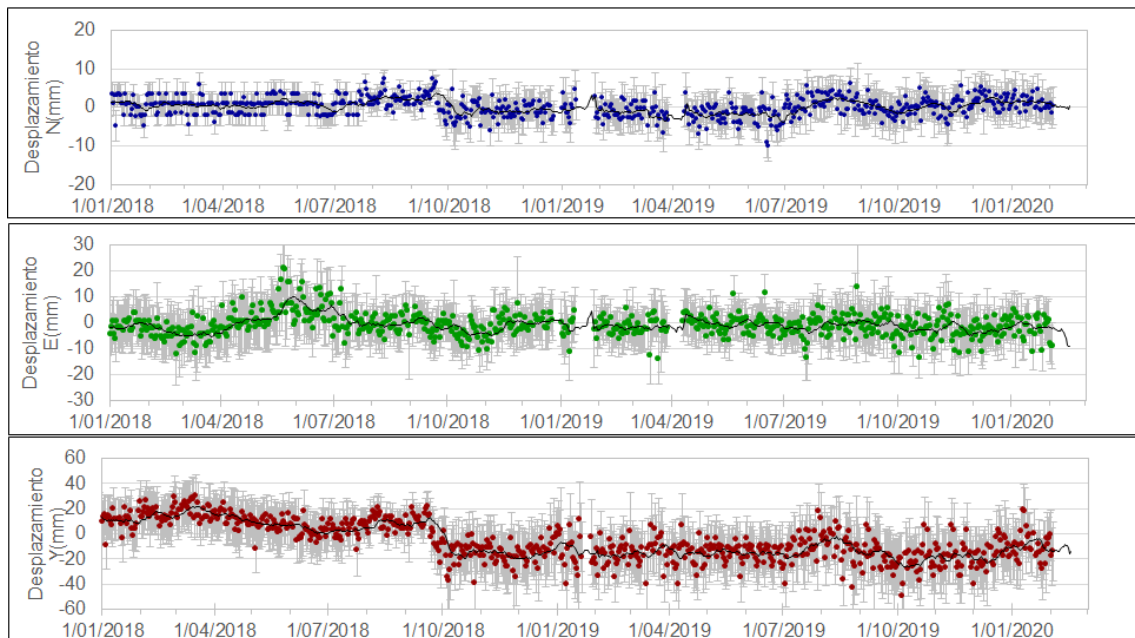


Figura 78. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020

4.1.4 Electromagnetismo

Para el respectivo periodo evaluado no se llevó a cabo esta actividad.

4.1.5 Geoquímica

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

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.1.6 Actividad Superficial

Durante el mes de febrero de 2020 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

4.1.7 Conclusiones

En febrero de 2020 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 febrero de 2020 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2 Actividad del Volcán Azufral

4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 79 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 23 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.

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

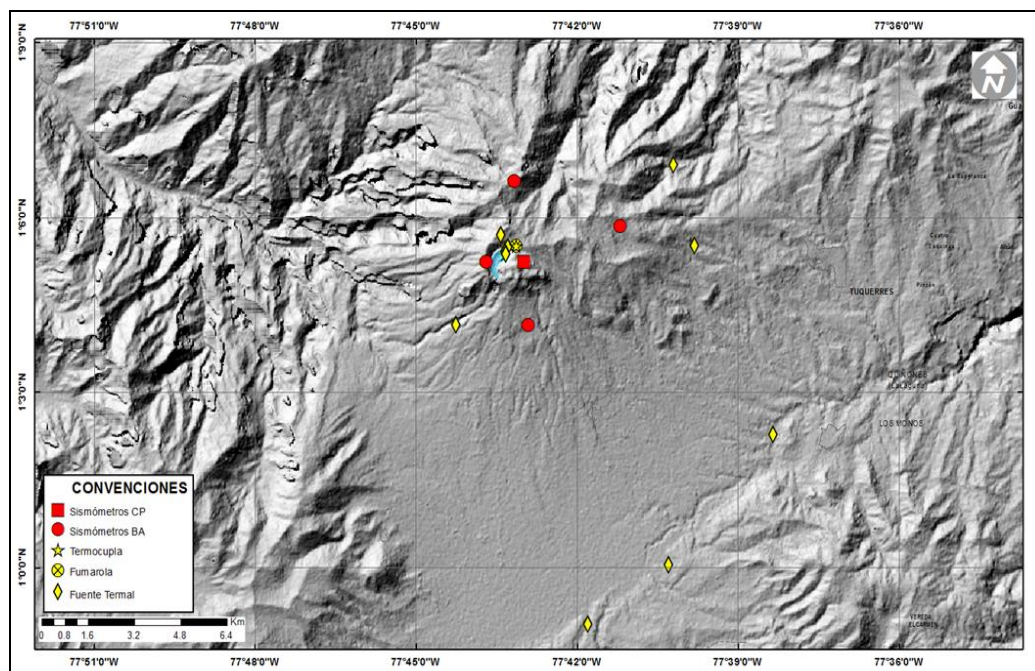


Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de febrero de 2020

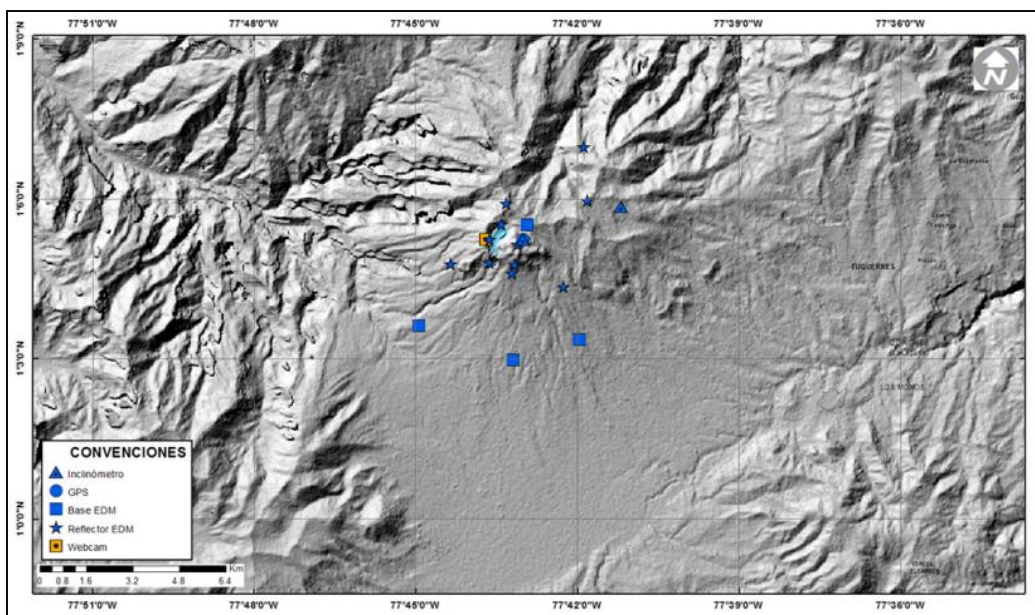


Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de febrero de 2020

Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de febrero de 2020

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Analógica	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		0.5	NE	3805

