



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

San Juan de Pasto, febrero de 2020



**El futuro
es de todos**

Minenergía

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Oscar Paredes Zapata
Director General

Marta Lucia Calvache Velasco
Dirección Técnica Geoamenazas

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

Diego Mauricio Gómez Martínez
Coordinador Grupo Trabajo Pasto

AUTORES

Adriana Ortega 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	14
INTRODUCCIÓN	16
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2020	17
1.1 Red de Vigilancia	17
1.2 Sismología	22
1.3 Deformación	27
1.3.1 Inclínometría Electrónica	27
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	31
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM	35
1.4 Electromagnetismo	35
1.5 Geoquímica	39
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	39
1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo	39
1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales	41
1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales	41
1.6 Actividad Superficial	41
1.7 Conclusiones	44
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2020	44
2.1 Red de Vigilancia	44
2.2 Sismología	47
2.3 Deformación	51
2.4 Electromagnetismo	53
2.5 Geoquímica	53
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	53
2.6 Actividad Superficial	53
2.7 Conclusiones	56
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – ENERO DE 2020	56
3.1 Ubicación Geográfica	56
3.2 Red de Vigilancia	57
3.3 Sismología	60
3.4 Deformación	64
3.4.1 Estaciones GNSS Permanentes	68
3.4.2 Electromagnetismo	69
3.5 Geoquímica	71
3.5.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
3.5.2 Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71

3.5.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	71
3.6	Actividad Superficial	72
3.7	Conclusiones	72
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2020	73
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y las Ánimas.	74
4.1.1	Red de Vigilancia	74
4.1.2	Sismología	76
4.1.3	Deformación	78
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	78
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	81
4.1.4	Electromagnetismo	82
4.1.5	Geoquímica	82
4.1.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	82
4.1.6	Actividad Superficial	82
4.1.7	Conclusiones	82
4.2	Actividad del Volcán Azufral	82
4.2.1	Red de Vigilancia	82
4.2.2	Sismología	85
4.2.3	Deformación	87
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	87
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	89
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	90
4.2.4	Electromagnetismo	90
4.2.5	Geoquímica	94
4.2.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral	94
4.2.5.2	Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufral	94
4.2.5.3	Estación térmica Mallama volcán Azufral	94
4.2.5.4	Estación Climatológica La Roca	94
4.2.6	Actividad Superficial	95
4.2.7	Conclusiones	97
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2020	19
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2020	19
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 - enero de 2020	21
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2020	22
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2019 y enero 2020; el recuadro indica el periodo evaluado	23
Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2020	24
Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2019 y enero 2020; el recuadro indica el periodo evaluado	25
Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para enero 2020	25
Figura 9. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2020	26
Figura 10. 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 2016 y el 31 de enero de 2020	28
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 31 de enero de 2020	28
Figura 12. 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 31 de enero de 2020	29
Figura 13. 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 31 de enero de 2020	29
Figura 14. 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 31 de enero de 2020	30
Figura 15. 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 31 de enero de 2020	30

Figura 16. 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 31 de enero de 2020	31
Figura 17. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020	32
Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020	33
Figura 19. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica, las líneas de color rojo indican la distancia entre qué y que estación se calculó la solución de distancia	33
Figura 20. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 30 de enero y el 31 de enero de 2020. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada	34
Figura 21. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020	36
Figura 22. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en enero de 2020	37
Figura 23. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MIJP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm	38
Figura 24. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, durante el mes de enero de 2020	38
Figura 25. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras	39
Figura 26. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (Junio 2018 – Enero 2020)	40
Figura 27. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (Octubre 2018 – Enero 2020)	40
Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 02 de enero de 2020 a las 08: 38 am, (izquierda) y desde Barranco el día 04 de enero de 2020 a las 08:24 a.m, (derecha)	42

Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 06 de enero de 2020 a las 03: 00 pm, (izquierda) y desde Barranco el día 08 de enero de 2020 a las 10:24 a.m, (derecha)	42
Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 13 de enero de 2020 a las 02: 42 pm, (izquierda) y desde Bruma el día 21 de enero de 2020 a las 05:28 p.m, (derecha)	43
Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 23 de enero de 2020 a las 07: 33 am, (izquierda) y desde Bruma el día 24 de enero de 2020 a las 08:38 a.m, (derecha)	43
Figura 32. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 25 de enero de 2020 a las 08: 38 a.m, (izquierda) y el día 27 de enero de 2020 a las 06:45 a.m., (derecha)	43
Figura 33. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 28 de enero de 2020 a las 06: 45 pm, (izquierda) y desde Bruma el día 29 de enero de 2020 a las 09:00 a.m, (derecha)	44
Figura 34. 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 enero de 2020	46
Figura 35. 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 enero de 2020	46
Figura 36. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2020	47
Figura 37. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2019 y enero 2020. El recuadro resalta el periodo evaluado	48
Figura 38. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2020	49
Figura 39. Sismos localizados en el CVC, enero 2020	50
Figura 40. Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de enero 2020 en las componentes verticales de las estaciones La Mesa, Limones y Nieve del CVC	50
Figura 41. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020	51
Figura 42. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020	52

Figura 43. 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 31 de enero de 2020	52
Figura 44. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2020	53
Figura 45. 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 01 de enero de 2020 a las 08: 58 a.m., (izquierda) y el Boliche el día 03 de enero de 2020 a las 05:04 p.m. (derecha)	54
Figura 46. 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 enero de 2020 a las 07: 34 a.m., (izquierda) y El Verde el día 05 de enero de 2020 a las 11:24 a.m (derecha)	54
Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 06 de enero de 2020 a las 04 : 30 p.m., (izquierda) y el 08 de enero a las 03: 10 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	54
Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 09 de enero de 2020 a las 00 : 16 a.m., (izquierda) y el 18 de enero de 2020 a las 07: 13 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	55
Figura 49. 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 21 de enero de 2020 a las 05: 22 p.m., (izquierda) y el Boliche el día 23 de enero de 2020 a las 06:24 a.m., (derecha)	55
Figura 50. 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 24 de enero de 2020 a las 07: 04 a.m., (izquierda) y El Verde el día 27 de enero de 2020 a las 04:53 p.m., (derecha)	55
Figura 51. 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 29 de enero de 2020 a las 01: 56 p.m., (izquierda) y El Verde el día 31 de enero de 2020 a las 06:40 p.m., (derecha)	56
Figura 52. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	57
Figura 53. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2020	58

Figura 54. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2020	60
Figura 55. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2019 y enero 2020, el recuadro resalta el periodo evaluado	61
Figura 56. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2019 y enero 2020, el recuadro indica el periodo evaluado	62
Figura 57. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero 2020	63
Figura 58. Localización de un sismo LP utilizando arribos de P (punto rojo), atenuación (punto amarillo y polarización (punto azul), volcán Chiles	64
Figura 59. 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 31 de enero de 2020. Inferior: para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de enero 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	66
Figura 60. 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 y el 31 de enero de 2020	66
Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación, entre mayo y noviembre de 2019	67
Figura 62. Vector resultante de los inclinómetros Chiles y Cerro Negro entre marzo de 2019 y enero de 2020. Los dos inclinómetros muestran una posible inflación hacia el sur-oeste del volcán Cerro Negro	68
Figura 63. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2020	69
Figura 64. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp. Periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)	70

Figura 65. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU en enero de 2020	71
Figura 66. 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	73
Figura 67. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2020	75
Figura 68. 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 enero de 2020	76
Figura 69. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2020	77
Figura 70. 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 2017 y el 31 de enero de 2020	78
Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de enero de 2020	79
Figura 72. 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 y el 31 de enero de 2020	80
Figura 73. 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 septiembre de 2018 y el 31 de enero de 2020	80
Figura 74. 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 31 de enero de 2020	81
Figura 75. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2020	83
Figura 76. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de enero de 2020	84
Figura 77. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante enero de 2020	85
Figura 78. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, durante diciembre 2019 y enero 2020. El recuadro resalta el periodo evaluado	86
Figura 79. Localizaciones de sismos VT en Azufral, enero 2020	86

Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020	88
Figura 81. 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 31 de enero de 2020	88
Figura 82. 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 31 de enero de 2020	89
Figura 83. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 31 de enero de 2020	90
Figura 84. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Azufral, LOB (naranja), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (morado). Periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)	91
Figura 85. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, en enero de 2020	92
Figura 86. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral, LOB (naranja), para el periodo octubre de 2019 a enero de 2020 y registro del pluviómetro (azul). La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm	93
Figura 87. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral LOB, para el mes de enero de 2020	93
Figura 88. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – Enero 2020	95
Figura 89. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 06 de enero de 2020 a las 06: 33 p.m., (izquierda) y el 07 de enero de 2020 a las 07: 43 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 08 de enero de 2020 a las 03: 33 p.m., (izquierda) y el 20 de enero de 2020 a las 04: 28 p.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 21 de enero de 2020 a las 09: 53 a.m., (izquierda) y el 23 de enero de 2020 a las 08: 53 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán en ellas se observa tenues emisiones de gs de color blanco y baja altura, desde algunos campos fumarolicos del domo mallama	97

Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 26 de enero de 2020 a las 08: 03 a.m., (izquierda) y el 28 de enero de 2020 a las 06: 33 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán 97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de enero de 2020	18
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2020	20
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2020	20
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2020	21
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	21
Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	22
Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2019 y enero 2020	23
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2019 y enero 2020	24
Tabla 9. Sismos con ML igual o superior a 2.0, volcán Galeras, enero 2020	26
Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras Enero 2020	41
Tabla 11. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras enero 2020	41
Tabla 12. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2020	45
Tabla 13. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2019 y enero 2020	47
Tabla 14. Sismos con ML igual o mayor de 1.5 localizados en el CVC, enero 2020	48
Tabla 15. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	58
Tabla 16. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	59
Tabla 17. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2019 y enero 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	61

Tabla 18. Energía de eventos VT y LP en la zona de influencia de los volcanes	62
Tabla 19. Sismos VT con ML mayor o igual a 1.5, Chiles - Cerro Negro, enero 2020	64
Tabla 20. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2020	74
Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2019 y enero 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	77
Tabla 22. Sismos con ML igual o mayor a 1.4, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2020	77
Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de enero de 2020	84
Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, diciembre 2019 y enero 2020	87
Tabla 25. Sismos con ML igual a 1.1, volcán Azufral, enero 2020	87
Tabla 26. Datos parámetros estación climatológica La Roca – Enero 2020	95

RESUMEN

Para el mes de enero y en comparación con el mes de diciembre, para Galeras se presentó un aumento en la ocurrencia sísmica, con un total de 134 sismos, 124 de ellos, asociados con fractura de roca, la mayoría ubicados de manera dispersa en la zona de influencia del volcán. En general, los eventos se ubicaron a distancias menores a 15 km, con profundidades entre 6 y 11 km con respecto a su cima y su magnitud local máxima fue de 3.5 en la escala de Richter. Se destacan 8 eventos VT con ML entre 2.0 y 3.5. Los días 27 y 28 de enero se registraron dos enjambres de sismos, uno de 3.5 ML y uno de 2.8 ML reportados como sentidos, se ubicaron en la fuente occidental y NE.

La sismicidad del complejo volcánico de Cumbal mostró un leve incremento en su ocurrencia, pasando de 1816 a 1892 eventos en comparación con el mes de diciembre. La sismicidad dominante fue la asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria con 985 eventos, que representan el 52%, actividad seguida por los sismos que involucran fractura al interior del volcán con 863 eventos que equivalen al 46% 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 1 km y magnitud local máxima de 1.6 en la escala de Richter.

En los volcanes Chiles y Cerro Negro con respecto a noviembre, se observó una disminución del 33 % en la ocurrencia sísmica, pasando de 1992 a 1325 eventos, la mayoría de esta sismicidad se asocia con fractura de roca interior del volcán. El pico de ocurrencia sísmica fue registrado el día 2 de enero con 102 eventos. Los sismos de fractura se ubicaron en 2 zonas o fuentes diferenciables, la primera en el costado oriental del volcán Cerro Negro, a distancias entre cero y 2 km y profundidades menores de 5 km con respecto a su cima, con ML máxima de 2.1 Richter. La segunda fuente de sismos está ubicada en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, a distancias entre 0.6 y 6 km con profundidades menores a 7 km con respecto a su cima, con ML máxima de 1.5 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 diciembre disminuyó en un 2.7% en su ocurrencia pasando de 11 a 8 eventos, 6 de ellos asociados con fractura de roca y dos que por sus bajos niveles energéticos no son factibles de catalogar.

Se localizaron 2 VT el primero a 15 km al sur de Doña Juana y el segundo a 4 km al SW de las Ánimas.

Para Azufral se tiene un total de 13 eventos, 10 de ellos, asociados a fractura de roca, los cuales se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en general los focos sísmicos se ubicaron a distancias entre 0.8 y 12 km, profundidades entre 3 y 16 km con respecto a la cima (4200 m) y con ML máxima de 1.4 en la escala de Richter.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2020

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de enero 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 87 % (Figura 4).

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

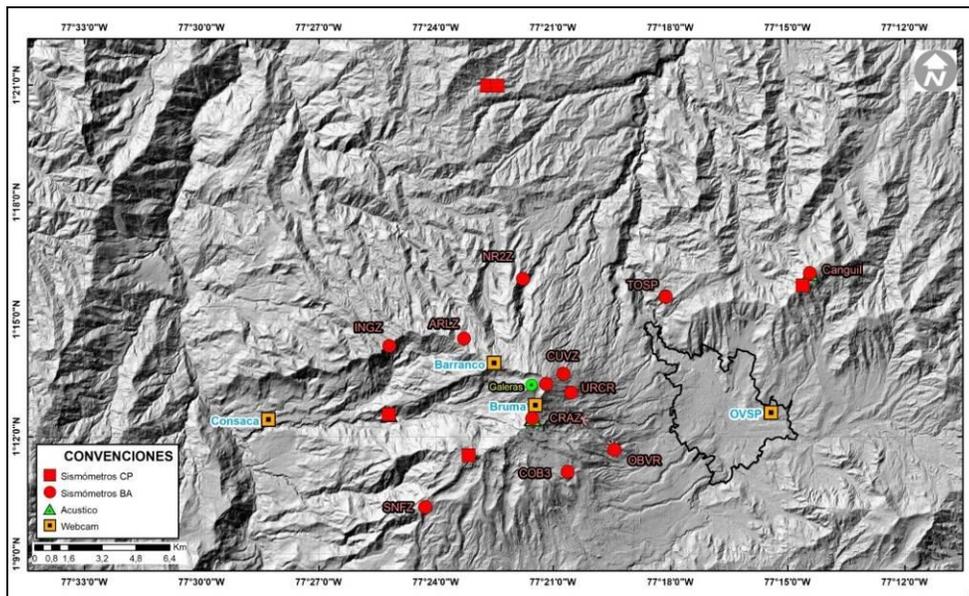


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2020

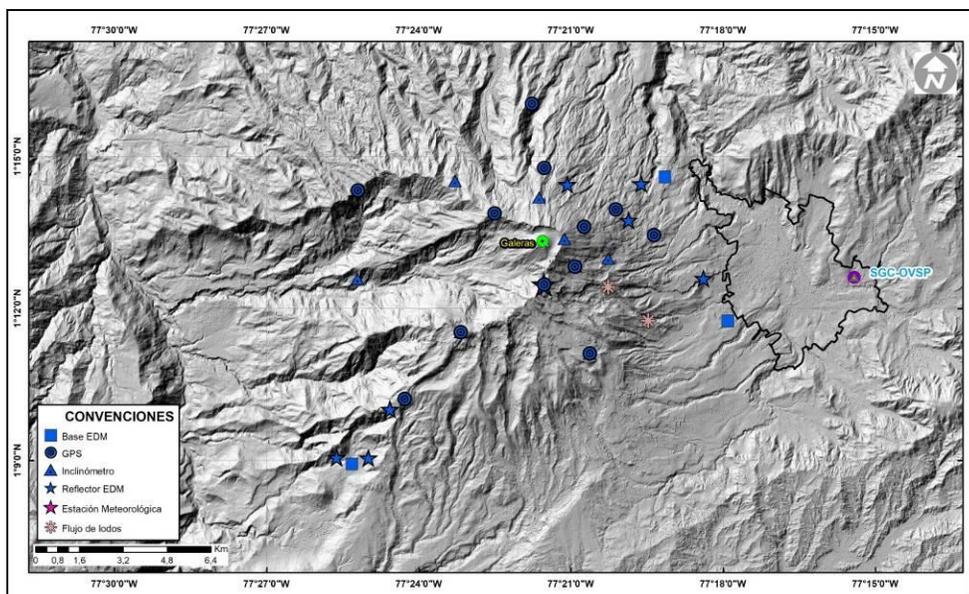


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2020

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

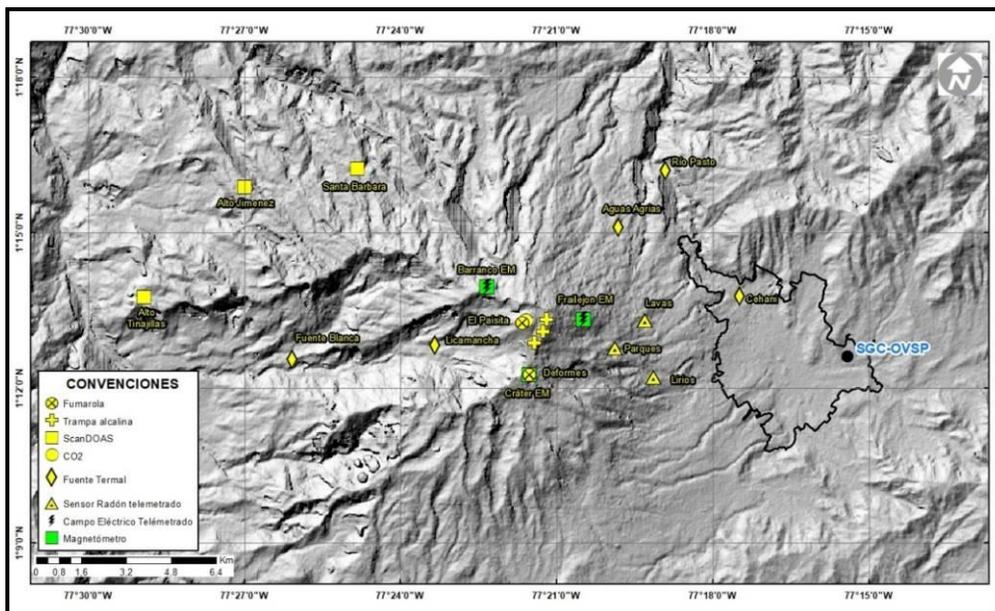


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia - enero de 2020

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

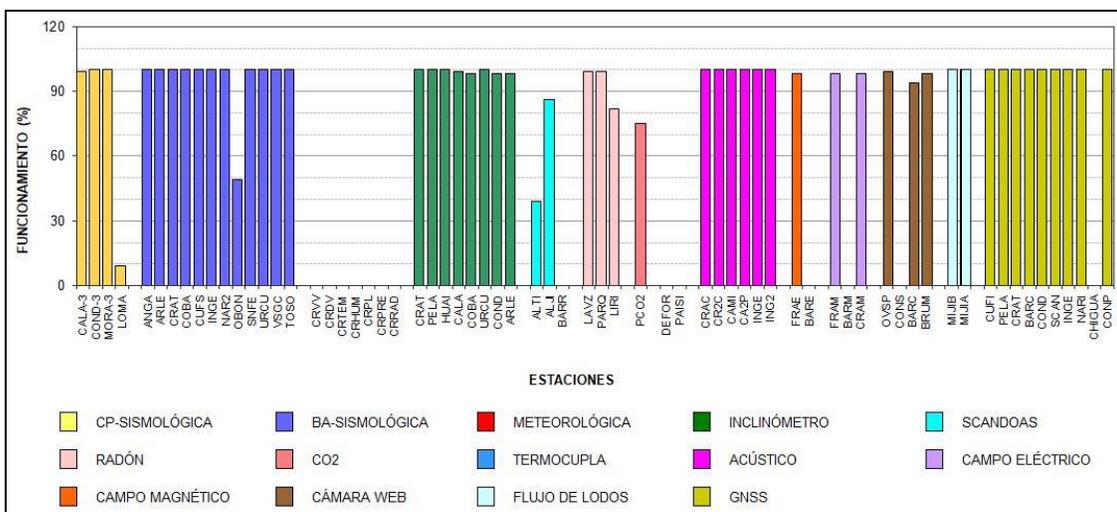


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2020

1.2 Sismología

La sismicidad incrementó 2.3 veces su número en enero de 2020, pasando de 59 a 134 eventos, con relación a lo registrado en diciembre de 2019. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de material cortical al interior del volcán (VT) con 124 sismos que representan el 93% del total, también se registraron 2 sismos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) que representan el 1% de la ocurrencia y 8 eventos de tipo híbrido (HIB), que representan el 6% de la ocurrencia. No se registraron eventos de fluidos de fuente permanente o episodios de tremor (TRE). Los sismos de tipo VT incrementaron 2.2 veces su número, pasando de 57 a 124 eventos, los sismos LP mantuvieron su número y los HIB incrementaron. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 27 y 28 de enero con 44 eventos (42 VT y 2 HIB) y 15 eventos (14 VT y 1 HIB), respectivamente (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6), debidos a enjambres asociados con la ocurrencia de dos sismos energéticos en la región de Galeras.

Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2019 y enero 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2019	57	2	0	0	59
Enero 2020	124	2	0	8	134

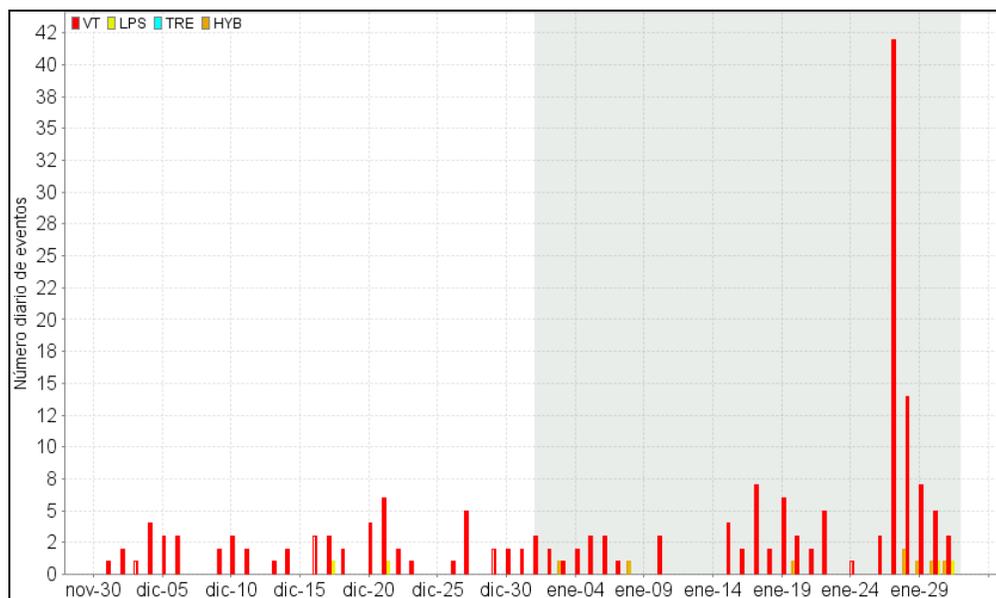


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2019 y enero 2020; el recuadro indica el periodo evaluado

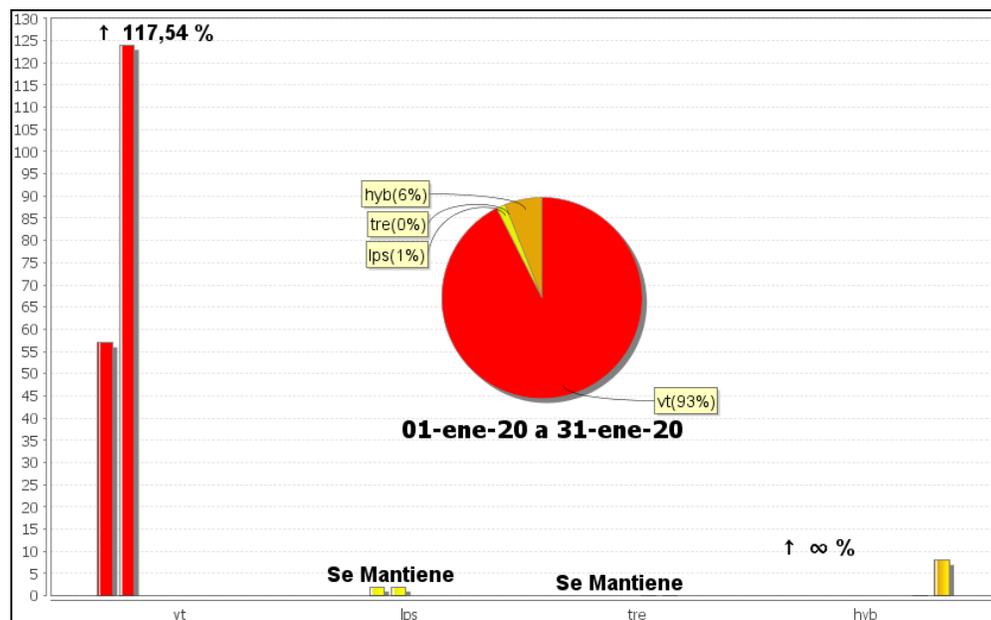


Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2020

La energía sísmica disminuyó un 87%, pasando de 1.72×10^{14} ergios a 2.25×10^{13} ergios. Los sismos VT aportan el 96% de la energía sísmica, correspondiente a 2.17×10^{13} ergios; la energía de los eventos HIB fue de 8.11×10^{11} ergios, correspondiente al 4% y la energía de los eventos LP fue de 5.03×10^9 ergios, la cual queda inmersa en la energía de los otros tipos de eventos. Los sismos de tipo VT disminuyeron 87% el valor de su energía, pasando de 1.72×10^{14} ergios a 2.17×10^{13} ergios; los sismos de tipo LP incrementaron 55% su energía, pasando de 3.25×10^9 ergios a 5.03×10^9 ergios. El pico energético se registró en los días 27 y 28 de enero con 1.84×10^{13} ergios y 2.79×10^{12} , respectivamente, debido a dos eventos VT energéticos (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2019 y enero 2020

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2019	1.72E+14	3.25E+09	0	0	1.72E+14
Enero 2020	2.17E+13	5.03E+09	0	8.11E+11	2.25E+13

Se localizaron 67 sismos que se ubicaron preferencialmente en dos fuentes, una al noreste, a distancias entre 10.5 y 15 km, con profundidades entre 6 y 11 km con respecto a la cima de Galeras (4270 m), con 3.5 ML máxima; la otra fuente se ubicó al occidente, a distancias entre 5.2 y 7 km, con profundidades entre 7 y 8 km con respecto a la cima y 2.8 ML máxima. Otros pocos eventos se ubicaron de manera dispersa en la

zona de influencia volcánica, a distancias entre 1.8 y 15 km, con profundidades entre 1.8 y 20 km y ML máxima de 1.4 en la escala abierta de Richter (Figura 9).

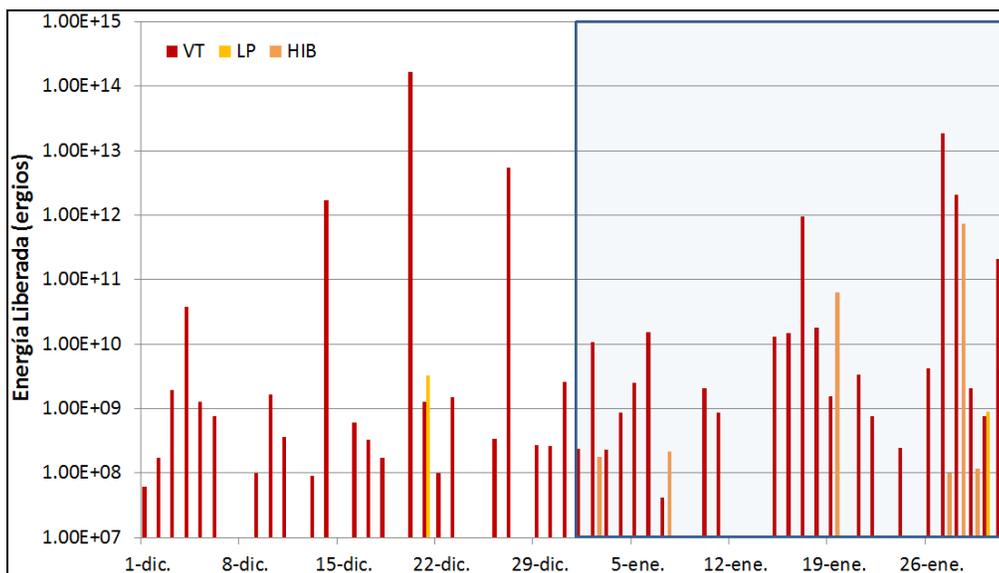


Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2019 y enero 2020; el recuadro indica el periodo evaluado

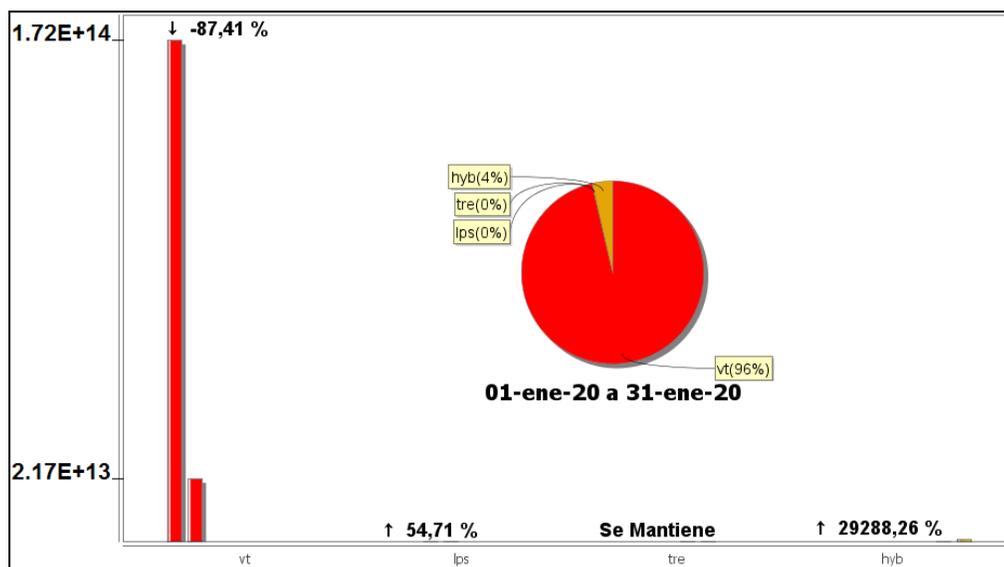


Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para enero 2020

Se destaca el registro de 8 eventos VT con ML entre 2.0 y 3.5, dos ubicados en la fuente occidental y seis en la fuente NE, tres reportados como sentidos. En los días 27 y 28 de

enero se registraron dos enjambres de sismos en la dos fuentes mencionadas, dando lugar a los picos de ocurrencia y energía del mes, asociados con dos eventos reportados como sentidos, uno de 3.5 ML al noreste y uno de 2.8 ML al occidente (Figura 9, Tabla 9).

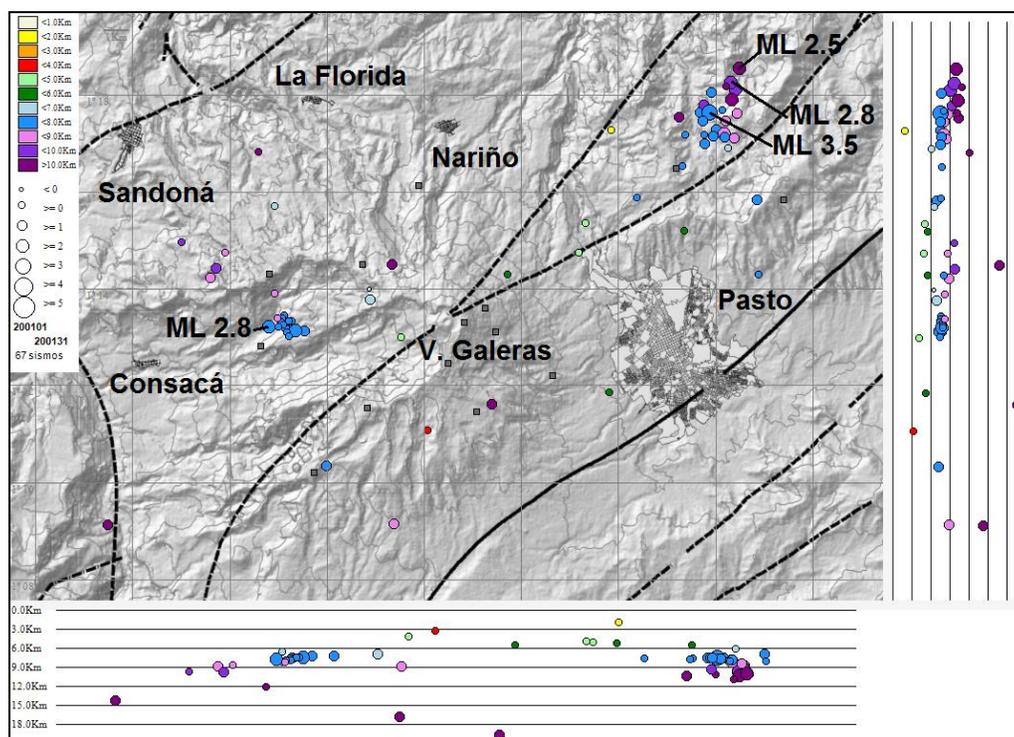


Figura 9. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2020

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 8 sismos VT, con ML igual o superior a 2.0 en la escala de Richter, los tres mayores se reportaron sentidos y en la Tabla 9 se consignan sus características.

Tabla 9. Sismos con ML igual o superior a 2.0, volcán Galeras, enero 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
17/01/2020	09:27	1-18.14	77-15.61	9	2.2
17/01/2020	09:36	1-18.26	77-15.69	10	2.8
27/01/2020	04:44	1-13.17	77-24.66	7	2.0
27/01/2020	18:52	1-17.64	77-16.12	8	3.5
27/01/2020	19:01	1-17.22	77-15.84	8	2.4
27/01/2020	22:01	1-17.91	77-15.67	10	2.0
28/01/2020	03:21	1-13.25	77-25.20	8	2.8
31/01/2020	14:55	1-18.56	77-15.52	10	2.5

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

El inclinómetro Cobanegra (Figura 10) desde 2019, mantiene la tendencia ascendente, registrando aproximadamente 50 μrad en cada componente; los cambios abruptos de temperatura del último mes afectó el comportamiento de las dos componentes. Las componentes de inclinación del inclinómetro Huairatola (Figura 11), posterior al cambio registrado entre 2018 y octubre de 2019, tienden a estabilizarse con variaciones menores a 20 μrad . Desde mediados del 2017, el inclinómetro Cóndor, mantiene una tendencia descendente en sus dos componentes, reflejado principalmente en la componente Este (Figura 12). El inclinómetro Cráter (Figura 13), después de un periodo estable hasta el 2018, viene presentando cambios menores de 40 μrad , que en algunos casos puede ser asociado a las condiciones ambientales del sector donde se encuentra instalado el sensor, sin embargo, en los últimos seis meses las componentes tienden a estabilizarse. Los inclinómetros Arles (Figura 14), Urcunina (Figura 15) y Peladitos (Figura 16) mantienen tendencias estables con fluctuaciones similares a las observadas en el sensor de temperatura. El inclinómetro Calabozo está por fuera desde mayo de 2019.