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

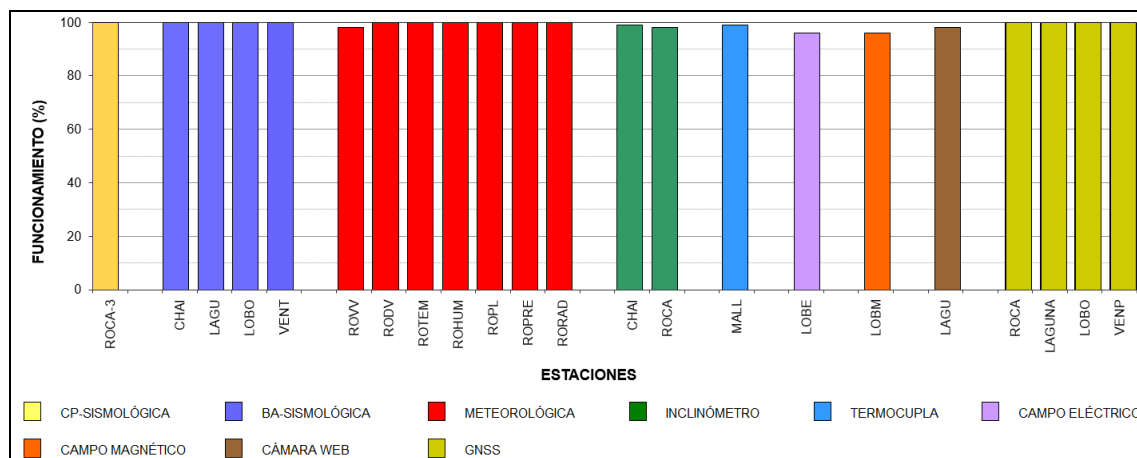


Figura 81. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante febrero de 2020

4.2.2 Sismología

En febrero de 2020 la sismicidad de Azufral aumentó en 2.3 en comparación a lo registrado en el mes de enero, pasando de 13 a 30 eventos. El mayor aporte en ocurrencia provino de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 26 eventos que corresponden al 86.7%, 2 eventos tipo LP y 2 eventos de tipo híbrido (HIB) que corresponde al 6.7% respectivamente del total de sismos (Tabla 24, Figura 82). Se localizaron 15 sismos tipo VT, ubicados de manera dispersa, en distancias entre 0.4 y 11 km respecto a la laguna cratérica, profundidades entre 2.8 y 10.5 km con respecto a la cima (4000 m) y con ML máxima de 1.3 en la escala de

Richter (Figura 83). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 5.94×10^{12} ergios.

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados entre noviembre de 2019 y febrero de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-nov-19 a 30-nov-19	33	1	0	0	34
01-dic-19 a 31-dic-19	28	0	0	2	30
01-ene-20 a 31-ene-20	10	1	0	2	13
01-feb-20 a 29-feb-20	26	2	0	2	30

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 2 sismos VT con magnitud local mayor o igual a 1.1, en la Tabla 25 se consignan sus características de localización.

Tabla 25. Sismos con ML mayor o igual a 1.2 registrados en febrero de 2020 en la zona de influencia del volcán Azufraal

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
04/02/2020	07:22	1-09.50	77-46.92	10.5	1.3
21/02/2020	17:27	1-06.90	77-42.90	5.3	1.1

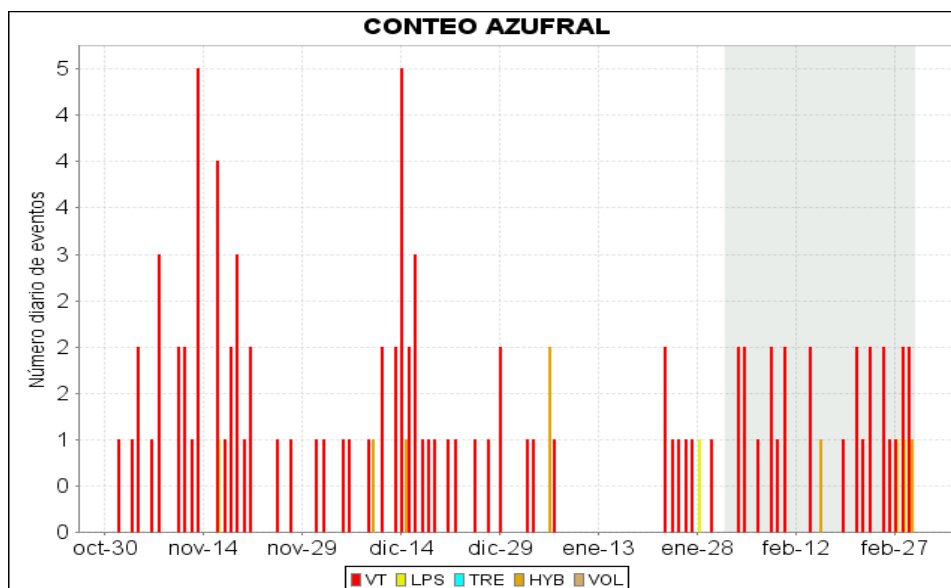


Figura 82. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufraal, entre noviembre de 2019 y febrero de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

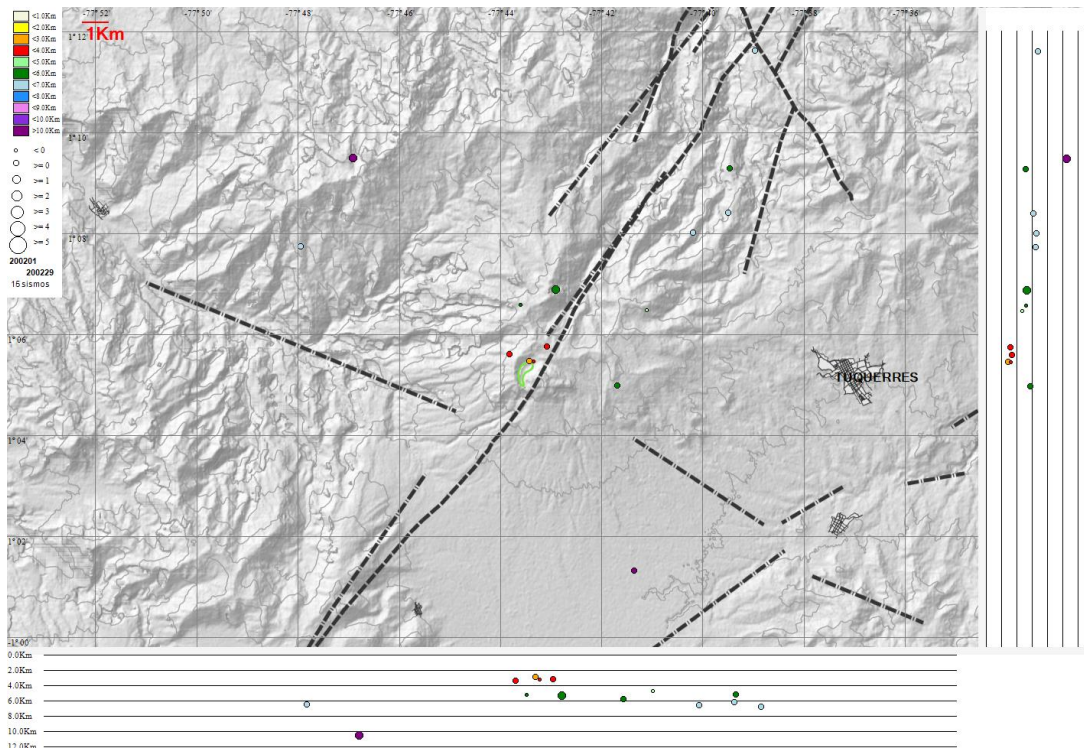


Figura 83. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en febrero de 2020