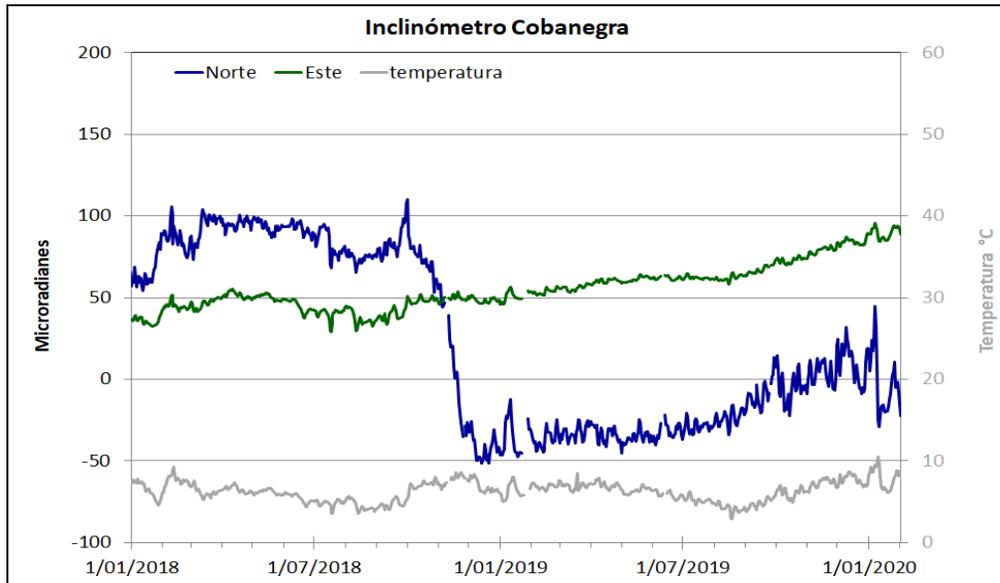


Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

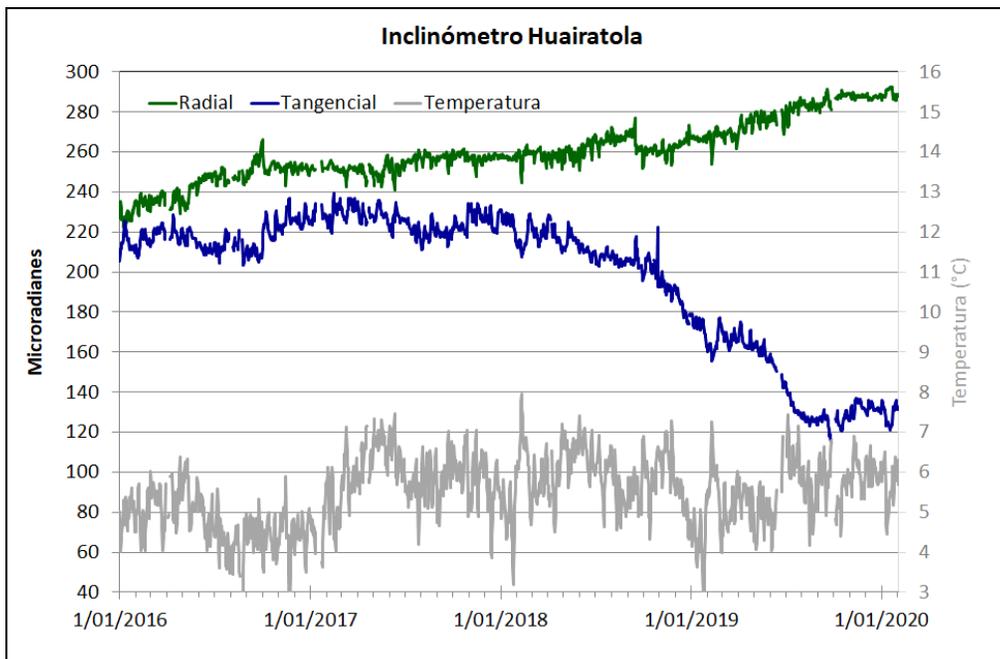


Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

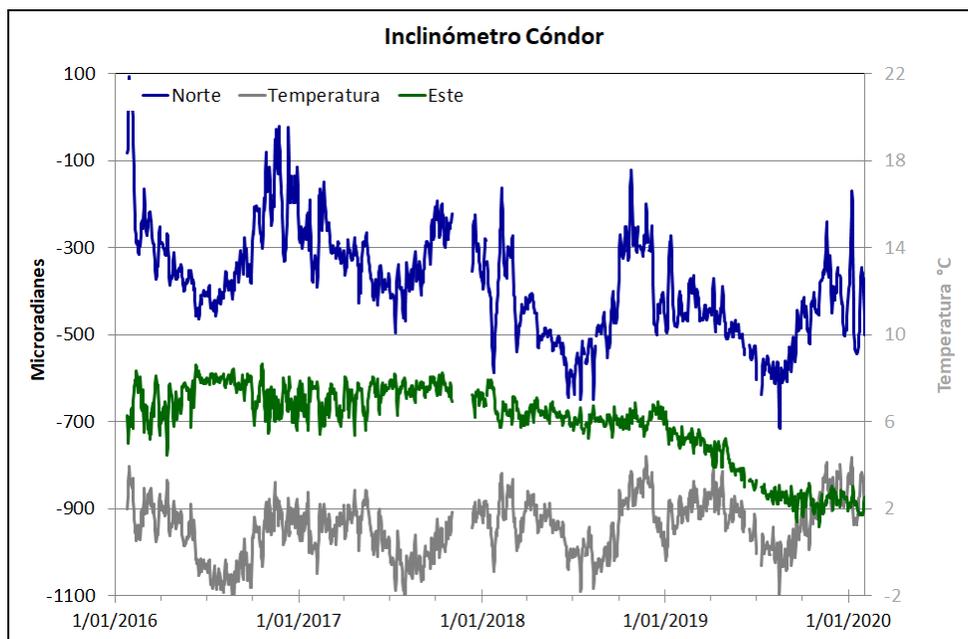


Figura 12. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

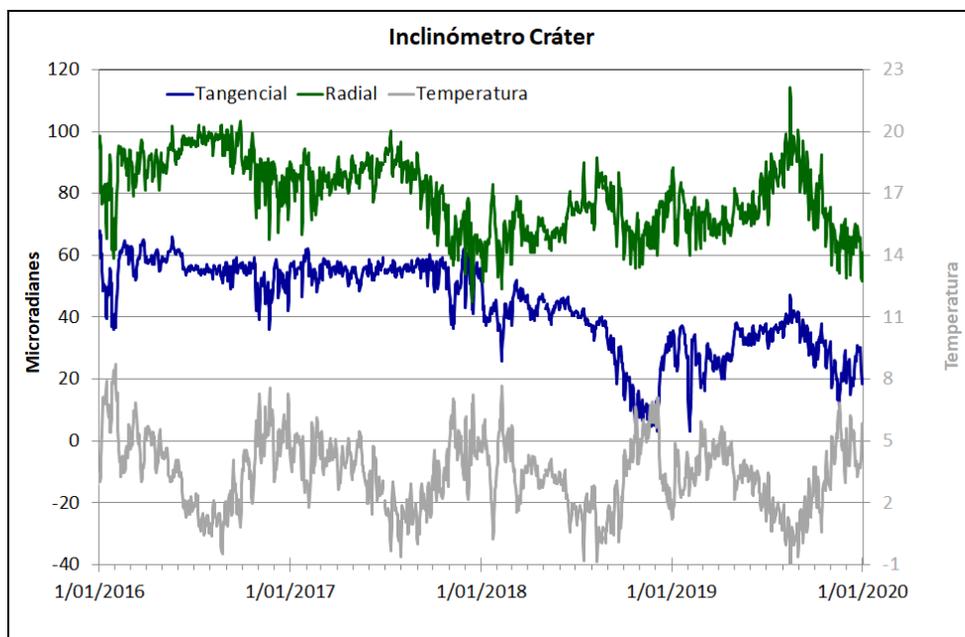


Figura 13. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

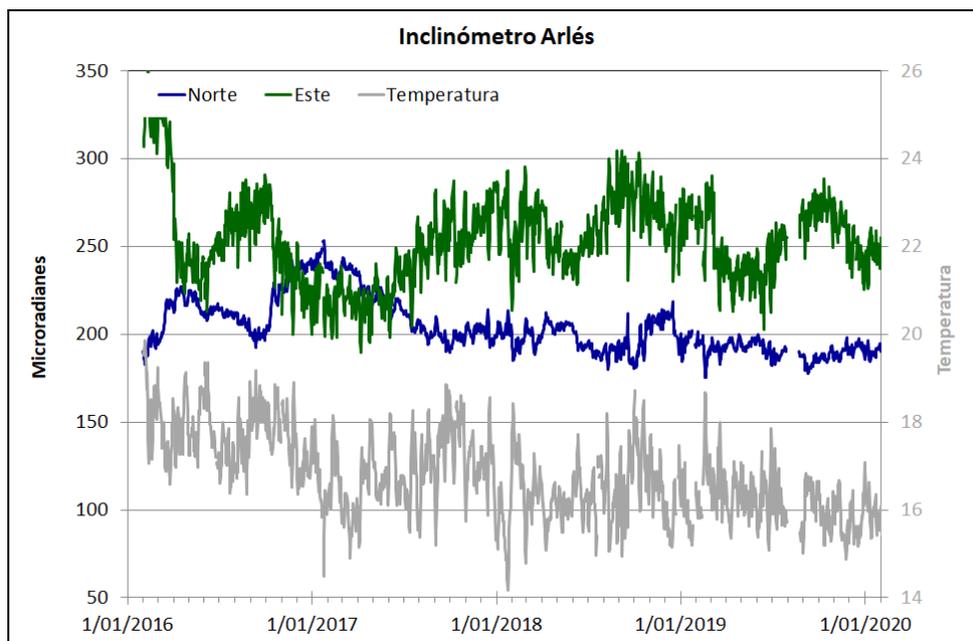


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

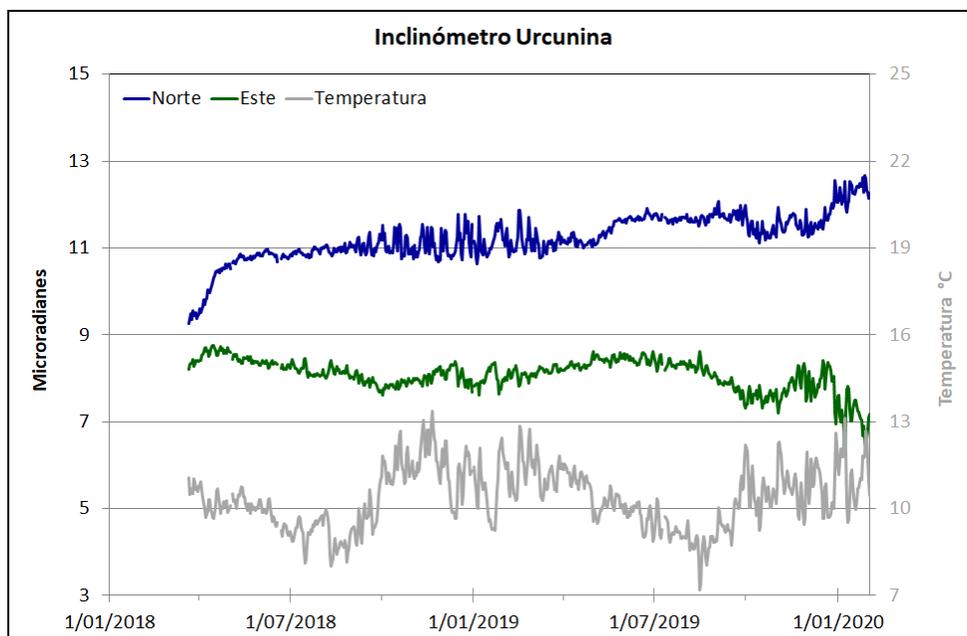


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 31 de enero de 2020

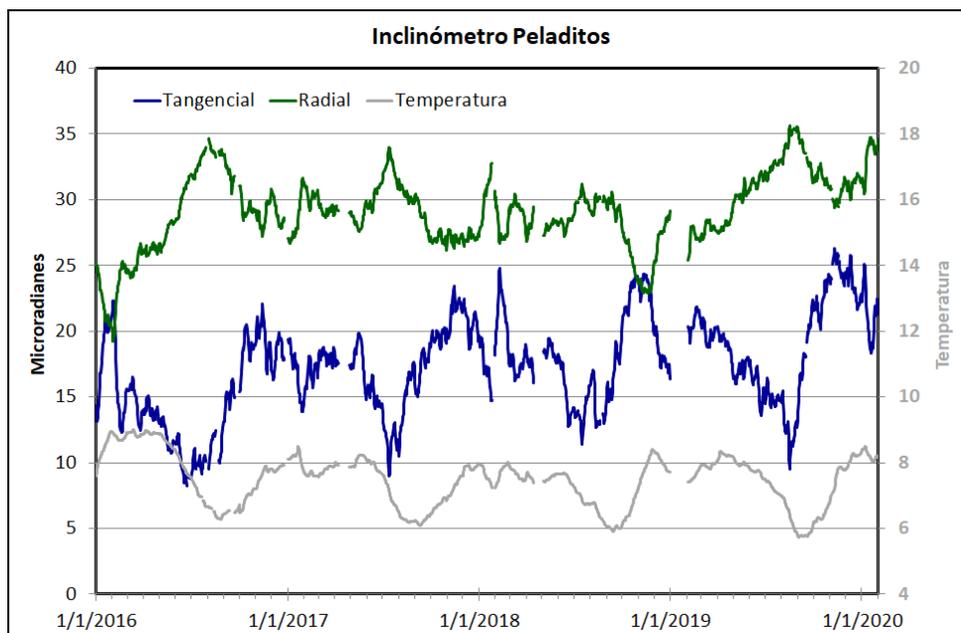


Figura 16. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

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, Cónдор 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 de Cráter y Cónдор, al igual que las líneas bases (Figuras 19 y 20).

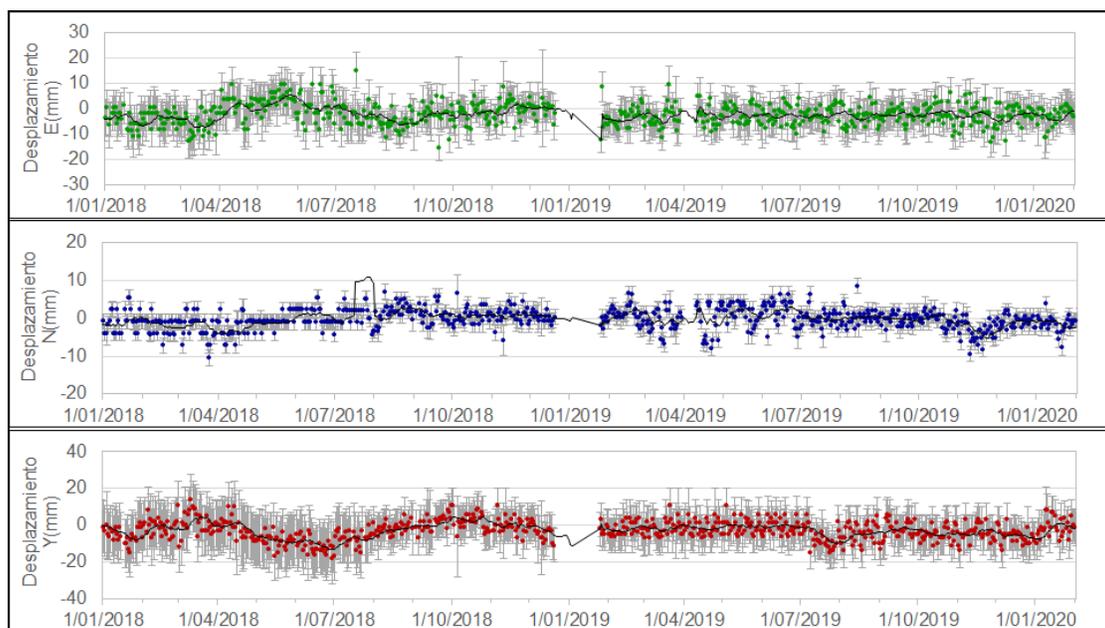


Figura 17. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

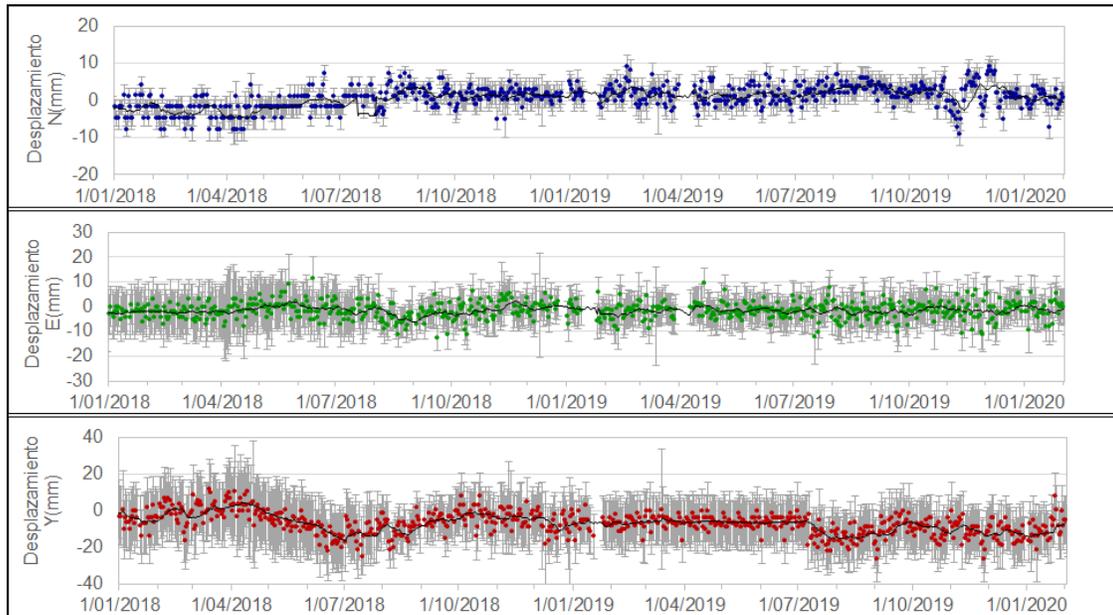


Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Condor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

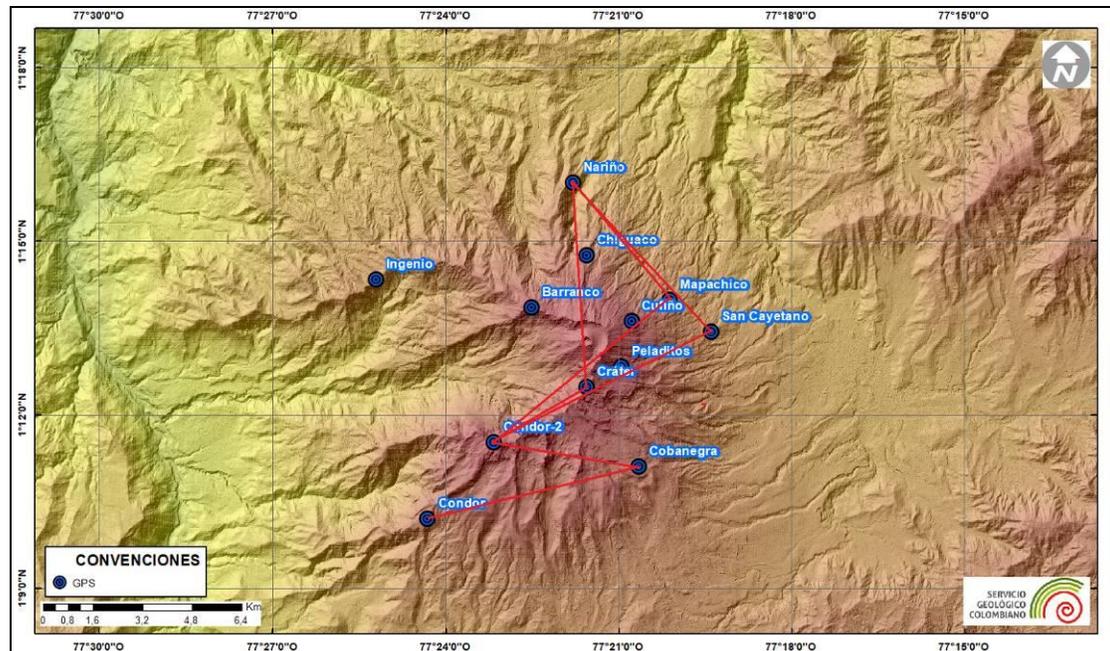


Figura 19. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica, las líneas de color rojo indican la distancia entre qué y qué estación se calculó la solución de distancia

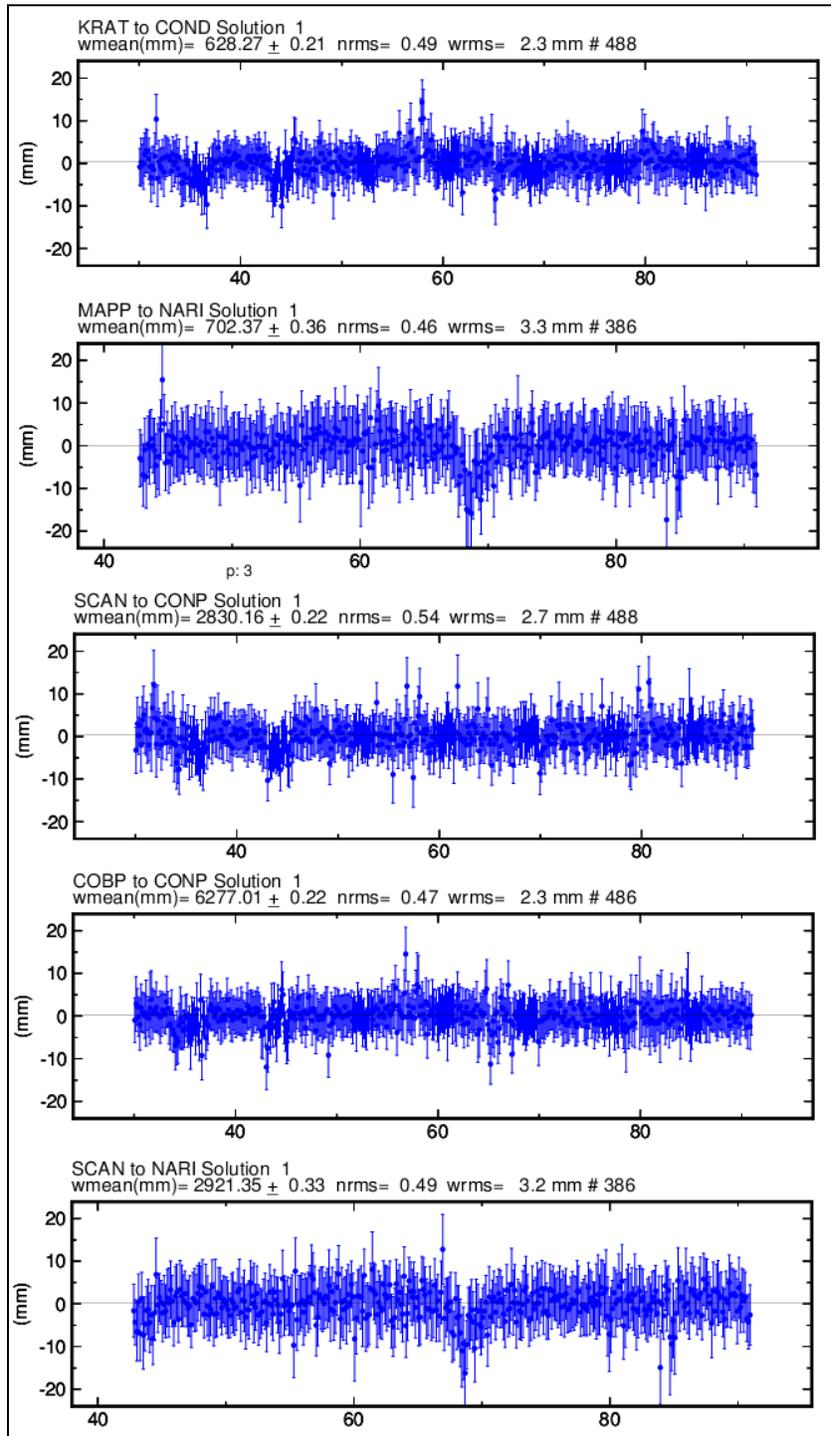


Figura 20. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 30 de enero y el 31 de enero de 2020. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

Durante el periodo evaluado no se ocupó la red de EDM en Galeras.

1.4 Electromagnetismo

Para el mes de enero de 2020, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Galeras, 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.

En el periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020 (Figura 21), 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 día-noche y variaciones más pronunciadas, relacionadas con la ocurrencia de tormentas magnéticas externas, principalmente aquellas con índice Kp entre 4 y 6. El comportamiento del campo magnético total (CMT) en las estaciones de monitoreo en la zona de Galeras, muestran variaciones seculares diarias (variaciones día-noche) un rango de alrededor de 60 nT tanto para FRA como para DEF, y de igual manera el mismo valor para la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. Esta estación se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por ser la más cercana a la zona de estudio, y que se encuentra en una latitud muy próxima a la de las estaciones de Galeras. Al comparar los registros en las estaciones del OVS-Pasto y Kourou, se resaltan las variaciones simultáneas en los tres registros y que están asociadas con la ocurrencia de tormentas magnéticas solares con índices de 4 a 6 que generan variaciones con forma de onda y amplitudes muy similares tanto en FRA, DEF, como en KOU (Figura 21). Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares 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 21).

En enero de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en las estaciones fue de 28.420 nT en FRA, 29.480 nT en DEF y de 28.700 nT para KOU (Figura 21); 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 21). La variación más

significativa se presentó los días 8 y 28 de enero de 2020, cuando se presentaron tormentas magnéticas externas con índice Kp igual a 4 (Figura 21).

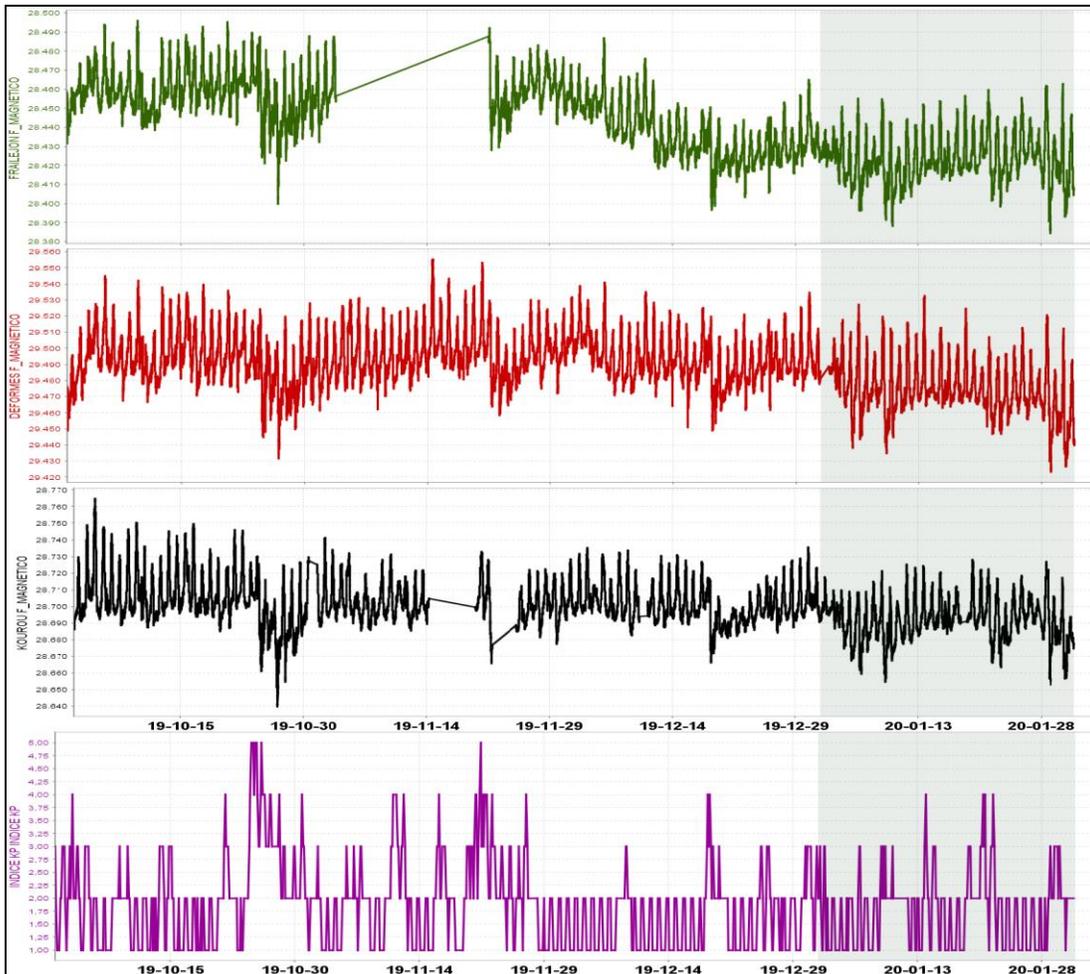


Figura 21. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020

El análisis espectral de los registros magnéticos resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto, estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que están entre ± 20 nT para las estaciones FRA, ± 24 para DEF y de ± 24 nT para la estación KOU (Figura 22), que en general corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con la actividad volcánica. Las mayores variaciones corresponden a días en los que se tuvo registro de tormentas externas (Figura 22).

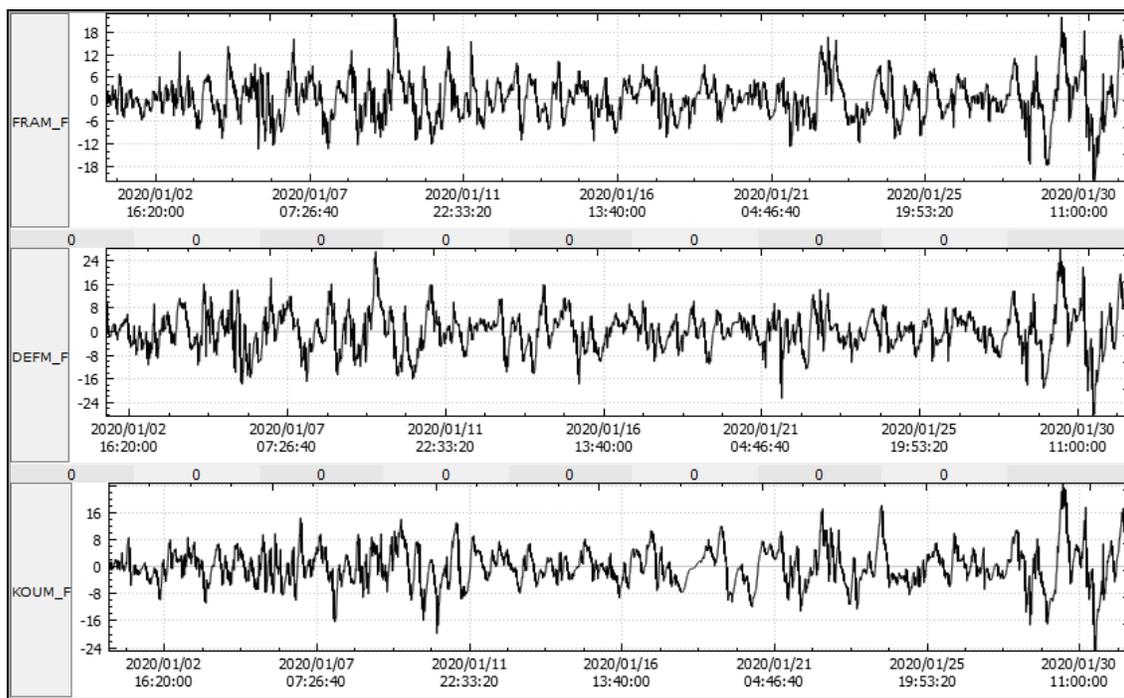


Figura 22. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en enero de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de monitoreo eléctrico en Galeras, FRA para el periodo entre octubre y enero de 2020 (Figura 23), muestra una tendencia descendente en comparación con el mes de diciembre, la cual empieza a estabilizarse a partir del 6 de enero de 2020, variando entre un valor de 945 mV, a finales de diciembre de 2019, hasta un valor de alrededor de 915 mV a finales de enero de 2020, que corresponde a una variación de alrededor de 30 mV en lo corrido del mes. De acuerdo con los registros del pluviómetro Mijitayo Alto (MIJAP), ubicado en la zona de influencia volcánica, el valor acumulado de lluvia para el periodo de enero, fue de alrededor de 45 mm, presentándose una relativa estabilidad a partir del 6 de enero de 2020.

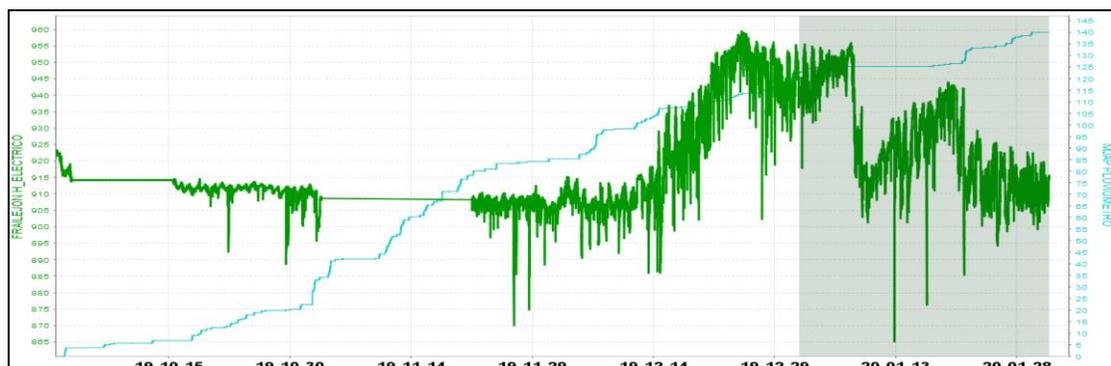


Figura 23. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MIJP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está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

El análisis espectral del registro eléctrico muestra frecuencias dominantes asociadas con las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 2 días, así como también, frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, una vez eliminadas las frecuencias asociadas con las variaciones seculares, que no se asocian con la actividad volcánica, se obtuvieron los registros de la actividad propia de la zona, encontrando variaciones de alrededor de ± 10 mV, cuyos incrementos pueden estar asociados con el incremento de las lluvias en la zona, incrementando el potencial eléctrico que se puede generar en la zona (Figura 24).

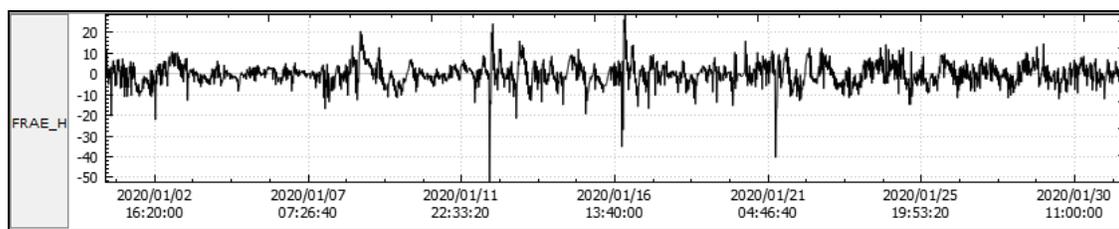


Figura 24. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, durante el mes de enero de 2020

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 25 se presenta el mapa de las estaciones para medición de flujo de gas Radón ubicadas en la red de vigilancia del volcán Galeras.

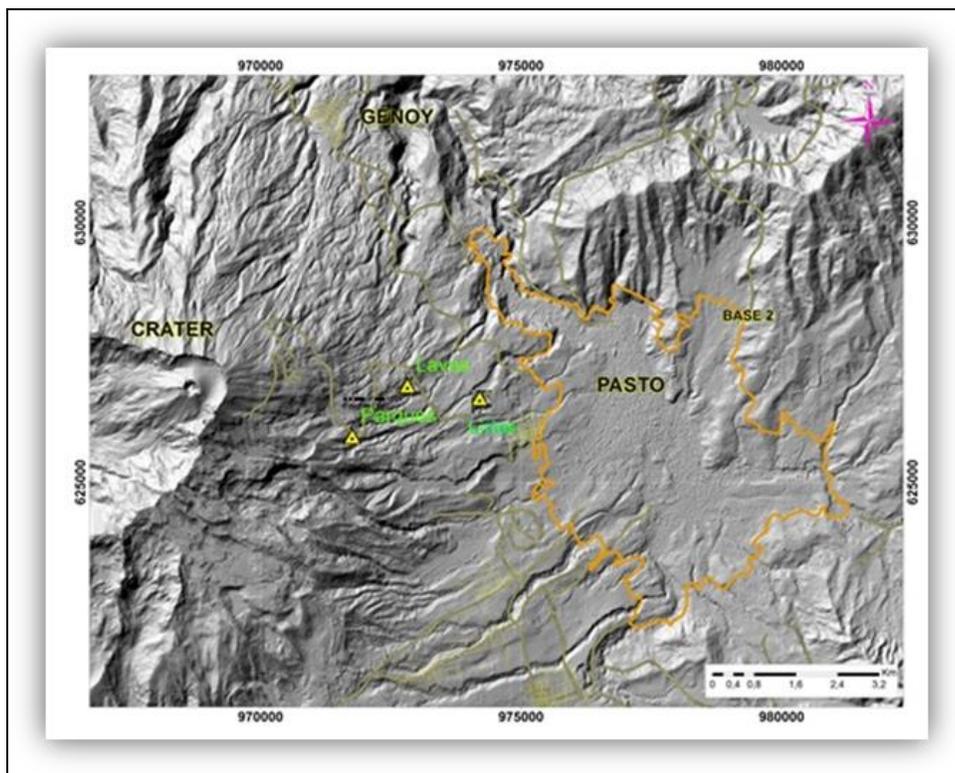


Figura 25. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Parques en la Figura 26 y la estación de Lirios en la Figura 27.

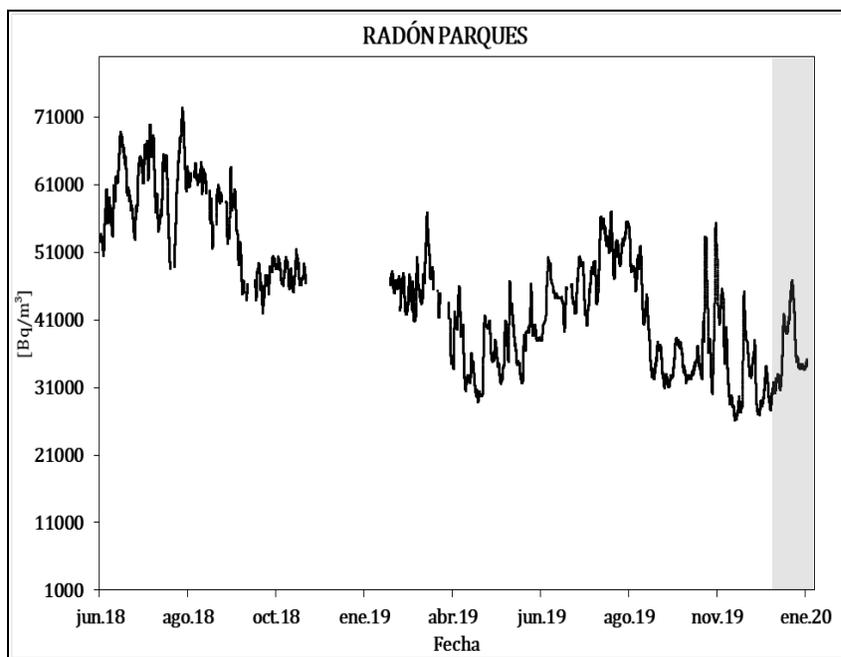


Figura 26. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (Junio 2018 – Enero 2020)

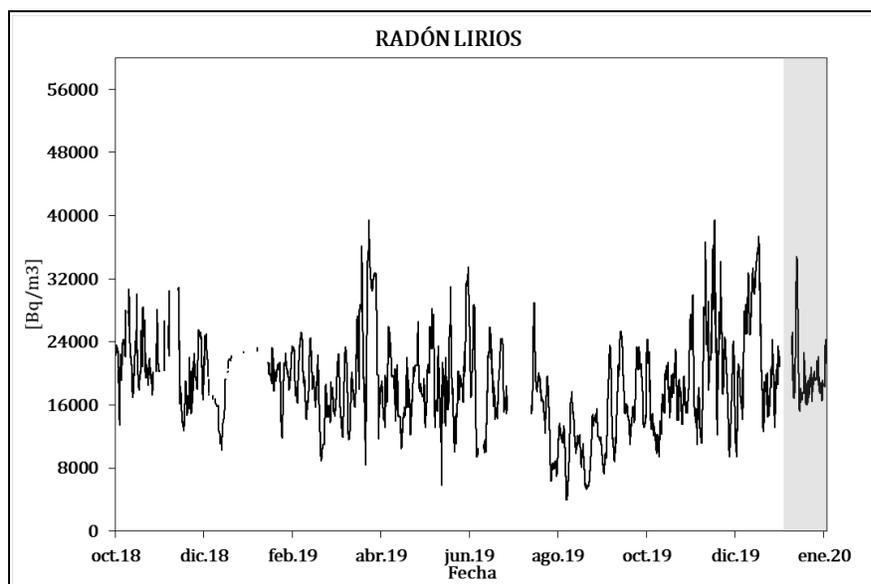


Figura 27. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (Octubre 2018 – Enero 2020)

Se puede observar que los valores registrados del gas radón en el mes de enero de 2020 (área sombreada) desde las dos estaciones se encuentran dentro de la línea base de su comportamiento.

A continuación se indica los valores de la concentración promedio y la máxima y mínima concentración obtenida para el mes de enero de 2020, Tabla 10 y 11.

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

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Promedio	20336
Máximo	57151
Mínimo	4405

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

Valor	Parques [Bq/m ³]
Promedio	36278
Máximo	54870
Mínimo	23144

1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

Para el mes de enero 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 enero 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 enero del 2020, 02, 04, 06, 08, 13, 21, 23, 24, 25, 27, 28 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.

En las Figuras 28 a 33 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.

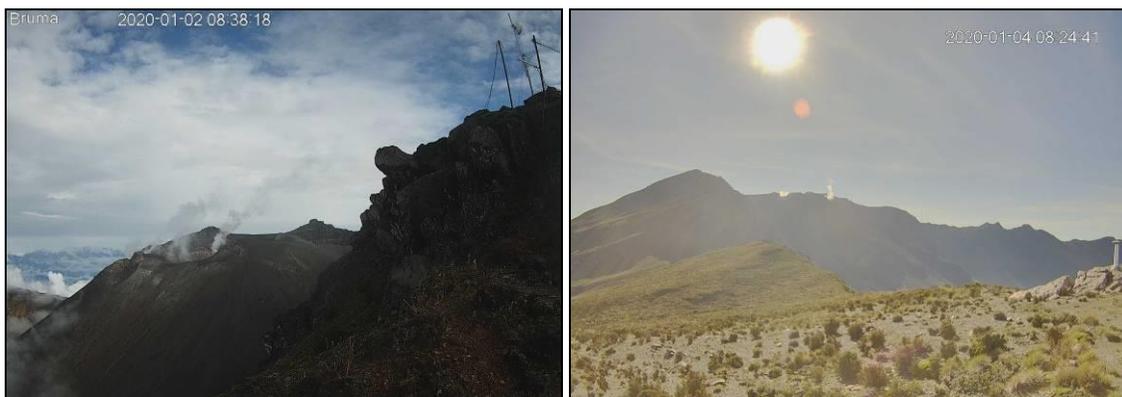


Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 02 de enero de 2020 a las 08:38 a.m., (izquierda) y desde Barranco el día 04 de enero de 2020 a las 08:24 a.m., (derecha)



Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 06 de enero de 2020 a las 03:00 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 08 de enero de 2020 a las 10:24 a.m., (derecha)



Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 13 de enero de 2020 a las 02: 42 pm., (izquierda) y desde Bruma el día 21 de enero de 2020 a las 05:28 p.m., (derecha)

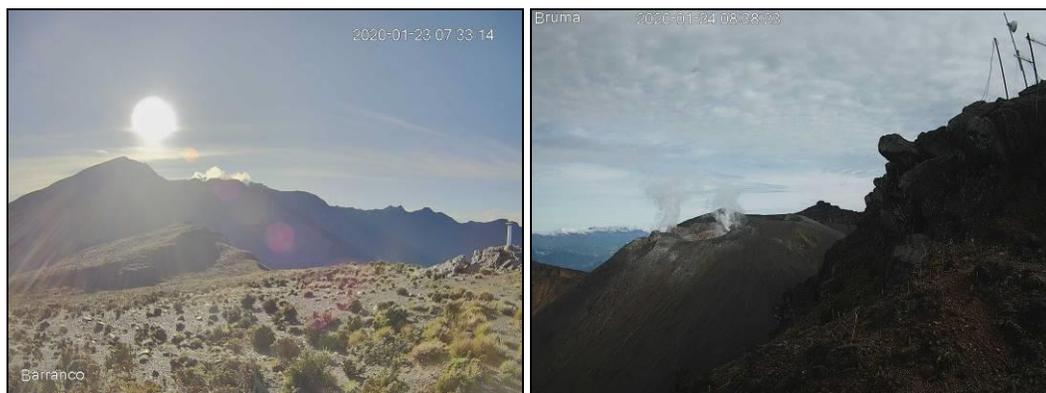


Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 23 de enero de 2020 a las 07: 33 am., (izquierda) y desde Bruma el día 24 de enero de 2020 a las 08:38 a.m., (derecha)



Figura 32. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 25 de enero de 2020 a las 08: 38 a.m., (izquierda) y el día 27 de enero de 2020 a las 06:45 a.m., (derecha)

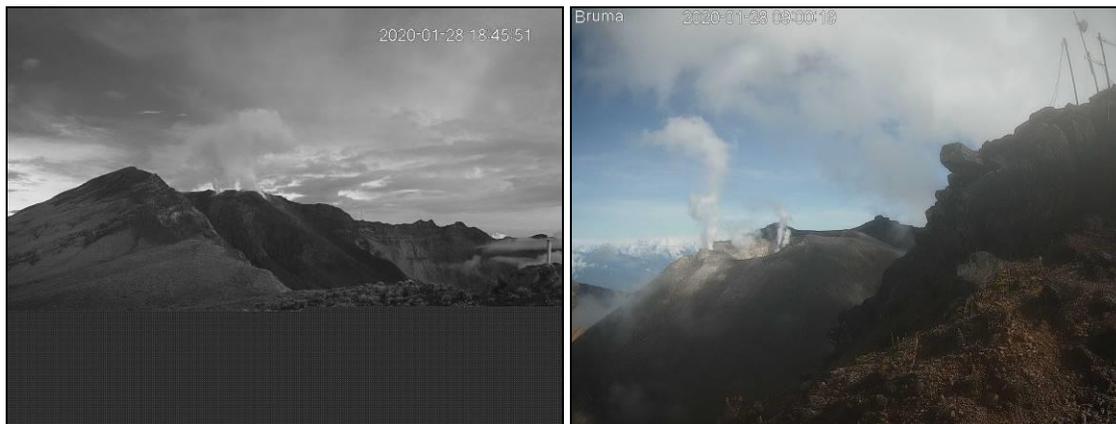


Figura 33. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco el día 28 de enero de 2020 a las 06:45 pm., (izquierda) y desde Bruma el día 29 de enero de 2020 a las 09:00 a.m., (derecha)

1.7 Conclusiones

El radón emitido y registrado en enero de 2020 en comparación con meses anteriores presenta un comportamiento similar, encontrándose dentro de la línea base registrada.

En enero 2020, en el volcán Galeras se registró incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de los sismos. El mayor aporte en número y energía provino de los eventos de fractura, destacándose los sismos de los días 17 de enero con ML 2.8, 27 de enero con ML 3.5 y 28 de enero con ML 2.8, reportados como sentidos.

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

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2020

2.1 Red de Vigilancia

En enero 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 34, Tabla 12).

- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 34).
 - 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 34).
 - Un pluviómetro y un anemómetro instalados en el sitio donde se ubica la estación La Nieve (Figura 34).
 - Cuatro inclinómetros electrónicos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 35, Tabla 12).
- Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 99 % (Figura 36).

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

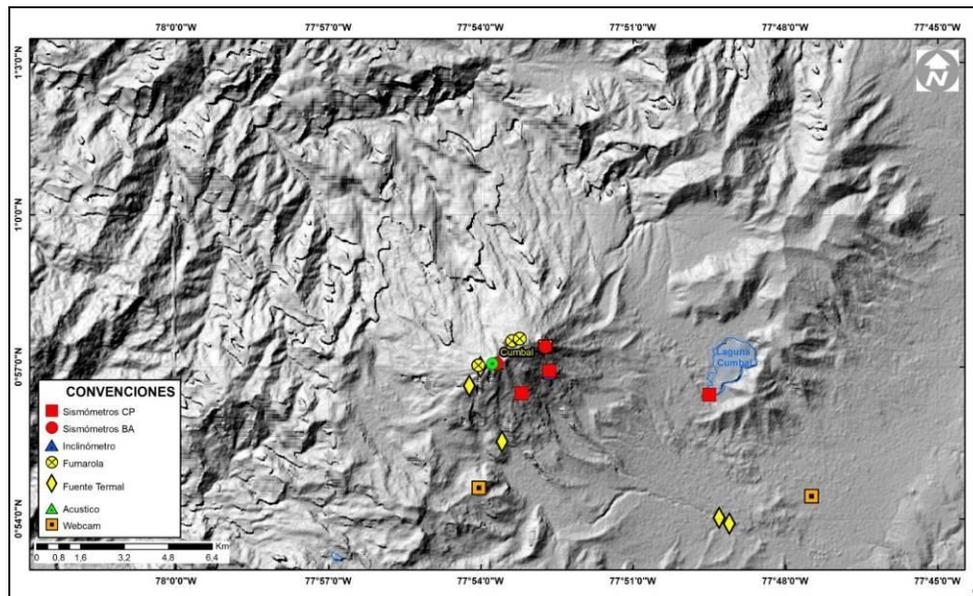


Figura 34. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2020

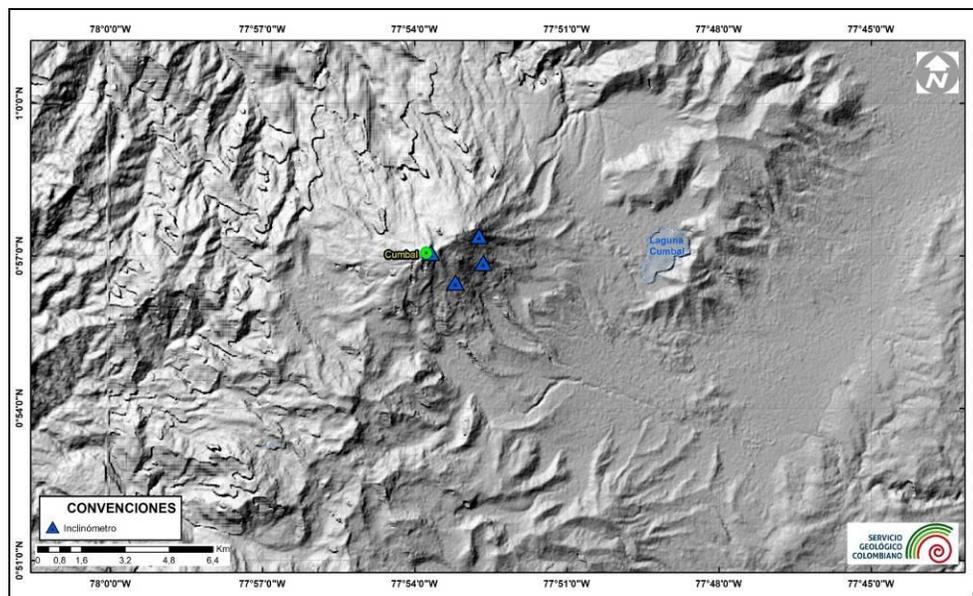


Figura 35. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2020



Figura 36. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2020

2.2 Sismología

La sismicidad en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), en enero 2020 mostró un leve incremento del 4% en la ocurrencia sísmica en comparación con diciembre 2019, pasando de 1816 a 1892 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán (LP) con 985 eventos, que equivalen al 52% del total, seguida de la sismicidad asociada con fractura de material cortical (VT), con 863 eventos que representan el 46%, también se registraron 43 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 2% y un evento de tremor TRE cuyo porcentaje queda inmerso en la ocurrencia de los otros tipos de eventos. 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) (Tabla 13, Figura 37 y 38). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 10 de enero 147 sismos (53 VT, 92 LP y 2 HIB). Con respecto a diciembre 2019, los sismos de tipo VT incrementaron su ocurrencia un 13% pasando de 764 a 863 eventos, los LP disminuyeron levemente (1%) pasando de 998 a 985 eventos, los HIB disminuyeron un 20% pasando de 54 a 43 eventos (Tabla 13, Figura 37 y Figura 38).

Tabla 13. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2019 y enero 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Diciembre 2019	764	998	0	54	0	1816
Enero 2020	863	985	1	43	0	1892

Fue posible localizar 58 VT, ubicados principalmente en inmediaciones de los dos conos activos del complejo a distancias menores de 1 km y con profundidad menor de 1.5 km con respecto al cráter La Plazuela (4700 m). El resto de sismos se ubicó de manera dispersa en la zona de influencia del CVC en distancias entre 1.5 y 9 km, con profundidad entre 2.5 y 12 km con respecto a La Plazuela y ML máxima de 1.6 en la escala de Richter (Figura 39, Tabla 14). La energía de los sismos localizados, calculada con base en su ML fue de 1.47×10^{12} ergios. Los eventos son de baja energía, se destaca dos sismos con ML mayor o igual a 1.5, en la Tabla 14 se consignan sus características de localización.