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclinometría Electrónica

El inclinómetro La Roca, luego de la tendencia descendente mostrada por la componente Este y la nivelación del sensor realizada el 20 de noviembre de 2018, se observa un comportamiento ascendente en las dos componentes de inclinación, de 66 μ rad para la Norte y 81 μ rad en la Este (Figura 84).

A lo largo del periodo evaluado, las componentes de inclinación de la estación Chaitán, muestran cierta estabilidad con variaciones menores a 10 μ rad (Figura 85).

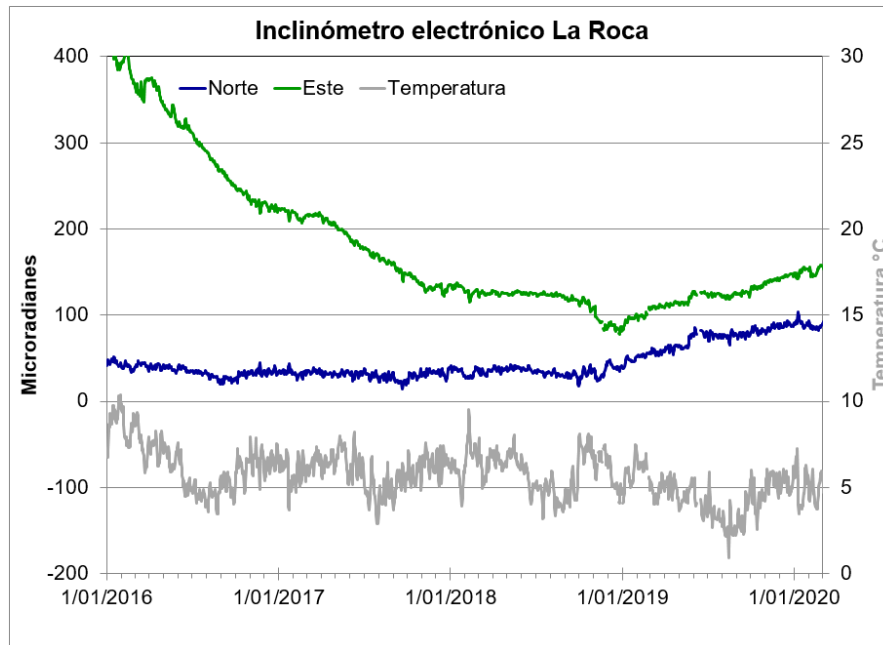


Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 29 de febrero de 2020

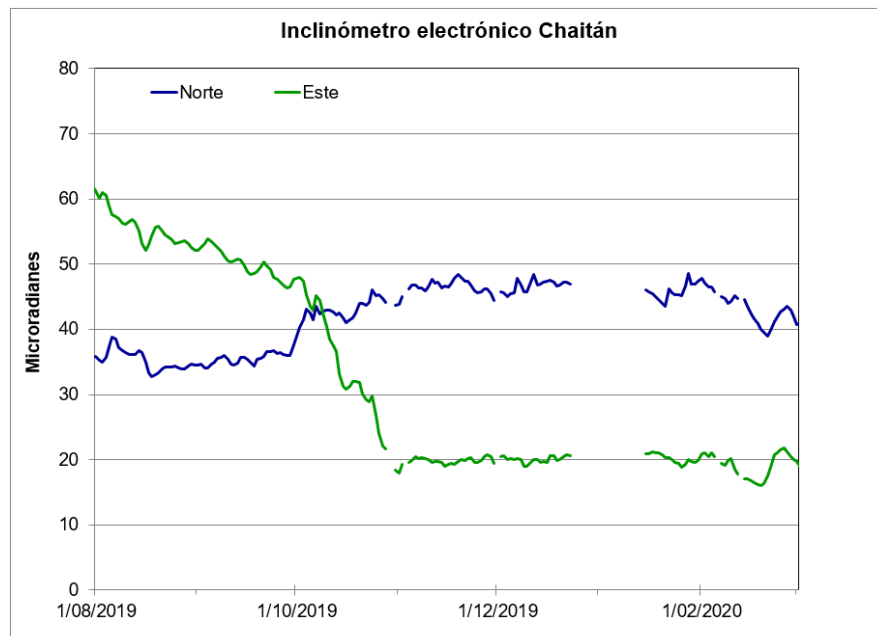


Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2019 y el 29 de febrero de 2020

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento PPP (posicionamiento puntual preciso), el cual se está realizando a través de Servicio Geodésico Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso. La tendencia tectónica local de los registros en la dirección Norte de las estaciones GNSS se remueve usando la estación QUILL, que pertenece a la red nacional GeORED, ubicada fuera del edificio volcánico.

En las Figuras 86 y 87, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Roca y Lobo. En general las estaciones GNSS muestran estabilidad en sus registros.

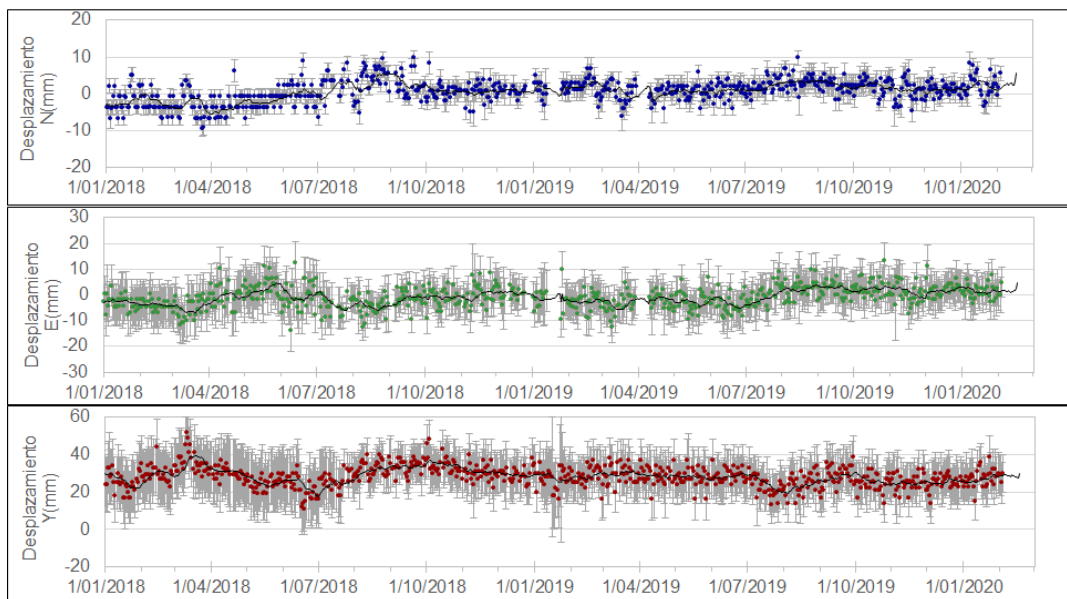


Figura 86. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de febrero de 2020