Tabla 14. Sismos con ML igual o mayor de 1.5 localizados en el CVC, enero 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
15/01/2020	01:17	0-59.86	77-53.31	12	1.5
15/01/2020	16:38	0-59.59	77-53.11	12	1.6

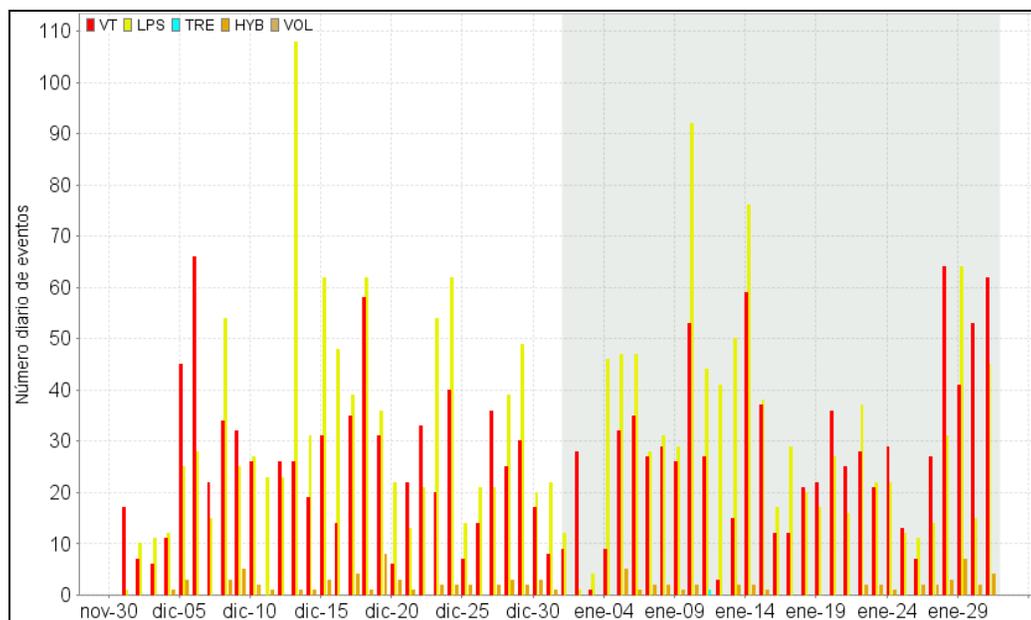


Figura 37. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2019 y enero 2020. El recuadro resalta el periodo evaluado

En enero 2020 se registraron 6 eventos de tipo Tornillo (TOR), que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 40 se muestran los sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de enero 2020 en las componentes verticales de las estaciones La

Mesa, Limones y Nieve del CVC. Los eventos TOR presentaron un pico dominante en 1.2 Hz, 1.3 Hz o 1.5 Hz, un pico recurrente en 2.4 Hz, 2.5 Hz o 2.7 Hz y otros picos en diferentes frecuencias. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

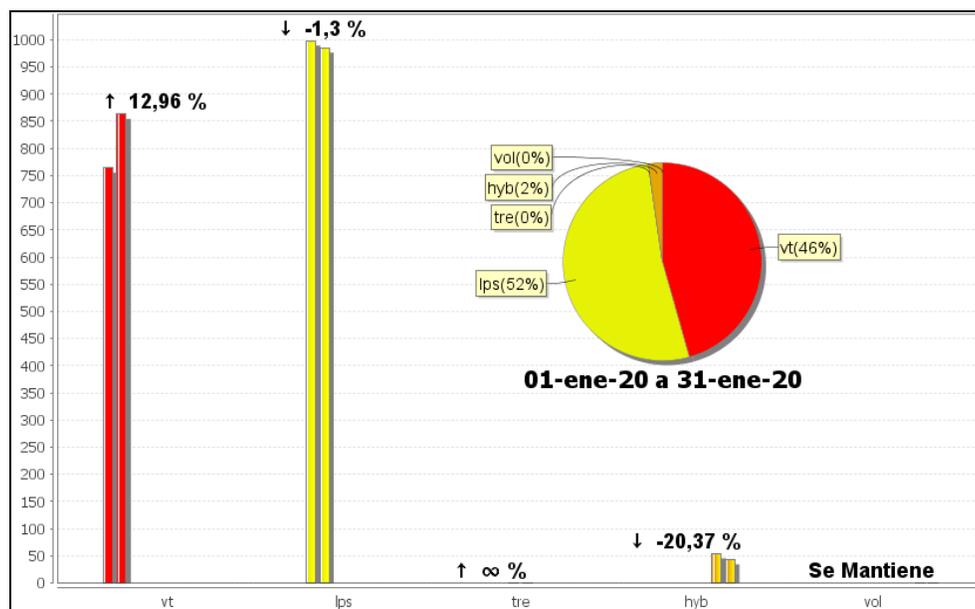


Figura 38. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2019 y enero 2020 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2020

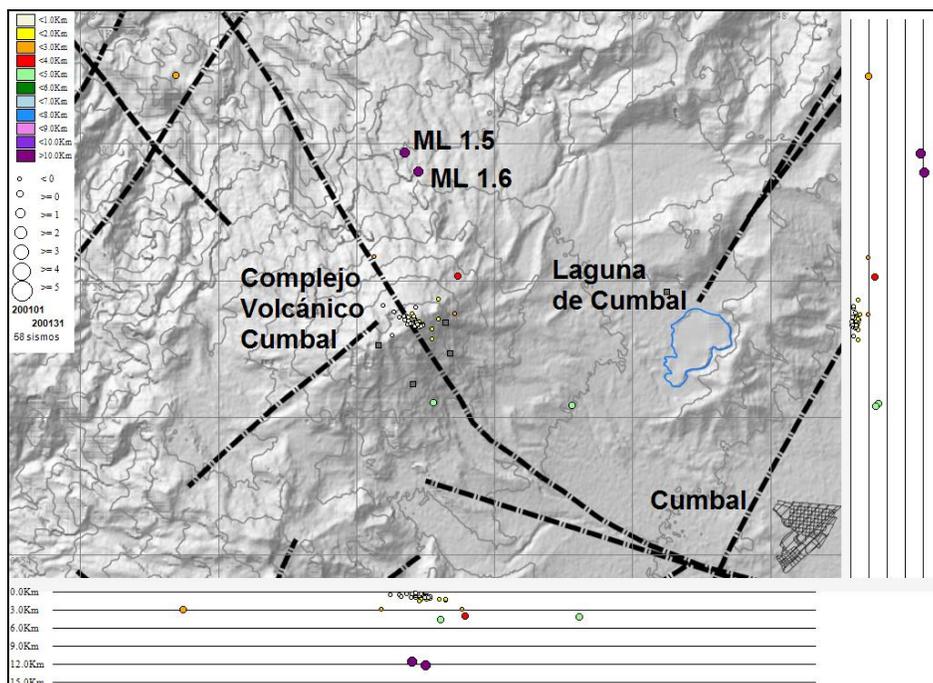


Figura 39. Sismos localizados en el CVC, enero 2020

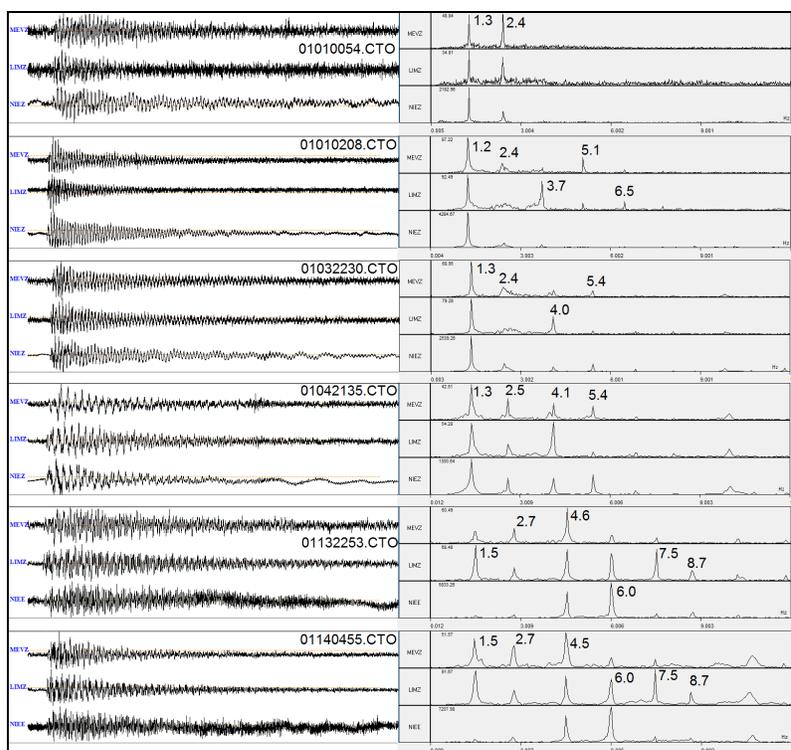


Figura 40. Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de enero 2020 en las componentes verticales de las estaciones La Mesa, Limones y Nieve del CVC

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 μrad , muy probablemente están asociadas con los cambios en la temperatura ambiente que afecta el comportamiento del sensor y que se verifica con el comportamiento del sensor de temperatura instalado en cada inclinómetro. (Figuras 41, 42, 43 y 44).

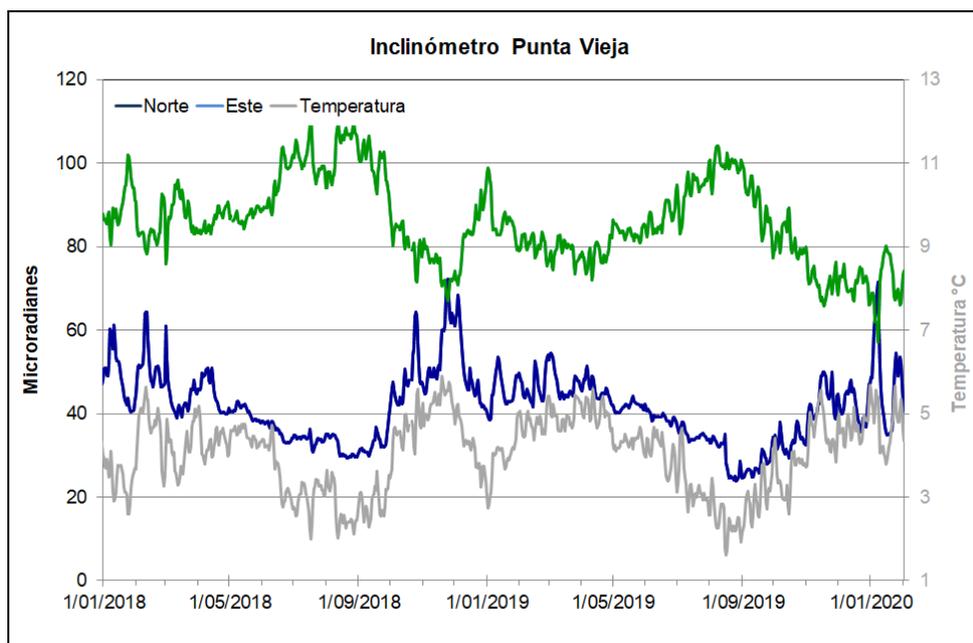


Figura 41. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

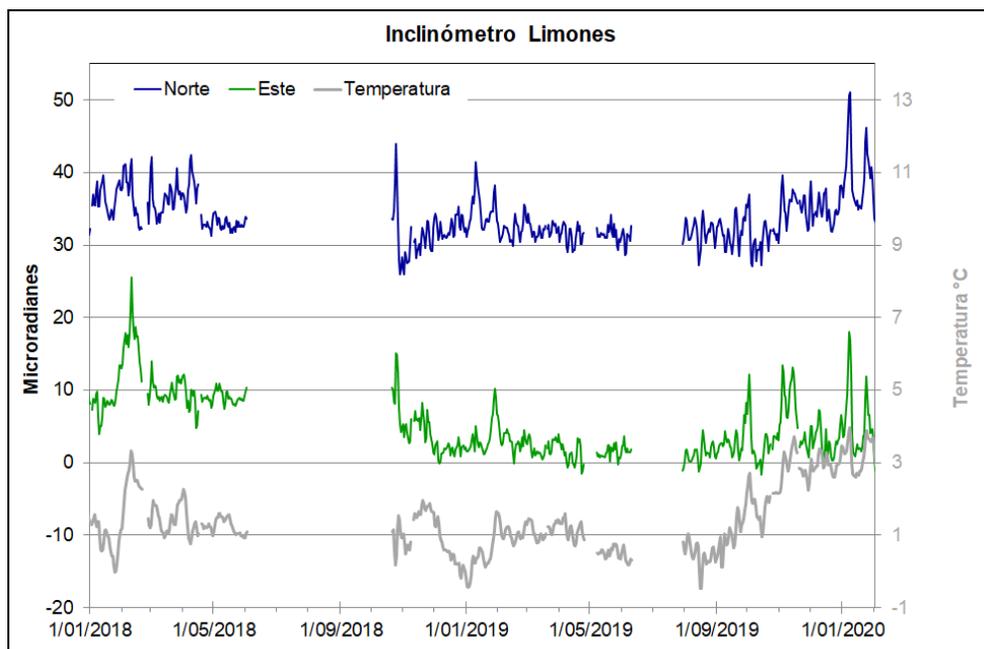


Figura 42. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

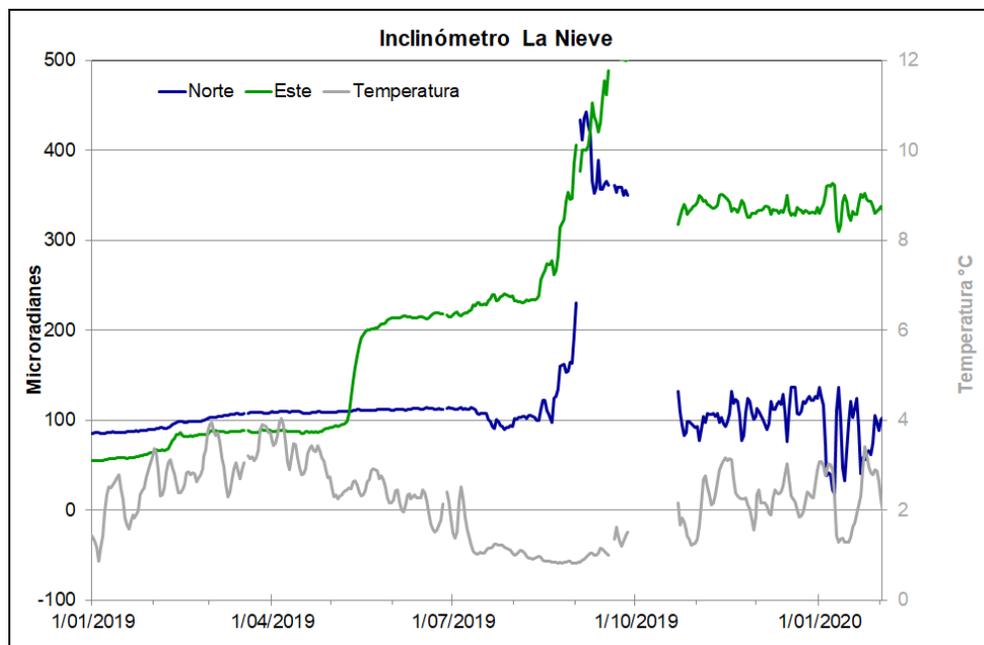


Figura 43. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2020

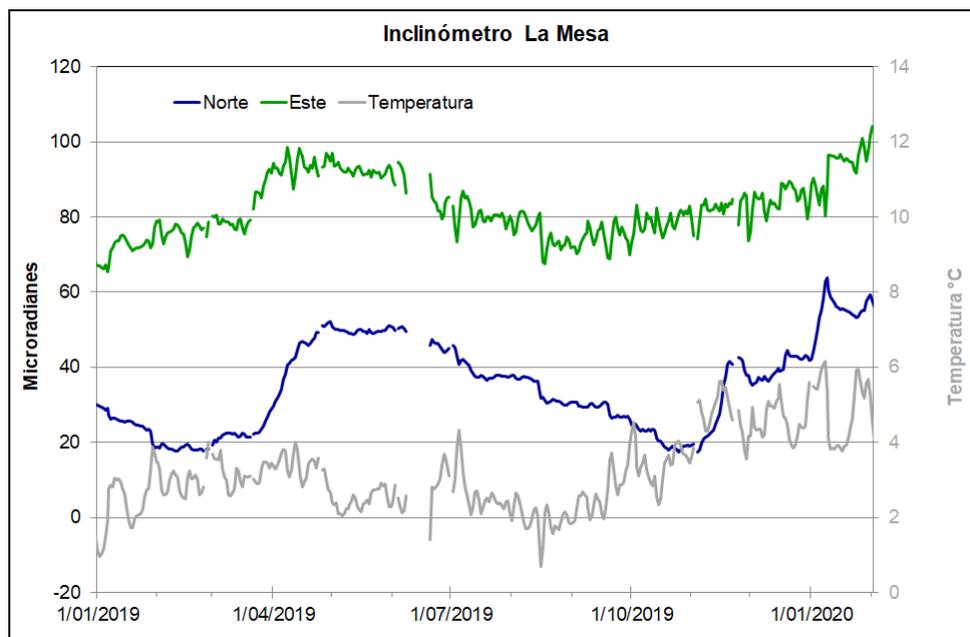


Figura 44. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2020

2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta actividad.

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

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

2.6 Actividad Superficial

Los días 01, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 18, 21, 23, 24, 27, 29 y 31 de enero de 2020 con las cámaras web de Cumbal y del Boliche se observó emisiones de gases desde el campo fumarólico El Verde con pequeñas columnas de gas de color blanco, con dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 45 a 51 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 01 de enero de 2020 a las 08: 58 a.m., (izquierda) y el Boliche el día 03 de enero de 2020 a las 05:04 p.m., (derecha)

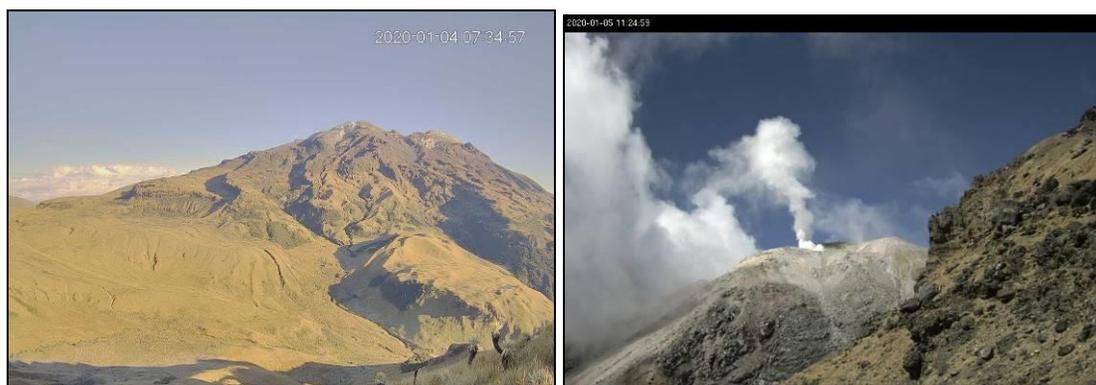


Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 04 de enero de 2020 a las 07: 34 a.m., (izquierda) y El Verde el día 05 de enero de 2020 a las 11:24 a.m., (derecha)

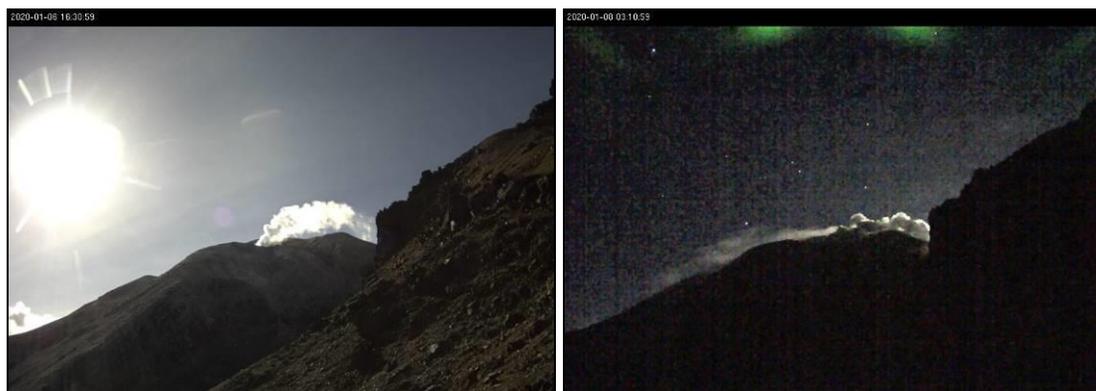


Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 06 de enero de 2020 a las 04 : 30 p.m., (izquierda) y el 08 de enero a las 03: 10 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 09 de enero de 2020 a las 00 : 16 a.m., (izquierda) y el 18 de enero de 2020 a las 07: 13 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

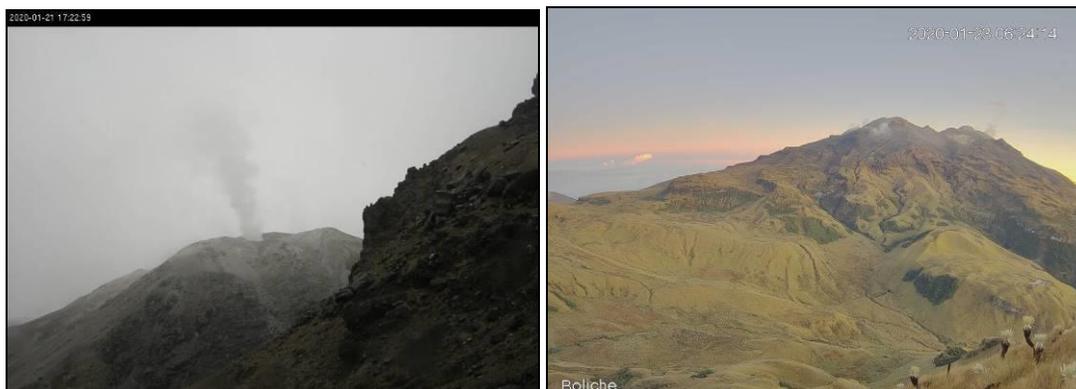


Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 21 de enero de 2020 a las 05: 22 p.m., (izquierda) y el Boliche el día 23 de enero de 2020 a las 06:24 a.m., (derecha)

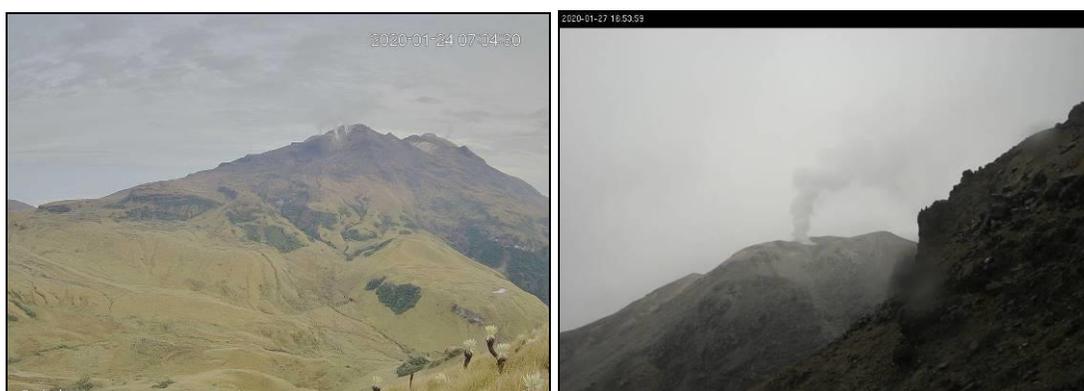


Figura 50. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 24 de enero de 2020 a las 07: 04 a.m., (izquierda) y El Verde el día 27 de enero de 2020 a las 04:53 p.m., (derecha)



Figura 51. 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 29 de enero de 2020 a las 01: 56 p.m., (izquierda) y El Verde el día 31 de enero de 2020 a las 06:40 p.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

En enero 2020, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), la sismicidad registró un leve incremento en su ocurrencia y disminución en su energía, con predominio de eventos asociados con tránsito de fluidos al interior del volcán. Los sismos son de baja energía, con ML máxima de 1.6 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en enero 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 – ENERO 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 52).