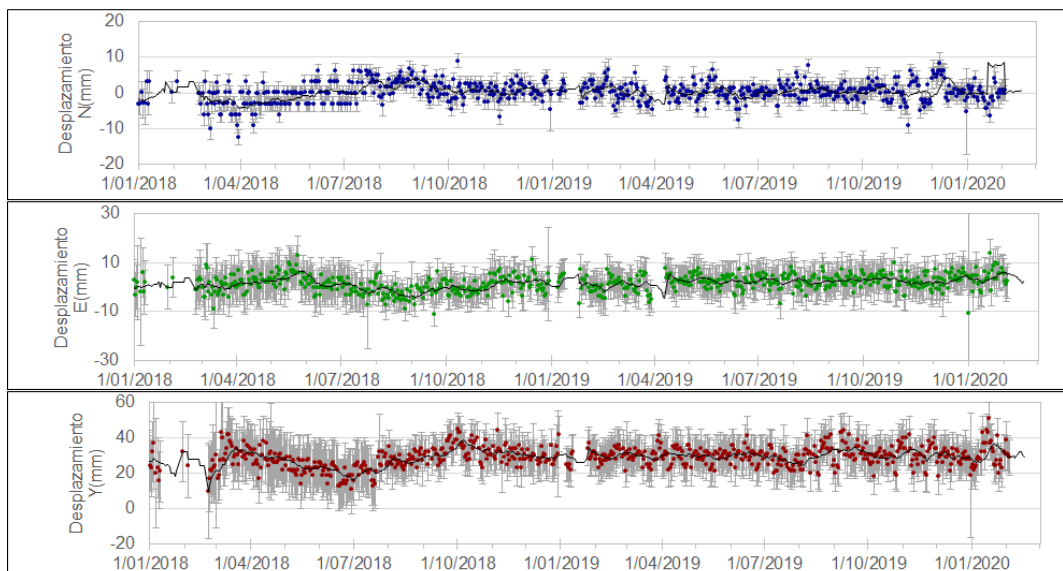


Figura 87. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 15 de febrero de 2020

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

Para el periodo evaluado se realizó ocupación entre los días 25 y 26 de febrero de 2020, por condiciones climáticas, la alta nubosidad en la zona, no permitieron la visual directa entre la Base y algunos prismas de medición, por lo tanto, no fue posible ocupar la totalidad de la red dispuesta para este tipo de técnica. En la Figura 88 se tiene la ubicación de las Bases y los prismas instalados alrededor del volcán Azufraal y en la Figura 89, se muestran las variaciones en distancia inclinada entre la Base de medición y cada uno de los prismas reflectores, las variaciones medidas se encuentran dentro del rango dinámico del equipo, por lo cual se podría decir, que se aprecia cierta estabilidad en los registros.

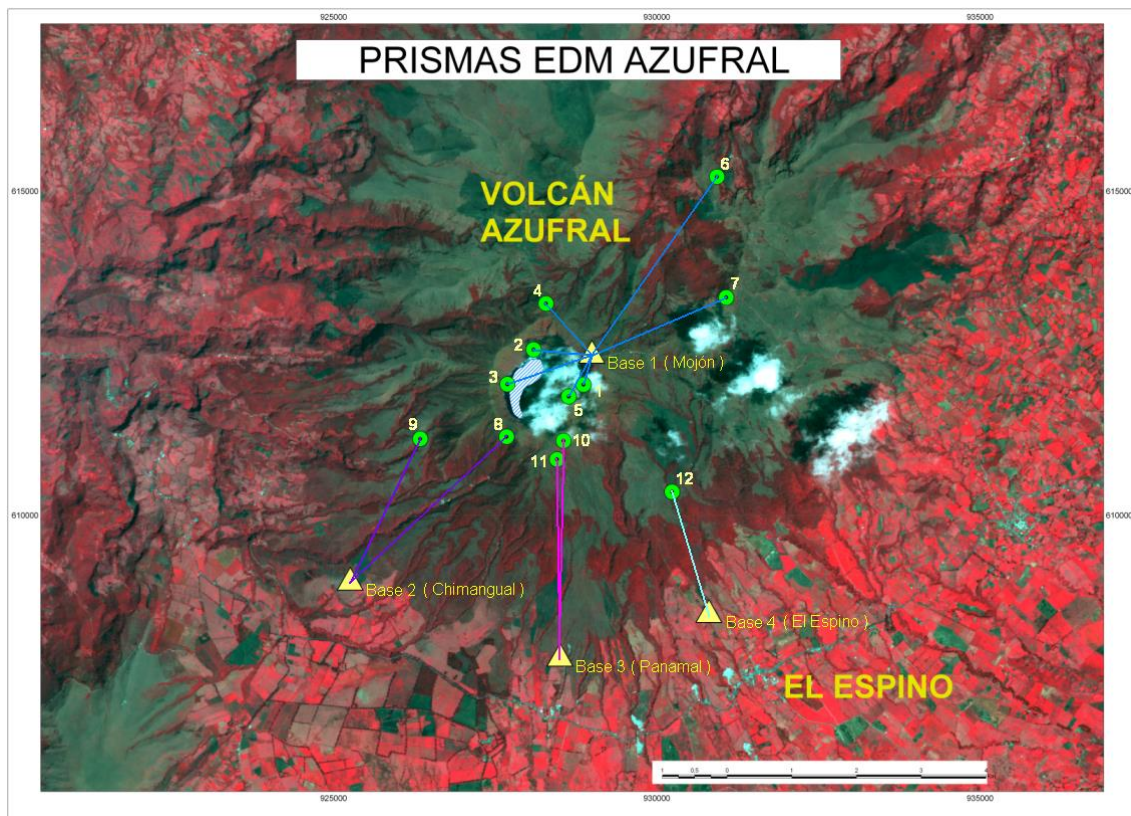


Figura 88. Ubicación de la red EDM, dispuesta sobre la superficie del volcán Azufral, los círculos de color verde, indican la ubicación de los prismas reflectores y los triángulos de color amarillo, las respectivas Bases de medición

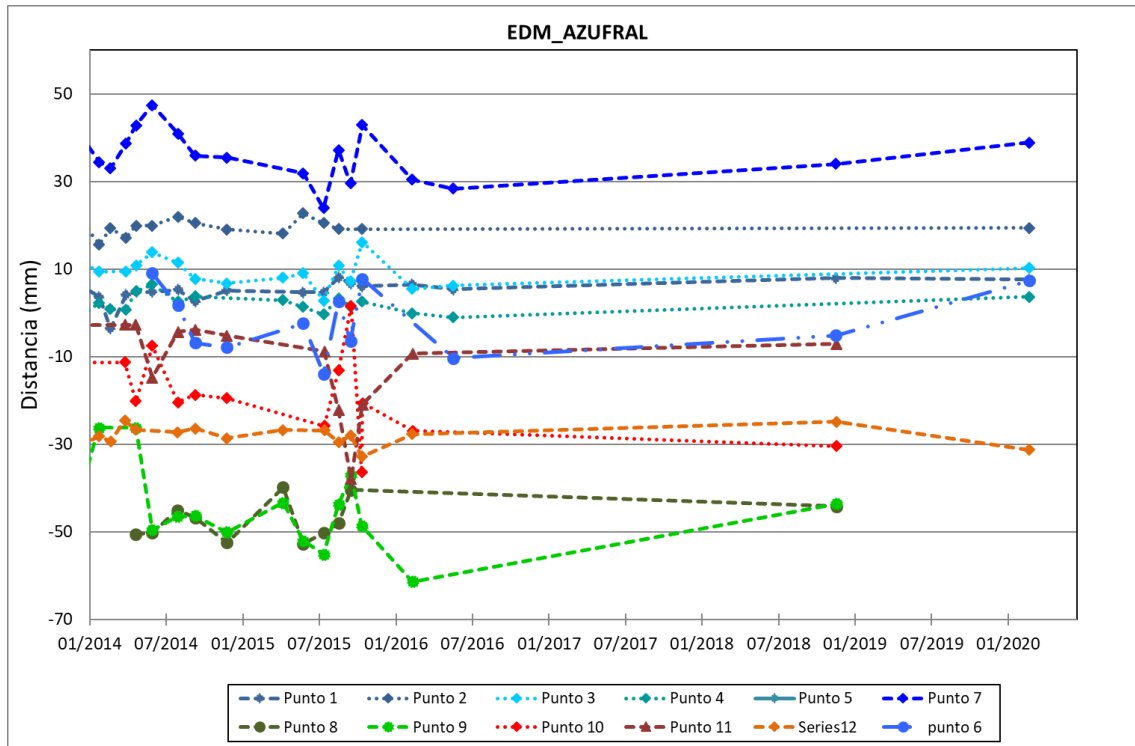


Figura 89. Información adquirida en ocupaciones de la red EDM instalada en el volcán Azufral, la última ocupación realizada fue a finales de febrero de 2020

4.2.4 Electromagnetismo

El análisis de la información del monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Azufral, para el mes de febrero de 2020, se realizó con los registros de la estación Lobo (LOB), que cuentan con sensor magnéticos triaxial, tipo Fluxgate. Adicionalmente, en la estación LOB se instalaron dipolos eléctricos horizontales, para monitorear las variaciones del Campo Eléctrico en sus componentes NS y EW.

Entre noviembre, 2019 y febrero, 2020 (Figura 90), el comportamiento de la estación de monitoreo magnético, ubicadas en la zona de influencia del volcán Azufral, mostró un comportamiento muy estable, resaltando principalmente las variaciones seculares diarias y de periodos mayores, así como variaciones de frecuencias mayores. Las variaciones del Campo Magnético Total (CMT) en la estación LOB, muestran variaciones de alrededor de 60 nT; la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia registró una variación de alrededor de 50 nT. Kourou se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la red mundial de monitoreo del Campo Magnético

Terrestre y por estar ubicada 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 la estación de monitoreo magnético de Azufral y Kourou, se resaltan las variaciones similares en los registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de otros fenómenos magnéticos conocidos como tormentas magnéticas solares, principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 4; lo que generan variaciones tanto en frecuencia como en amplitud, muy similares tanto en LOB como en KOU (Figura 90). Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares Kp, se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 90).

En febrero, 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en la estación LOB de alrededor de 25.830 nT y de 28.690 nT para KOU (Figura 90); mostrando en general un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, asociada con las variaciones día-noche, en cada una de las estaciones, es de alrededor 60 nT (Figura 91). Las variaciones más significativas se presentaron los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, cuando se registraron las tormentas externas mayores, con índice Kp entre 4 y 5 (Figura 91).

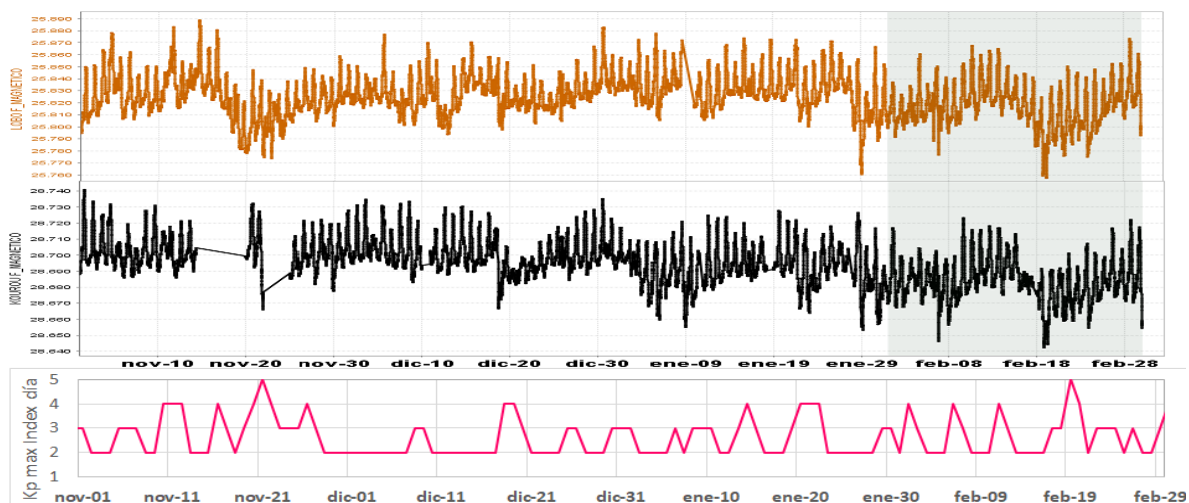


Figura 90. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Azufral: LOB (naranja) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre noviembre, 2019 y febrero, 2020