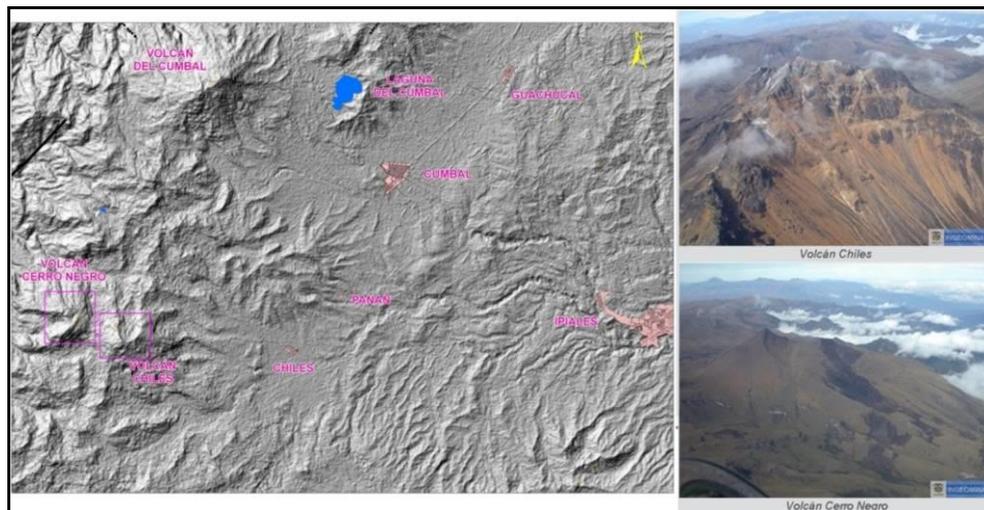


Figura 52. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y 2 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 53, Tablas 15 y 16).

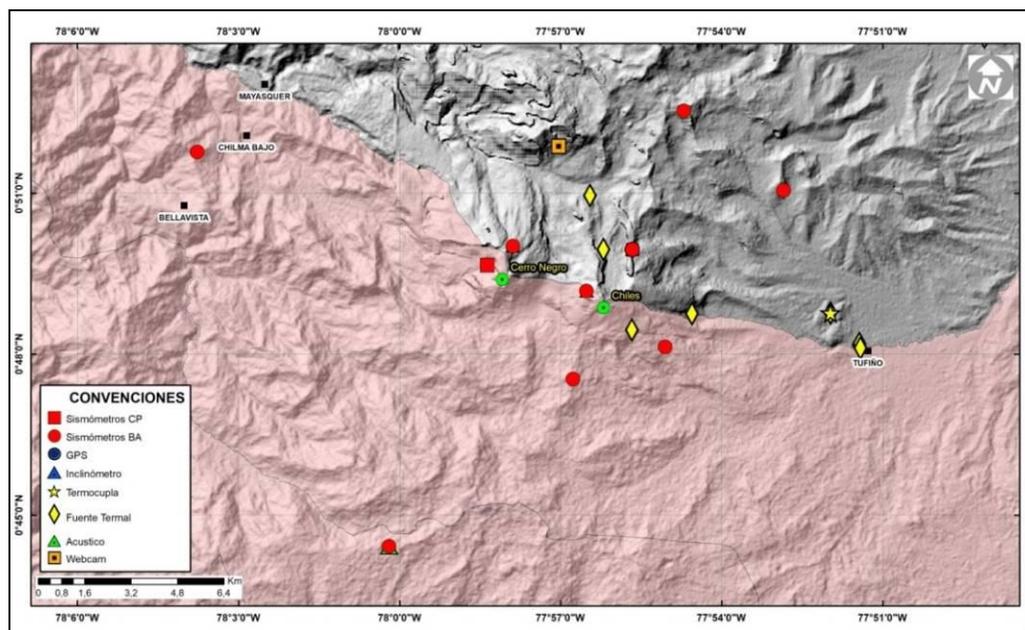


Figura 53. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2020

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

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclínometro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. C. Negro	Digital	Inclínometro 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 16. 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 99 % (Figura 54).

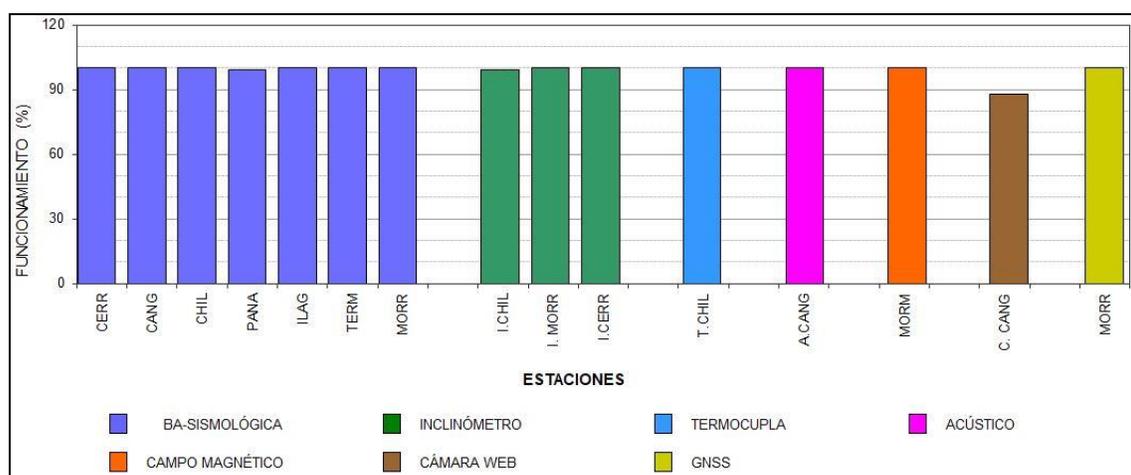


Figura 54. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2020

3.3 Sismología

La ocurrencia sísmica en región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero 2020 registró disminución del 33%, pasando de 1992 a 1325 eventos, con respecto a diciembre 2019. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 1163 eventos, que representan el 88% del total; se destaca el registro de 159 eventos de tipo LP, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos, con el 12% del total, también se registraron 3 HIB, cuyo porcentaje queda inmerso en los dos tipos de eventos anteriores. La sismicidad VT también disminuyó su ocurrencia un 41%, pasando de 1979 a 1163 eventos. En meses anteriores el registro de LP era esporádico, por lo cual se destaca el importante incremento (16 veces) en su ocurrencia, pasando de 10 a 159 eventos, especialmente a partir del 23 de enero, hasta terminar el mes, con un promedio diario de 16 sismos LP (Tabla 17, Figura 55). El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 2 de enero con 102 eventos (101 VT, 1 LP) (Tabla 17, Figura 55).

Tabla 17. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2019 y enero 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	
Diciembre 2019	1979	10	1	2	0	1992
Enero 2020	1163	159	0	3	0	1325

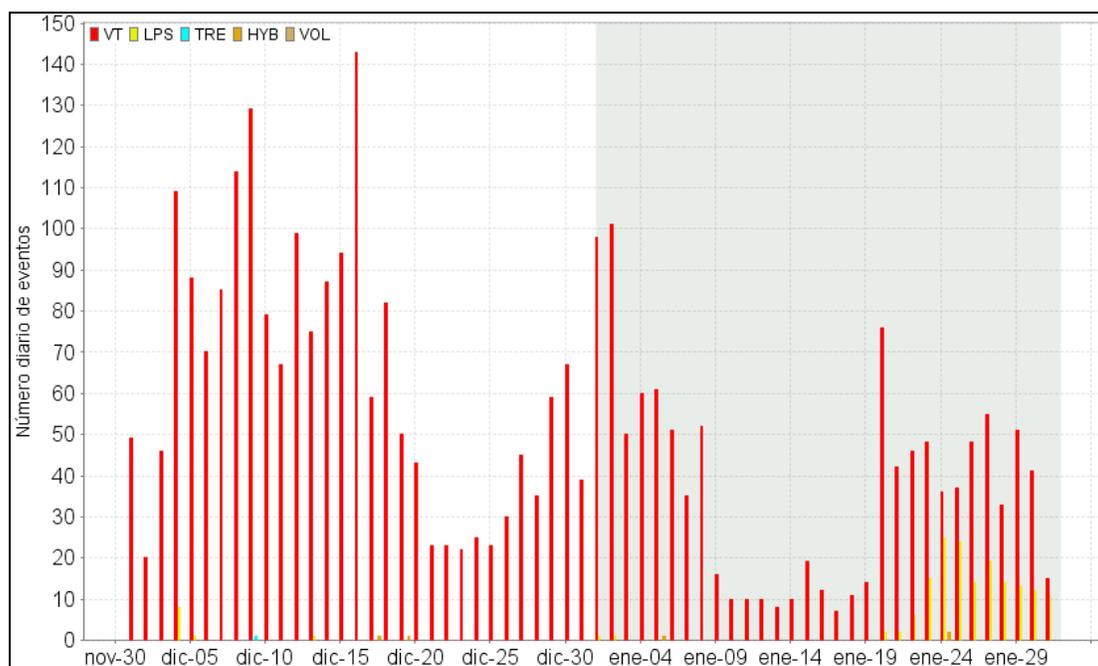


Figura 55. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2019 y enero 2020, el recuadro resalta el periodo evaluado

La energía sísmica mostró disminución del 68%, al pasar de 1.63×10^{15} ergios a 5.12×10^{14} ergios. El mayor aporte energético provino de los eventos de fractura con 4.30×10^{14} ergios, equivalente al 84%, los eventos LP registrados en enero alcanzaron una energía de 8.17×10^{13} ergios, equivalente al 16%. La energía de los VT disminuyó un 74%, al pasar de 1.63×10^{15} ergios a 4.30×10^{14} ergios. El pico de energía se registró el día 28 de enero, con 3.31×10^{14} ergios, debido a 33 VT (3.13×10^{14} erg) y 14 LP (1.78×10^{13} erg) (Tabla 18, Figura 56).

Tabla 18. Energía de eventos VT y LP en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2019 y enero 2020

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo		
	VT	LPS	TOTAL
Diciembre 2019	1.63E+15	0	1.63E+15
Enero 2020	4.30E+14	8.17E+13	5.12E+14

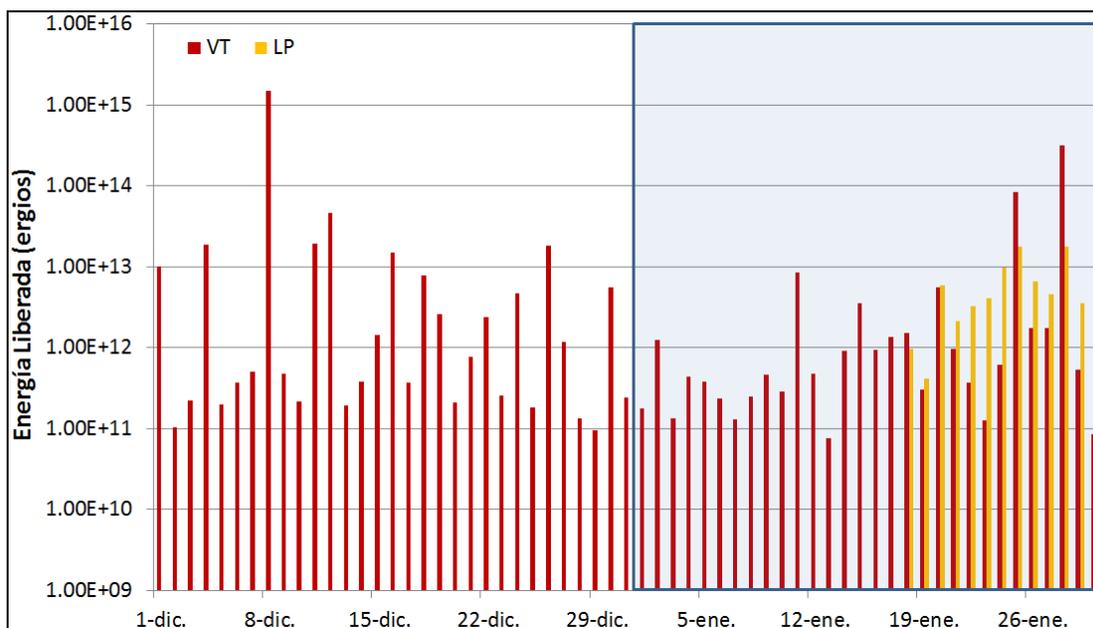


Figura 56. Energía sismica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2019 y enero 2020, el recuadro indica el periodo evaluado

Fueron localizados 276 VT, ubicados en 2 zonas o fuentes diferenciables, la primera en el costado oriental del volcán Cerro Negro, con 116 eventos dispuestos en sentido noreste, a distancias entre cero y 2 km, profundidades menores de 5 km con respecto a su cima (4470 m), con ML máxima de 2.1 Richter. La segunda fuente se ubicó en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, con 141 sismos localizados a distancias entre 0.6 y 6 km con profundidades menores de 7 km con respecto a su cima (4700 m), con ML máxima de 1.5 Richter. Otros pocos sismos se ubicaron dispersos en distancias hasta de 12 km y profundidades hasta de 13 km con respecto a la cima del volcán Chiles (Figura 57).

En años anteriores en la fuente cercana a Cerro Negro se habían registrado esporádicamente pocos sismos, pero a partir del evento de ML 4.2 ocurrido el 27 de

septiembre de 2019, el registro de sismos en esa zona ha sido recurrente (Figura 57). Se destaca el registro de un evento con ML 2.1 el día 25 de enero a las 3:27 am, ubicado a 1 km al oriente de la cima de Cerro Negro, a una profundidad de 4 km, el cual no fue reportado como sentido.

Los eventos LP son de baja energía con amplitudes pequeñas, algunos de ellos fueron localizados con arribos de onda P, lo cual sugiere una ubicación aproximada hacia el cuadrante norte del volcán Chiles, con incertidumbre en su profundidad. Uno de los LP fue localizado con arribos de P, atenuación y polarización, métodos que también sugieren una ubicación aproximada en el cuadrante norte del volcán Chiles, con incertidumbre en su profundidad (Figura 58).

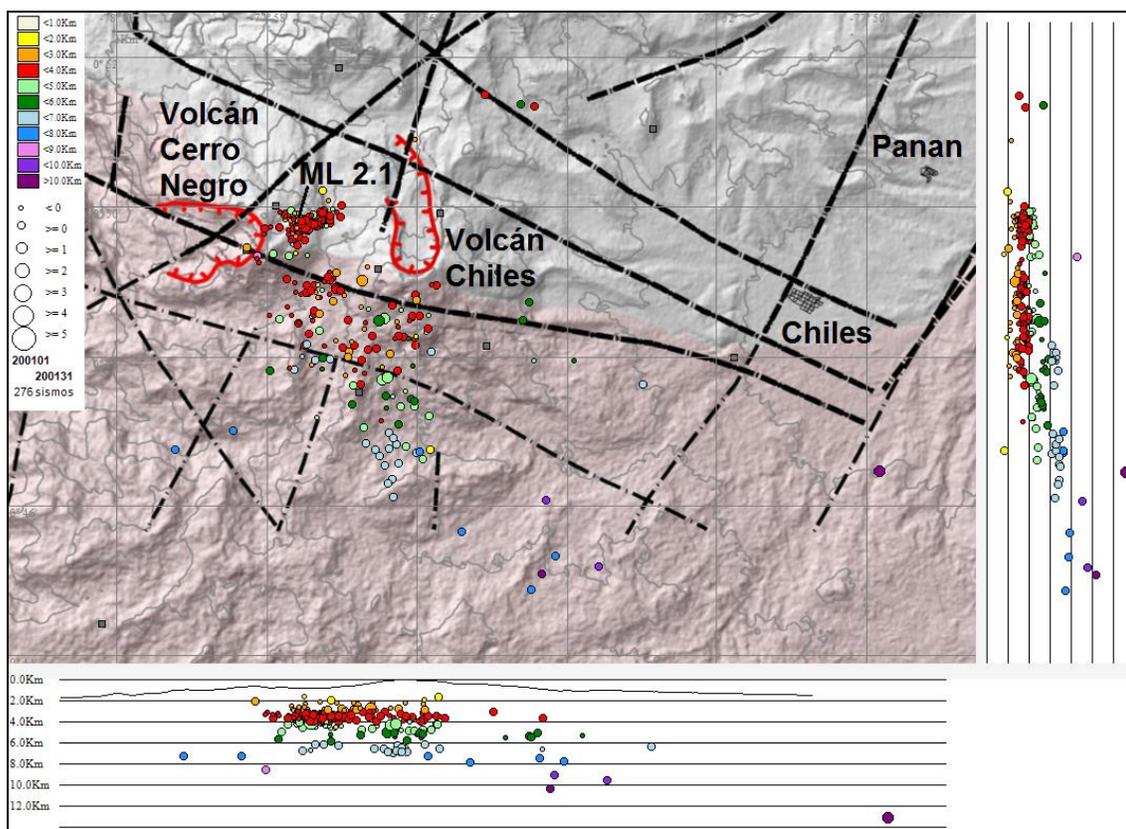


Figura 57. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero 2020

La mayoría de los sismos son de baja energía, destacándose 3 eventos con ML entre 1.5 y 2.1 en la escala de Richter, ubicados en las fuentes antes descritas y en la Tabla 19 se

consignan sus características de localización (Figura 57, Tabla 19). No se recibió reportes de sismo sentido.

Tabla 19. Sismos VT con ML mayor o igual a 1.5, Chiles - Cerro Negro, enero 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
02/01/2020	04:52	0-40.15	77-52.46	7	1.9
20/01/2020	16:39	0-48.48	77-56.51	5	1.5
25/01/2020	03:27	0-49.81	77-57.53	4	2.1

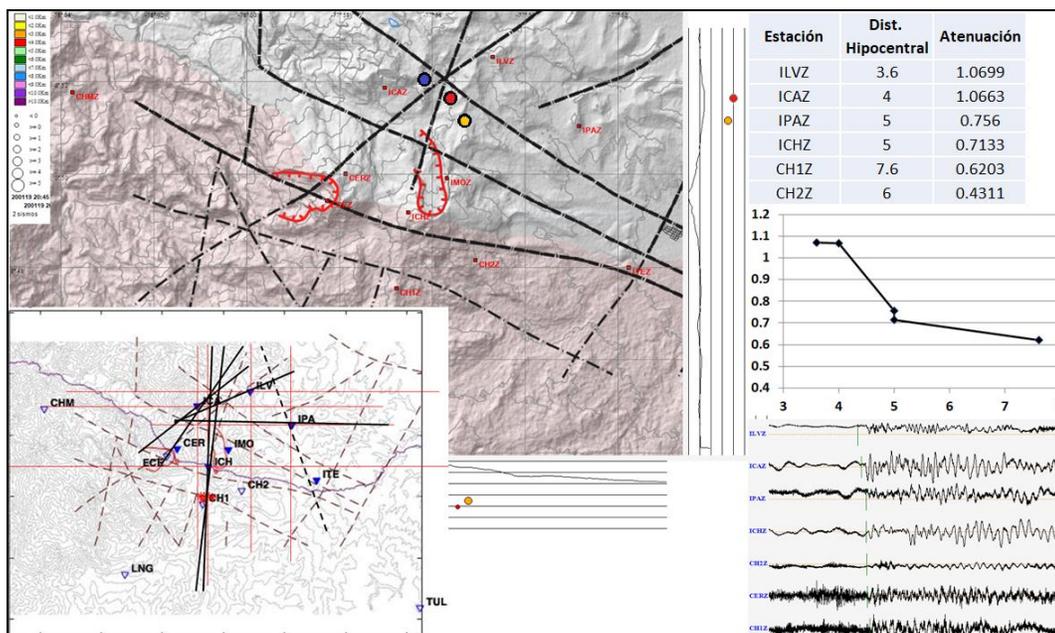


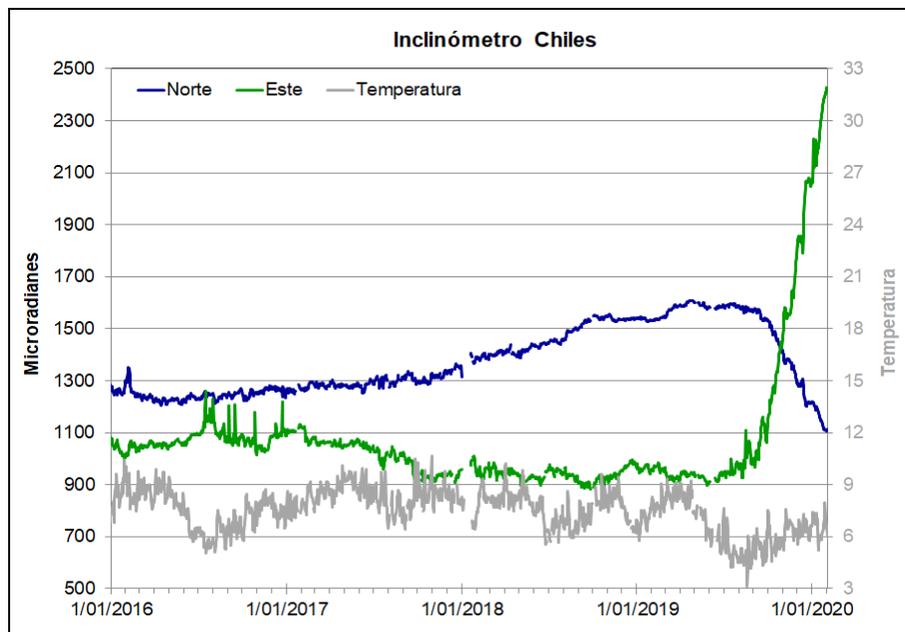
Figura 58. Localización de un sismo LP utilizando arribos de P (punto rojo), atenuación (punto amarillo y polarización (punto azul), volcán Chiles

3.4 Deformación

Las componentes del inclinómetro electrónico de Chiles mantienen la tendencia que traían y que se reportaron desde meses anteriores. En la componente de inclinación Norte, se evidencian dos tendencias, la primera entre el 26 de mayo de 2016 y el 21 de abril de 2019, alcanzando cerca de 400 μ rad, posteriormente se observa un comportamiento descendente, acumulando entre abril y enero de 2020 alrededor de 470 μ rad. La componente Este, desde el 27 de mayo de 2019, tiene una tendencia ascendente, registrando 1480 μ rad, que corresponde al mayor valor acumulado desde su instalación (Figuras 59). El inclinómetro El Morro, desde su reinstalación a finales de junio de 2019, se observa estabilidad en sus registros, con variaciones menores de

10 urad, que muy posiblemente están asociadas a la temperatura ambiente, por ahora no es posible evidenciar ninguna tendencia (Figura 60).