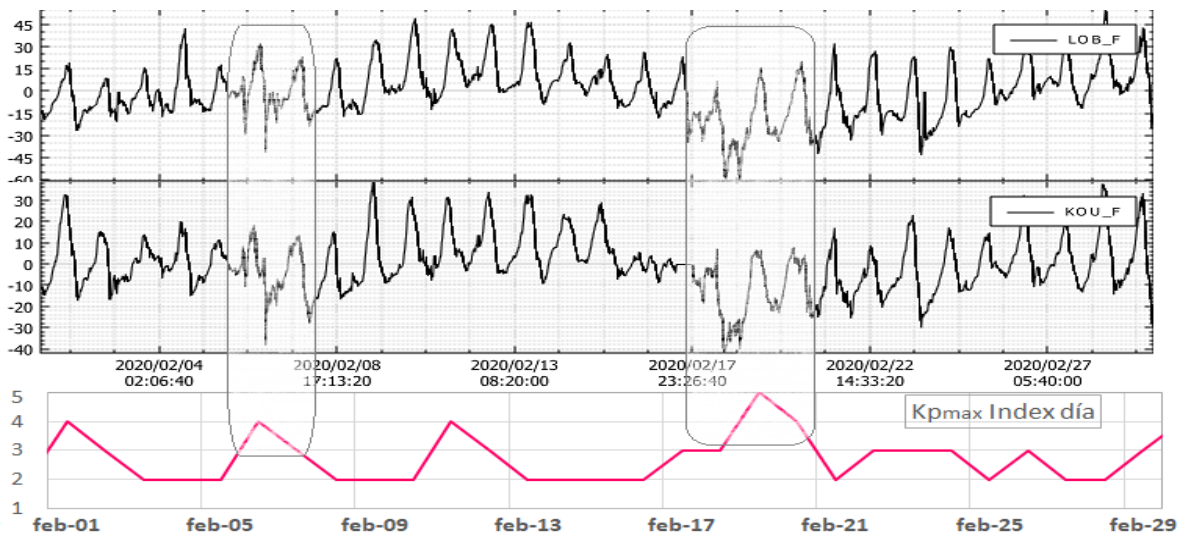


Figura 91. Variaciones del CMT-F, en las estaciones de LOB y KOU, para el mes de febrero, 2020, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta)

El análisis espectral de los registros magnéticos (Figura 92) resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 2 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así también muestra frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, asociadas con las variaciones seculares, que se deben eliminar para obtener las variaciones asociadas con el campo magnético local. Al filtrar estas frecuencias, los registros del CMT en la estación de monitoreo magnético LOB (Figura 93), registra variaciones máximas entre ± 15 nT, que en general corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con procesos locales de baja actividad. Para los días 6, 7, 17 y 18 de febrero, estos valores, incrementaron hasta valores de alrededor de 30 nT, debido a los registros de las tormentas externas.

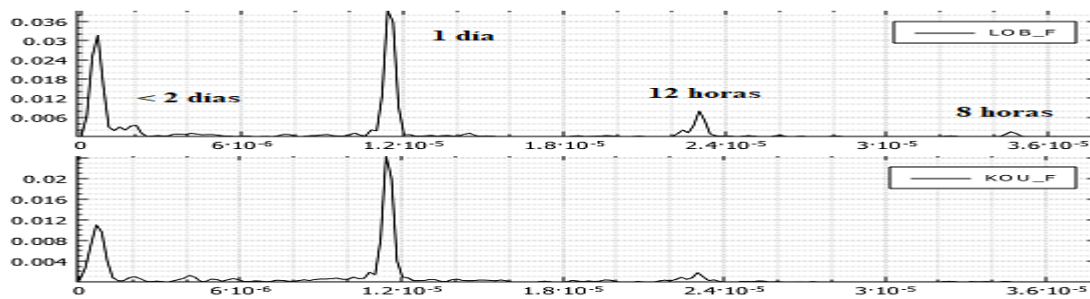


Figura 92. Registro en frecuencias del CMT-F, en las estaciones LOB y KOU, en febrero de 2020

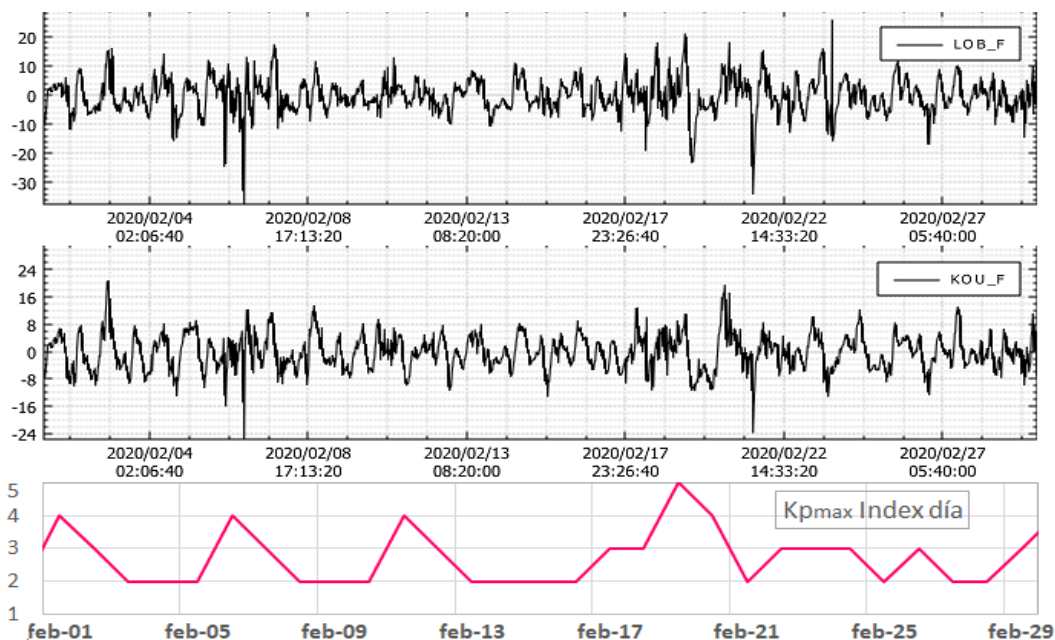


Figura 93. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, en febrero de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registradas en la estación de monitoreo eléctrico en AzufraI, LOB, para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020 (Figura 94), muestra un comportamiento ascendente que se asocia perfectamente con el incremento de la lluvia en la zona donde se ubica la estación. En febrero, 2020, el registro se muestra un poco más estable, aun cuando las variaciones diarias son mayores a las usualmente registradas. La figura 94, muestra también los registros de lluvia acumulada, tomados del pluviómetro Roca, ubicado cercano a la zona donde está la estación LOB Eléctrica, que para el periodo evaluado (cuatro meses), tuvo un acumulado de alrededor de 130 mm. Los registros de ROC_PRECIPITACION confirman la influencia de las lluvias sobre los registros de la estación de monitoreo eléctrico.

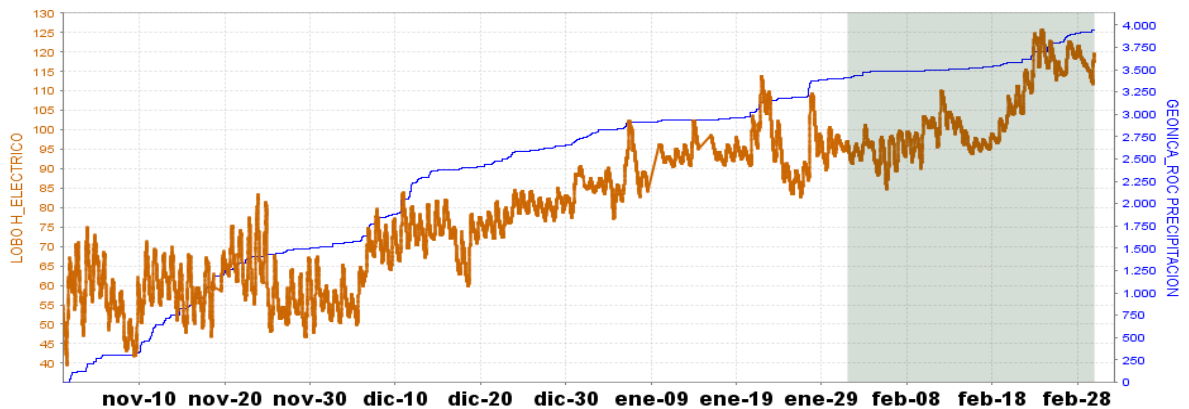


Figura 94. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral; LOB (naranja), para el periodo entre noviembre, 2019 y febrero, 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría Geónica-Roca (azul), ubicada en la zona de influencia de Azufral. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm/h

Para el mes de febrero, 2020; el comportamiento las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH) en LOB continúa mostrando la estrecha relación que existe entre el comportamiento del CEH con la ocurrencia de lluvias en la zona, registradas en la estación de Geónica-Roca para el mismo periodo de tiempo (Figura 95). De acuerdo con esta información, la variación de la tendencia de la componente horizontal del CEH para LOB fue de alrededor de 30 nT; en tanto que las variaciones seculares diarias fueron de alrededor de 10 mV, que eventualmente incrementaron de acuerdo con el incremento de las lluvias.

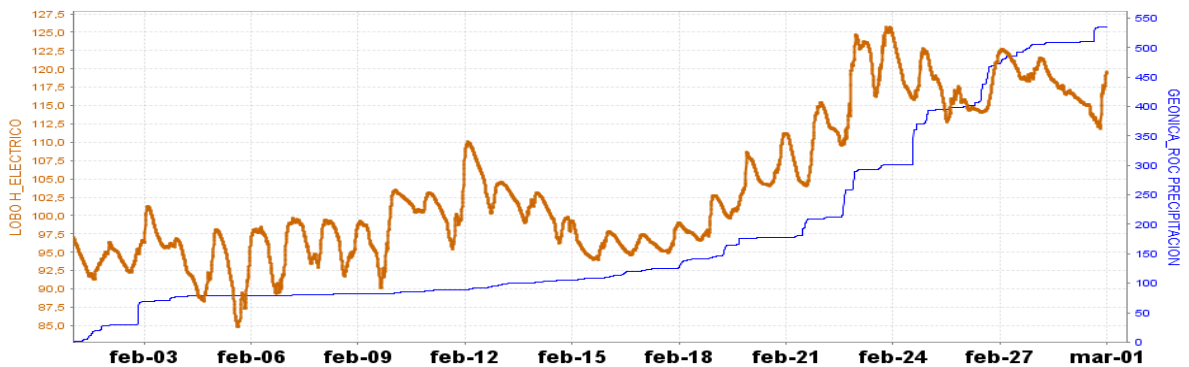


Figura 95. Variaciones del CEH, en la estación LOB (verde) de la red de monitoreo de Azufral, para el mes de febrero, 2020, comparado con el comportamiento del régimen de lluvias en la estación Geónica-Roca (azul), para el mismo periodo de tiempo

El análisis espectral del CEH en LOB muestra frecuencias dominantes mayores a 2 días, 1 día, 12 horas y 8 horas, representadas en las variaciones seculares externas al campo (Figura 96).

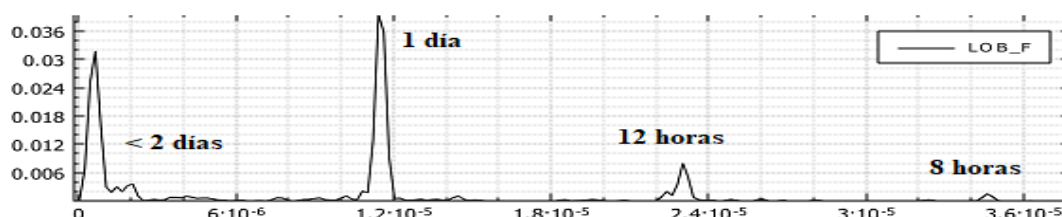


Figura 96. Registro en frecuencias del CEH, en la estación LOB, en febrero de 2020

Al eliminar estas frecuencias asociadas con ruido debido a la influencia de las lluvias y a variaciones seculares, debidas todas a efectos externos, se obtuvieron los registros de la actividad local, encontrando variaciones de alrededor de ± 6 mV, que son variaciones bajas asociadas con estabilidad en la actividad volcánica (Figura 97).

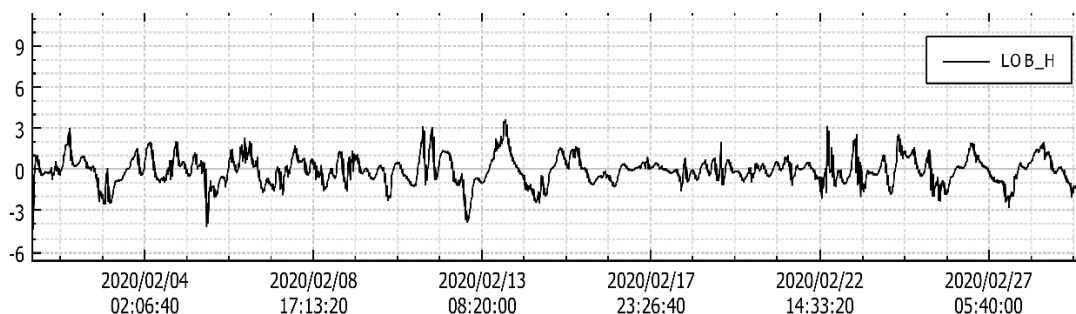


Figura 97. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación LOB, de monitoreo eléctrico en Azufral, durante el mes de febrero, 2020

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufral

Para el mes de febrero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán Azufral

Para el mes de febrero de 2020 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, radiación solar y precipitación.

En la Figura 98 se evidencia la gráfica temporal de las variables estudiadas, y los valores numéricos en la Tabla 26, para el periodo evaluado se observan cambios en la dirección del viento en los días 8 al 10 y 21 al 26 de febrero, al ubicar estos valores en la rosa de los vientos, las variaciones indicarían que las fluctuaciones presentadas corresponden a cambios desde el noreste hasta el noroeste, los otros parámetros presentan variaciones características de su respectivo comportamiento.