En la Figura 61, 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, aproximadamente entre el 27 de mayo y el 1 de noviembre, alcanzando hasta el 31 de enero de 2020 cerca de 135 μ rad y 40 μ rad para las componente Norte y Este respectivamente (Figura 61). Posteriormente y hasta el 31 de enero de 2020 el comportamiento de las dos componentes es estable.



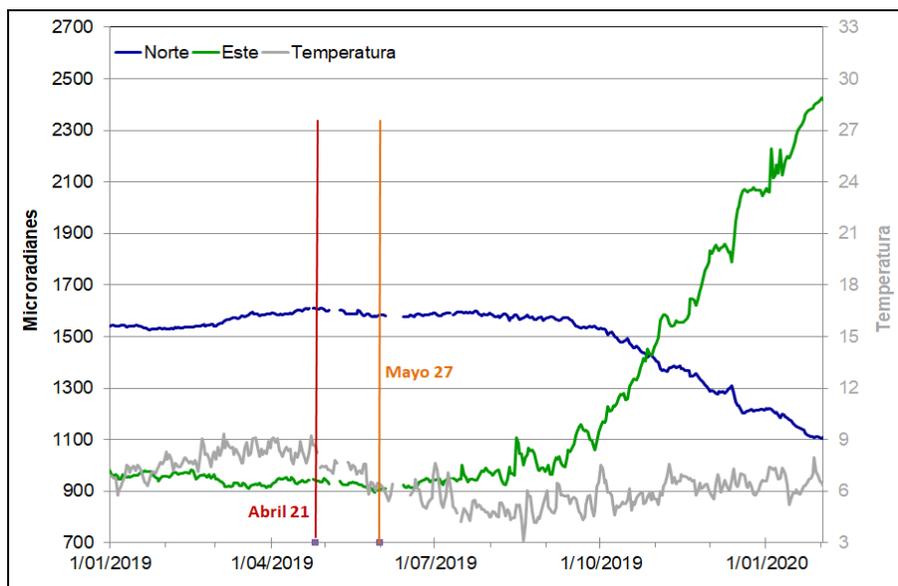


Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre. **Superior:** para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020. **Inferior:** para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de enero 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

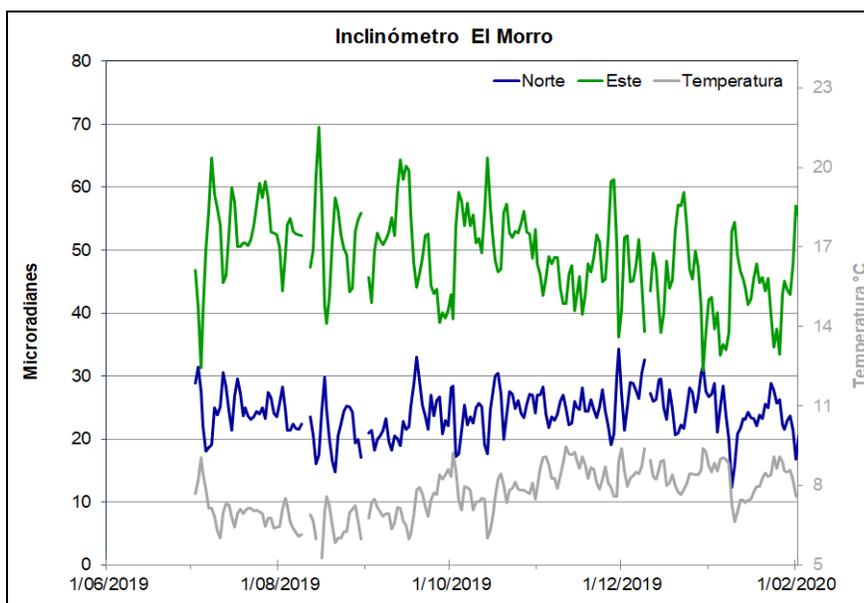


Figura 60. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio y el 31 de enero de 2020

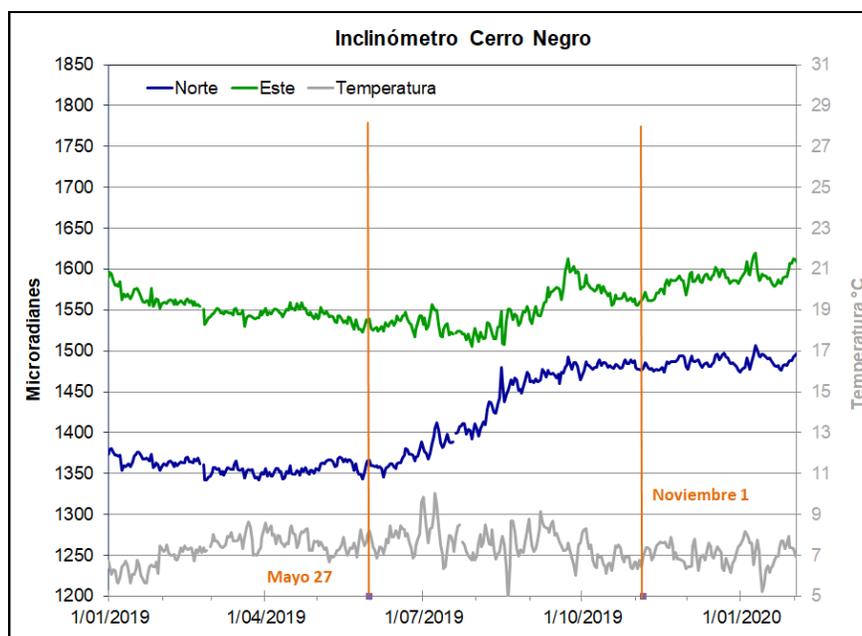


Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2020. Resaltando el cambio de tendencia en las componentes de inclinación, entre mayo y noviembre de 2019

En la figura 62, se indica el comportamiento de los vectores resultantes de los inclinómetros Chiles y Cerro Negro para el periodo comprendido entre marzo de 2019 y enero de 2020. El vector resultante del inclinómetro Chiles indica una zona de inflación hacia el sector NW del volcán Chiles, y el vector resultante del inclinómetro Cerro Negro, muestra una inflación hacia el SW respecto a la cima del volcán Cerro Negro. Los dos vectores se cortan hacia el SW del volcán Cerro Negro (Figura 62). Este cambio en el comportamiento del vector resultante, es consistente con el cambio en la localización de los sismos tipo VT localizados en la zona del volcán Cerro Negro.

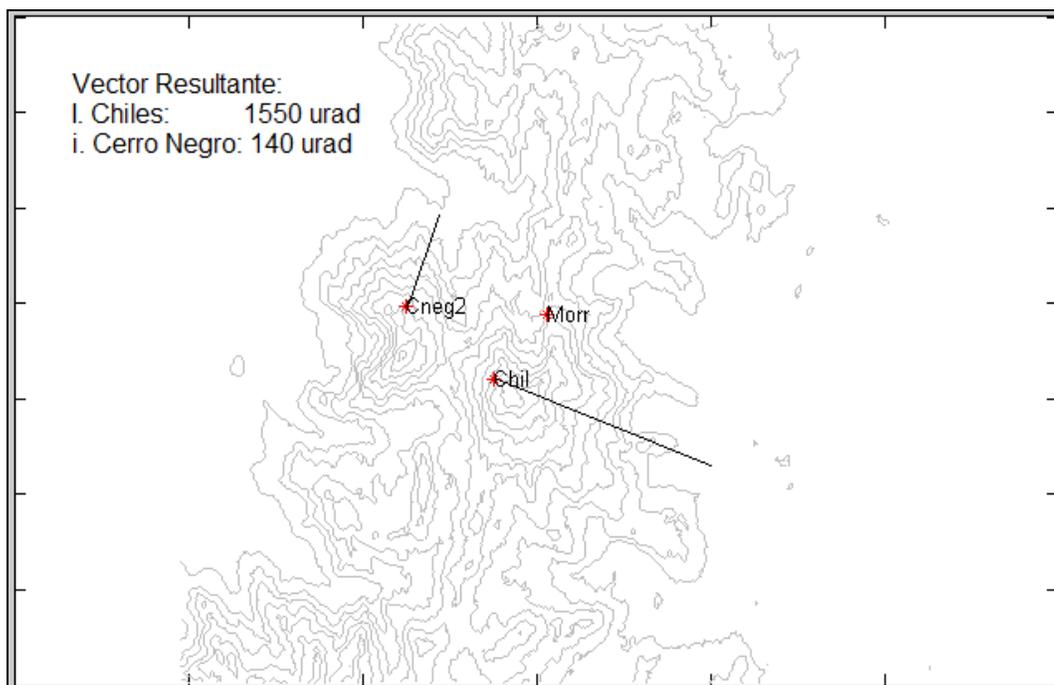


Figura 62. Vector resultante de los inclinómetros Chiles y Cerro Negro entre marzo de 2019 y enero de 2020. Los dos inclinómetros muestran una posible inflación hacia el sur-oeste del volcán Cerro Negro

3.4.1 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, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura (Figura 63).

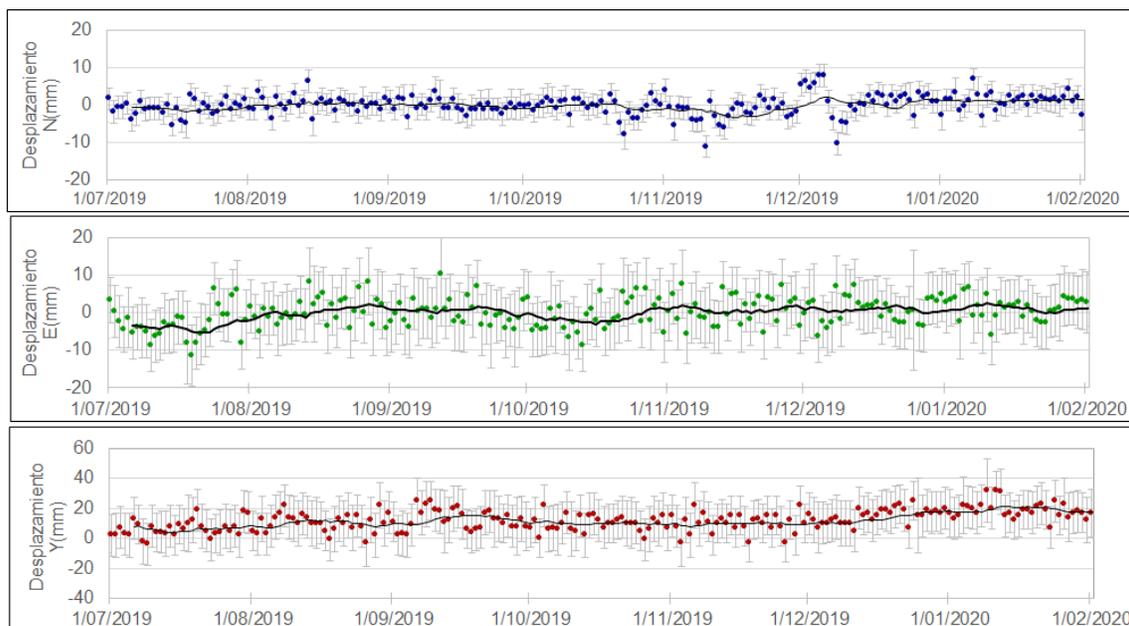


Figura 63. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2020

3.4.2 Electromagnetismo

Para el mes de enero de 2020, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del complejo volcánico Chiles Cerro Negro, se realizó con los registros de la estación Morro (Mor), que cuenta con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate.

Tomando el periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020 (Figura 64), el comportamiento del registro magnético de la estación MOR mostró un comportamiento relativamente estable, donde se resaltan principalmente las variaciones seculares día-noche y, saltos abruptos que están muy relacionados con la ocurrencia de tormentas solares magnéticas externas, principalmente aquellas con índice Kp entre 3 y 6, que afectan la amplitud del registro de la estación magnética y su comportamiento posterior, por algunos días, en las dos estaciones usadas para los análisis de la información; MOR y KOU. Verificando los registros magnéticos, se ha podido identificar que tanto las variaciones seculares como las asociadas con las tormentas eléctricas provienen de fuentes externas a la actividad volcánica, por cuanto se registran tanto en la estación MOR como en la estación KOU, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de

Magnetismo Terrestre de Francia, que se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, en la zona del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares 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 64).

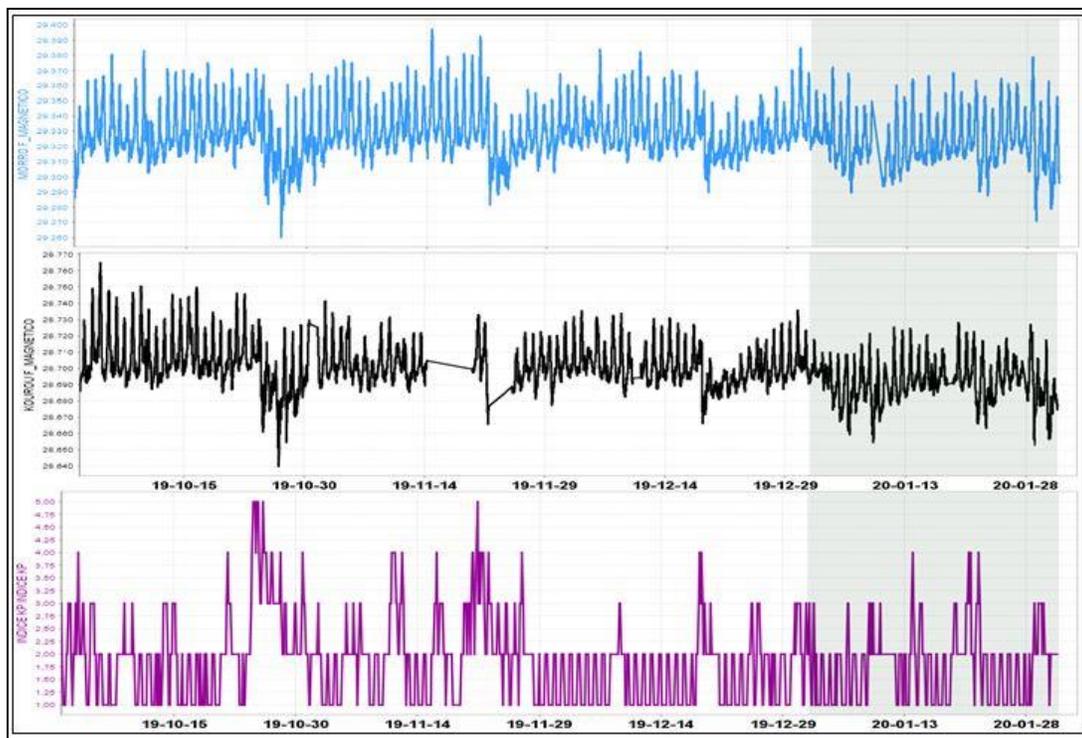


Figura 64. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp. Periodo entre octubre de 2019 a enero de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)

Para enero de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en MOR fue de alrededor de 29.330 nT y de 28.700 nT para KOU (Figura 64); mostrando en general un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, en MOR es de alrededor de 50 nT, en tanto que para KOU es de alrededor de 30 nT (Figura 65), incrementando específicamente los días 8 y 28 de enero, por la ocurrencia de tormentas externas (Figura 64).

El análisis espectral de los registros magnéticos en MOR, resalta las frecuencias dominantes de las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en

frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que son de alrededor de ± 24 nT para las estaciones de MOR y KOU; incrementando para las fechas mencionadas con tormentas magnéticas externas (Figura 65).

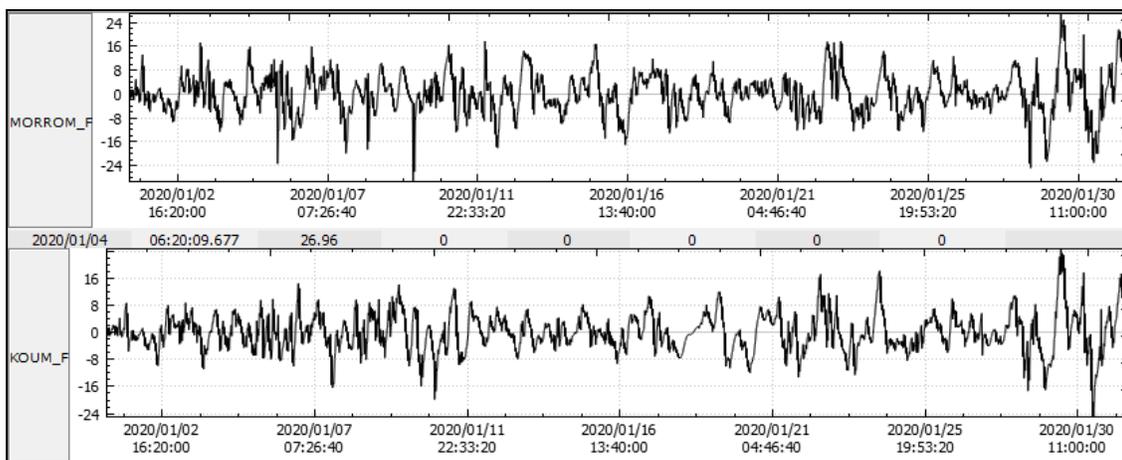


Figura 65. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU en enero de 2020

3.5 Geoquímica

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

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

3.6 Actividad Superficial

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

3.7 Conclusiones

En enero 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 respecto a lo registrado en diciembre 2019. Continúa el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), destacándose el registro de 3 sismos VT con ML entre 1.5 y 2.1 en la escala de Richter. No se recibió reportes de sismo sentido.

En años anteriores en las fuentes cercanas a Cerro Negro se habían registrado esporádicamente pocos sismos, pero a partir del evento de ML 4.2 registrado el 27 de septiembre de 2019, la ocurrencia de eventos en esas fuentes ha sido recurrente.

Se destaca que en meses anteriores el registro de eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP) era muy esporádico, pero en enero 2020 se registró un aumento de 16 veces en el número de sismos LP pasando de 10 a 159 eventos, especialmente a partir del 23 de enero, con un promedio diario de 16 sismos LP.

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

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 20, Figura 67). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 20), Figura 67. 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 68).

Tabla 20. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero 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	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
I. Lavas	Analógica	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

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

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
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

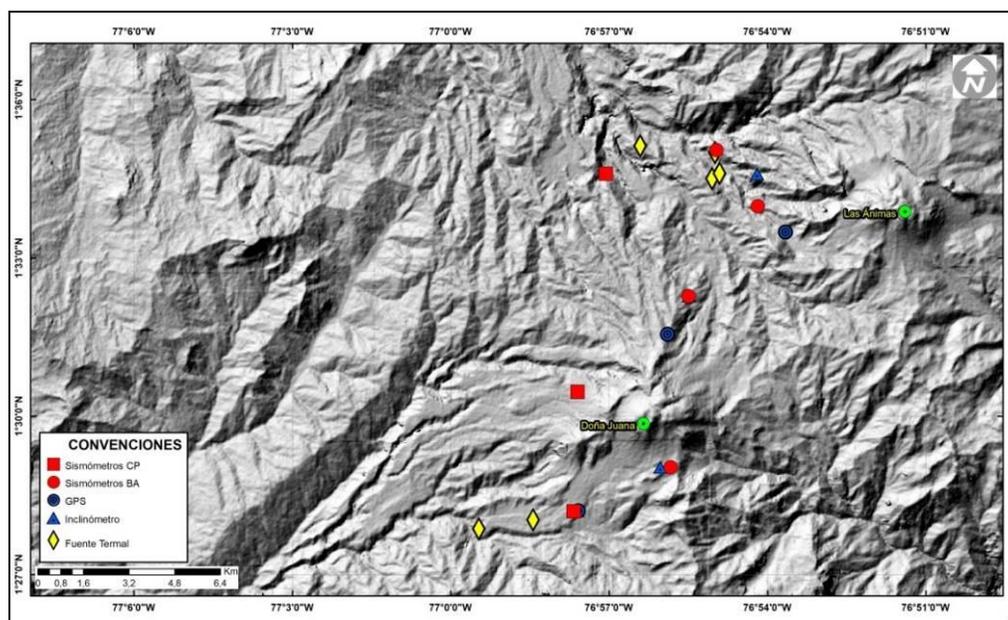


Figura 67. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2020

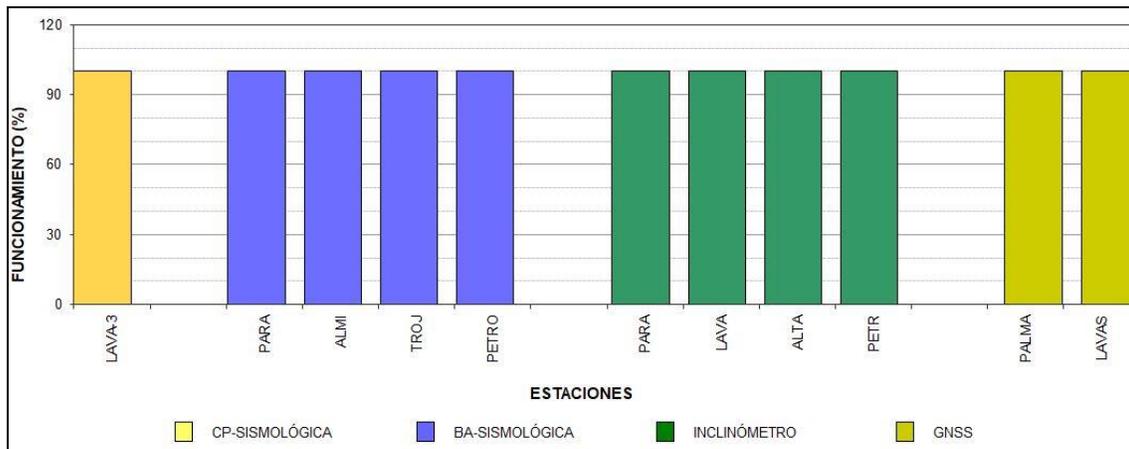


Figura 68. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2020

4.1.2 Sismología

La sismicidad en esta región volcánica fue muy baja y con respecto al mes de diciembre 2019 la ocurrencia disminuyó 27% su valor, pasando de 11 a 8 eventos, 6 de ellos asociados con fractura de roca (VT) y dos de ellos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos); no se registraron eventos de tipo HIB, ni eventos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos (LP y TRE) (Tabla 21, Figura 69). El 29 de enero se registró el pico de ocurrencia con 2 eventos (1VT, 1 VOL).