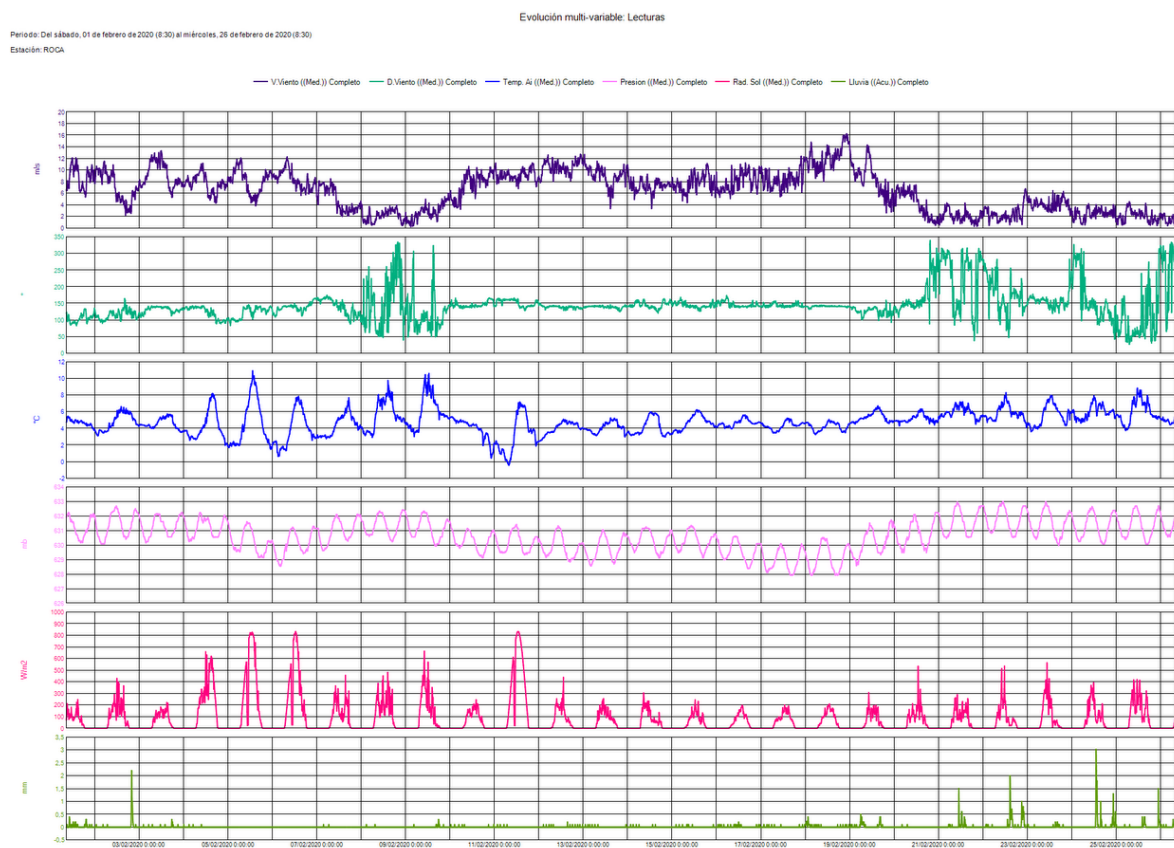


Figura 98. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – febrero 2020

Tabla 26. Datos parámetros estación climatológica La Roca - febrero 2020

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (Acu.) (mm)
Med.	6,5	144,4	4,8	630,6	81,9	--
Máx.	16,2	339,4	10,9	633,0	832,5	3,0
Mín.	0,2	26,5	-0,4	627,9	--	--
Acu.	--	--	--	--	--	72,2

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 tenues emisiones de gases de color blanco, baja presión y poca altura, provenientes del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 08, 09, 11, 14, 21, 22, 27 y 29 de febrero de 2020.

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 AzufraI.

En las Figura 99 a 102 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán AzufraI.



Figura 99. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el día 08 de febrero de 2020 a las 07: 43 a.m., (izquierda) y el día 09 de febrero de 2020 a las 07:53 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

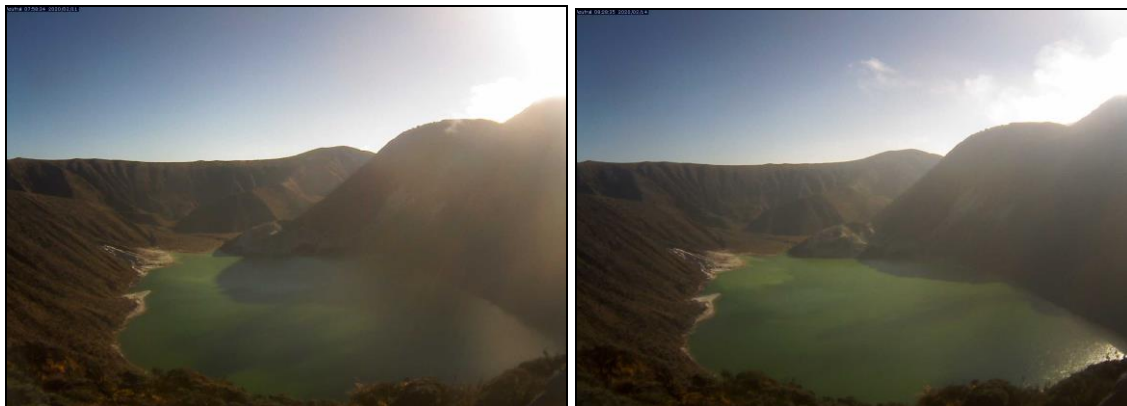


Figura 100. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el día 11 de febrero de 2020 a las 07:58 a.m., (izquierda) y el día 14 de febrero de 2020 a las 08:28 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

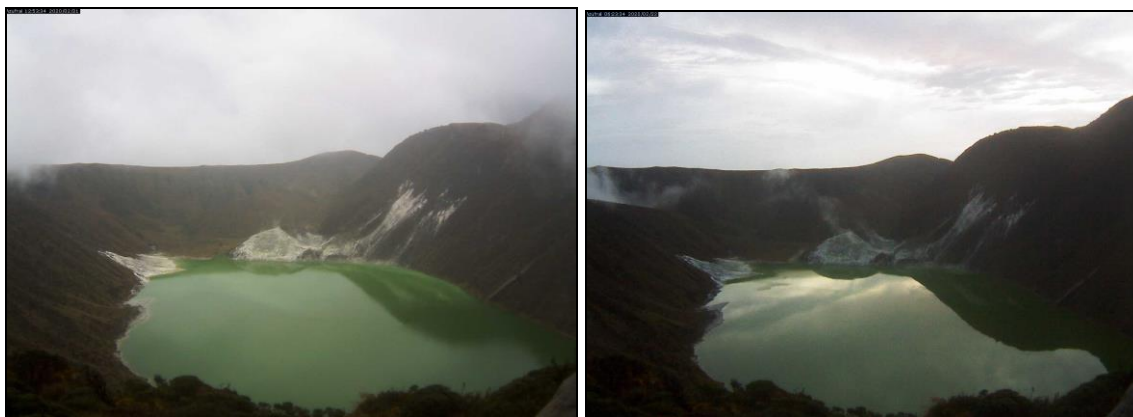


Figura 101. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el día 21 de febrero de 2020 a las 12: 53 p.m., (izquierda) y el día 22 de febrero de 2020 a las 06:23 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 102. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el día 27 de febrero de 2020 a las 07: 28 a.m., (izquierda) y el día 29 de febrero de 2020 a las 07:38 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

En febrero de 2020 la sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán Azufraal incrementó su ocurrencia. La sismicidad mayoritariamente está asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 1.3 en la escala abierta de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufraal en febrero de 2020 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2020). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufraal, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP, meses de enero y febrero de 2020. 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>