Se localizaron 2 VT, el primero a 15 km al sur de Doña Juana, con ML de 1.7 y el segundo a 4 km al SW de Las Ánimas con ML de 1.4 (Figura 69); la energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 6.27×10^{11} ergios, calculada con base en su magnitud local. En la Tabla 22 se consignan las características de los eventos localizados.

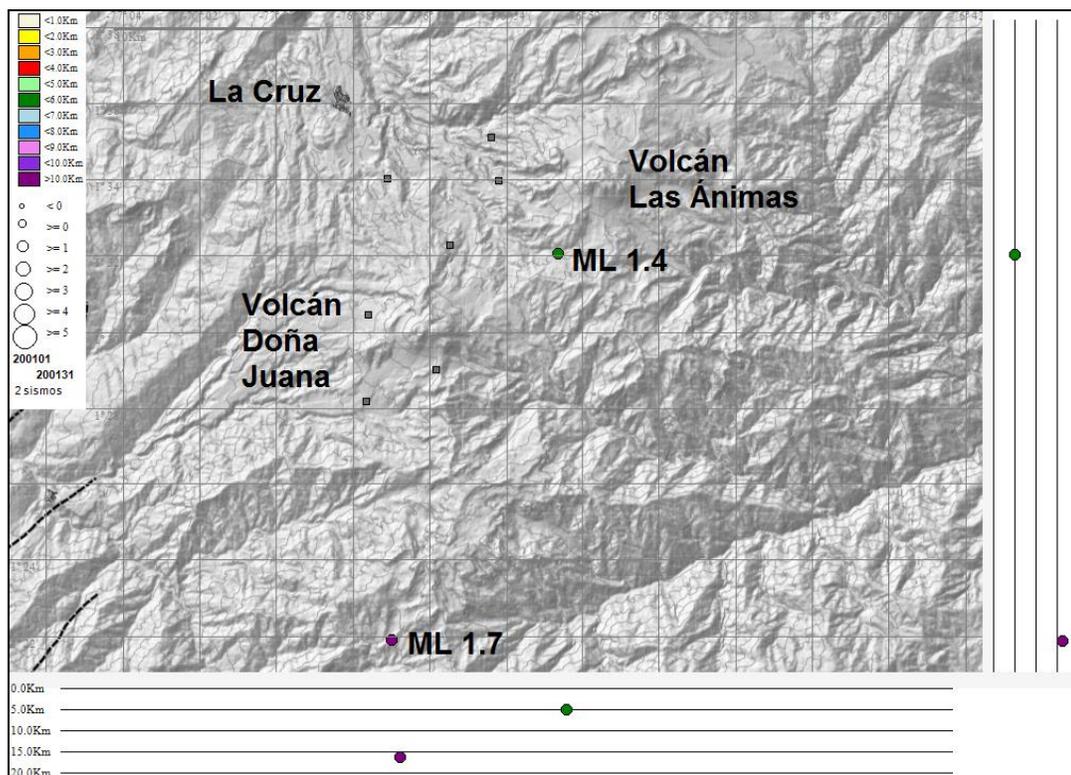


Figura 69. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2020

Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2019 y enero 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	
Diciembre 2019	11	0	0	0	0	11
Enero 2020	6	0	0	0	2	8

Tabla 22. Sismos con ML igual o mayor a 1.4, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
05/01/2020	05:28	1-21.90	76-56.99	16	1.7
29/01/2020	17:47	1-32.06	76-52.65	5	1.4

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclinometría Electrónica

La componente Este del inclinómetro Altamira, muestra una tendencia levemente ascendente a partir de enero de 2019 acumulando hasta el 31 de enero de 2020, cerca de 20 urad, mientras su componente Norte se mantiene estable (Figura 70).

En la Figura 71, se muestra la serie temporal para la estación de inclinometría Petroglifo; la componente Este mantiene la tendencia estable, y la componente Norte muestra una tendencia levemente descendente acumulando para el 2019 unos 100 μ rad.

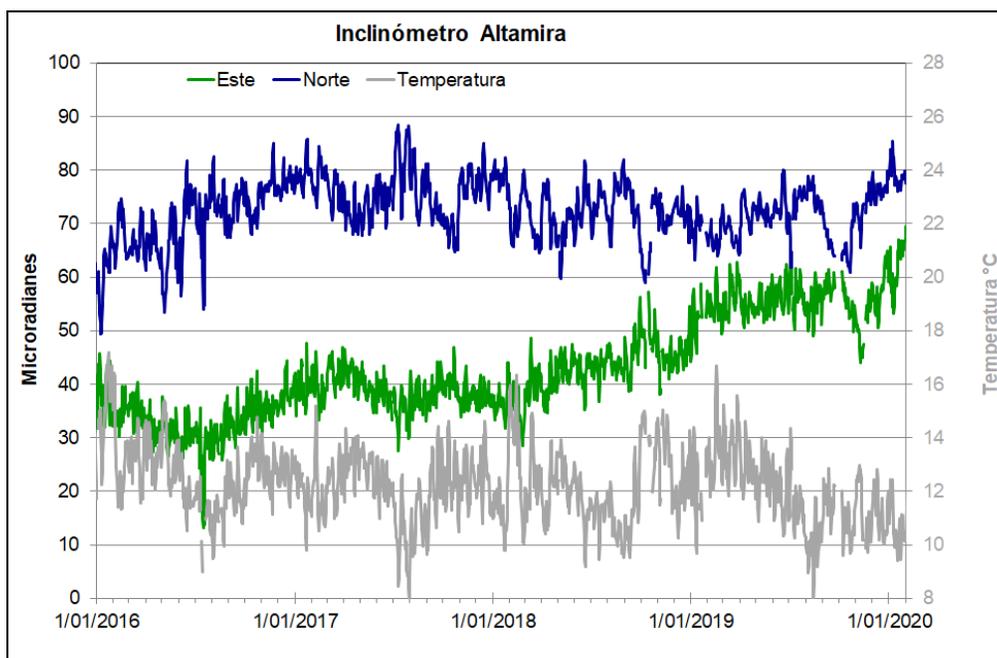


Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de enero de 2020

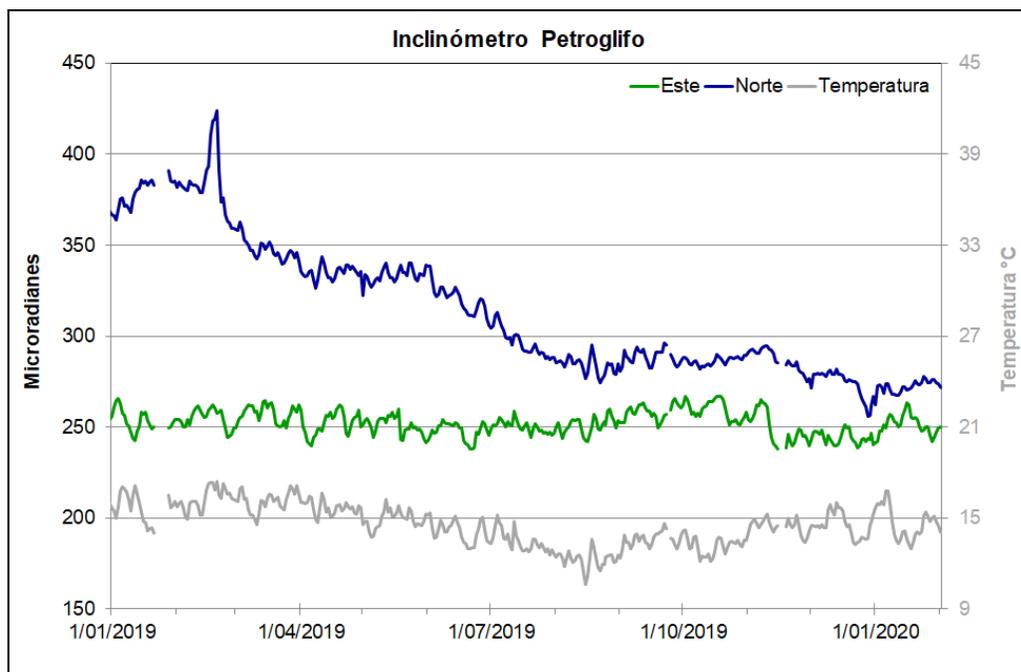


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de enero de 2020

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, tanto en la Este, como en la Norte, con variaciones acumulada cercana a los 35 μrad (Figura 72).

Los registros de las componentes de inclinación Lavas, al parecer desde mediados de noviembre, tienden a estabilizarse (Figura 73).

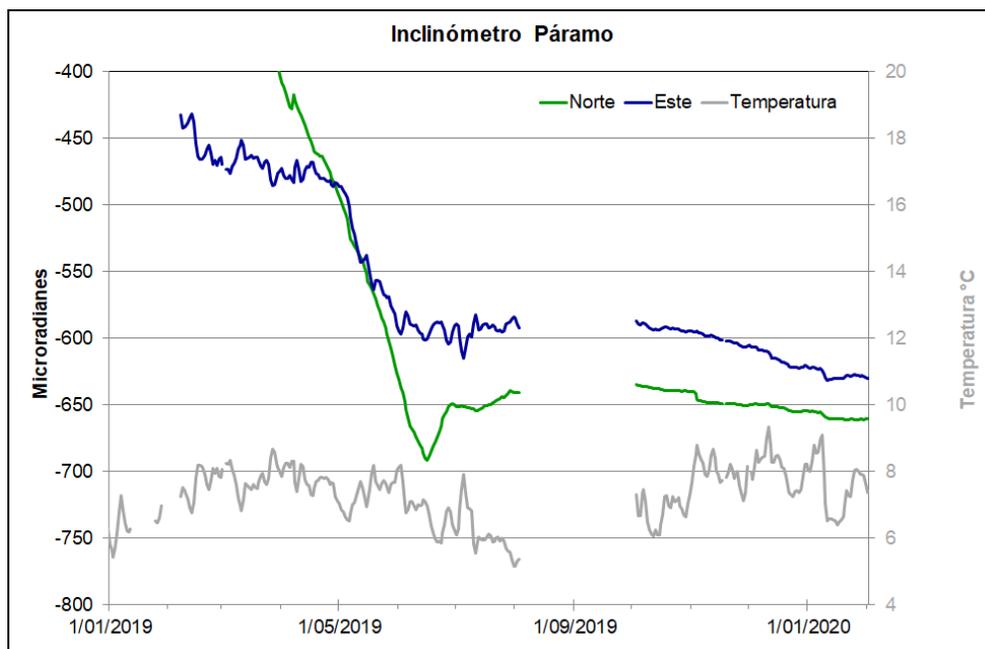


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de enero de 2020

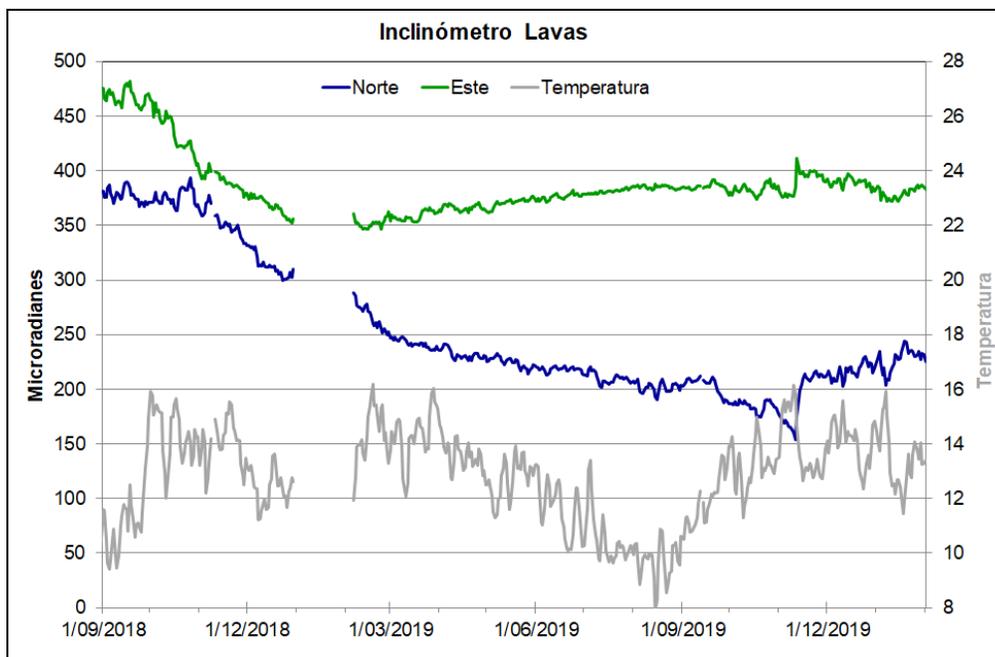


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2018 y el 31 de enero de 2020

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La estación GNSS Pradera fue saqueada el 31 de diciembre 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 74, 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.

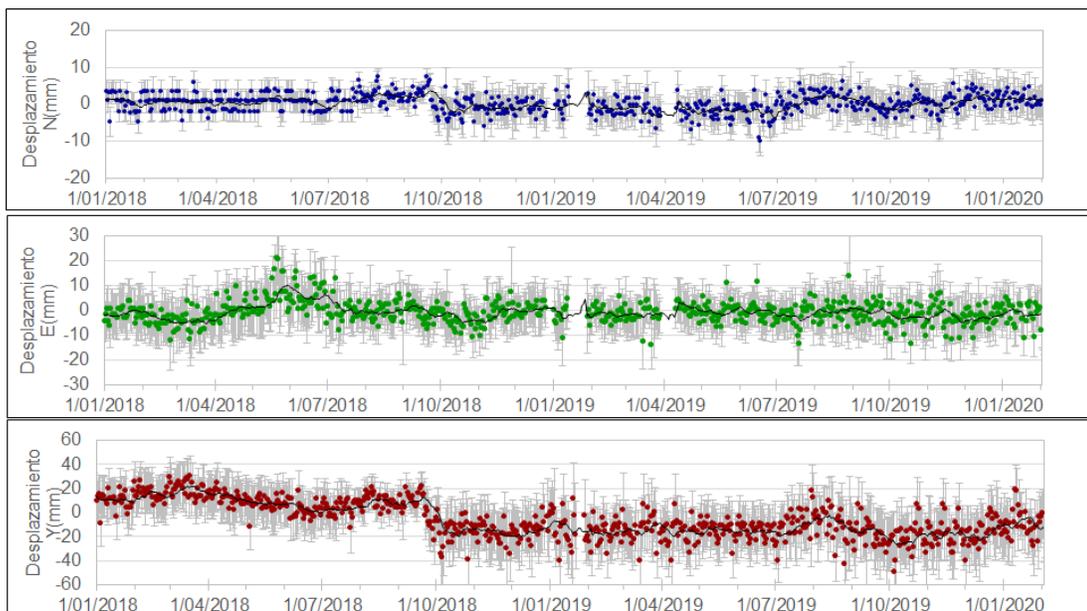


Figura 74. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

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 enero de 2020 no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.1.6 Actividad Superficial

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

4.1.7 Conclusiones

Dentro de niveles bajos, en enero 2020 se registró disminución en la ocurrencia y energía de la sismicidad, mayormente asociada con fractura de roca, con ML máxima de 1.7 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante enero 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 75 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 craterica.

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 76).

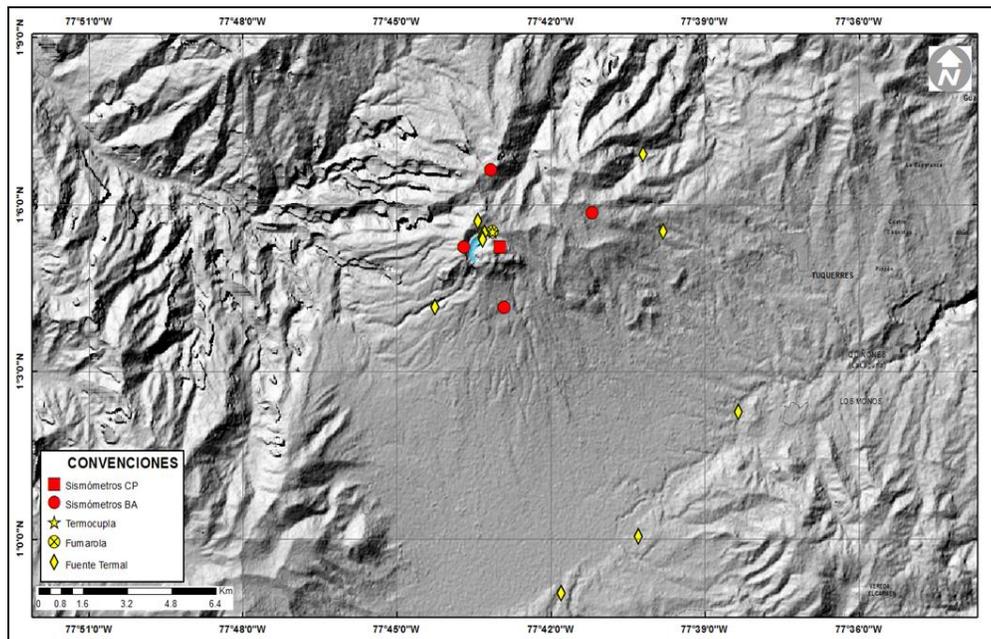


Figura 75. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2020

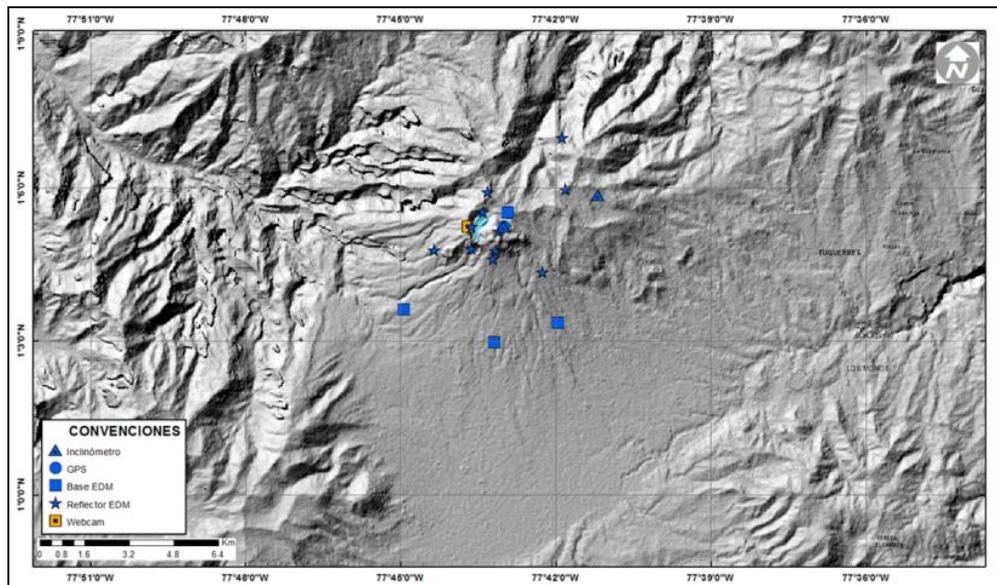


Figura 76. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de enero de 2020

Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de enero 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 97 % para este mes (Figura 77).

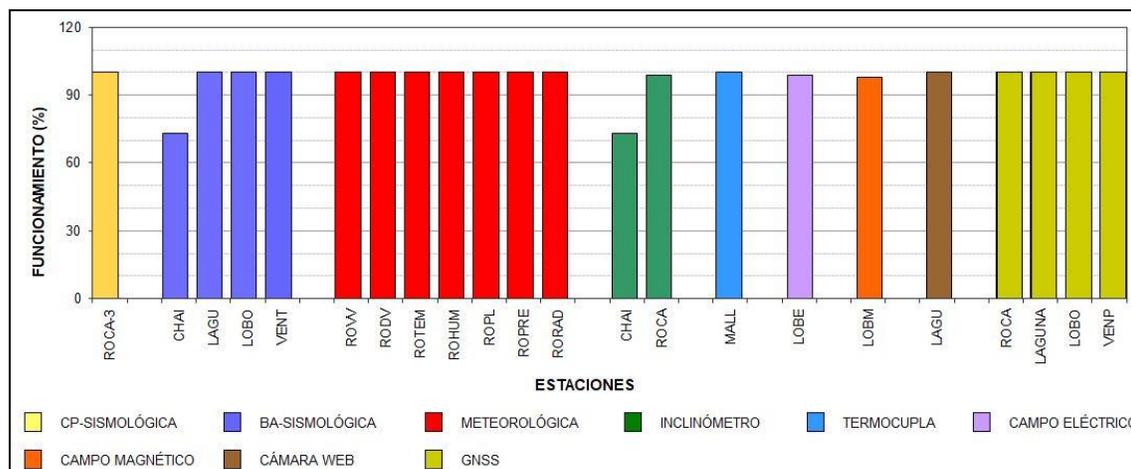


Figura 77. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán AzufraI durante enero de 2020

4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos, la sismicidad de enero 2020 en AzufraI disminuyó su número un 57%, pasando de 30 a 13 eventos, 10 de ellos (77%) asociados con fractura de material cortical (VT), uno (8%) asociado con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) y dos (15%) de tipo híbrido (HIB). No se registraron eventos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánico de fuente permanente (TRE), ni eventos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos). El pico de sismicidad fue de 2 eventos y se registró el 5 de enero (2 HIB) y el 23 de enero (2 VT) (Figura 78, Tabla 24).

Se localizaron 5 VT, de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en general los focos sísmicos se ubicaron a distancias entre 0.8 y 12 km, profundidades entre 3 y 16 km con respecto a la cima (4200 m) y con ML máxima de 1.4 en la escala de Richter (Figura 79). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 5.72×10^{11} ergios.

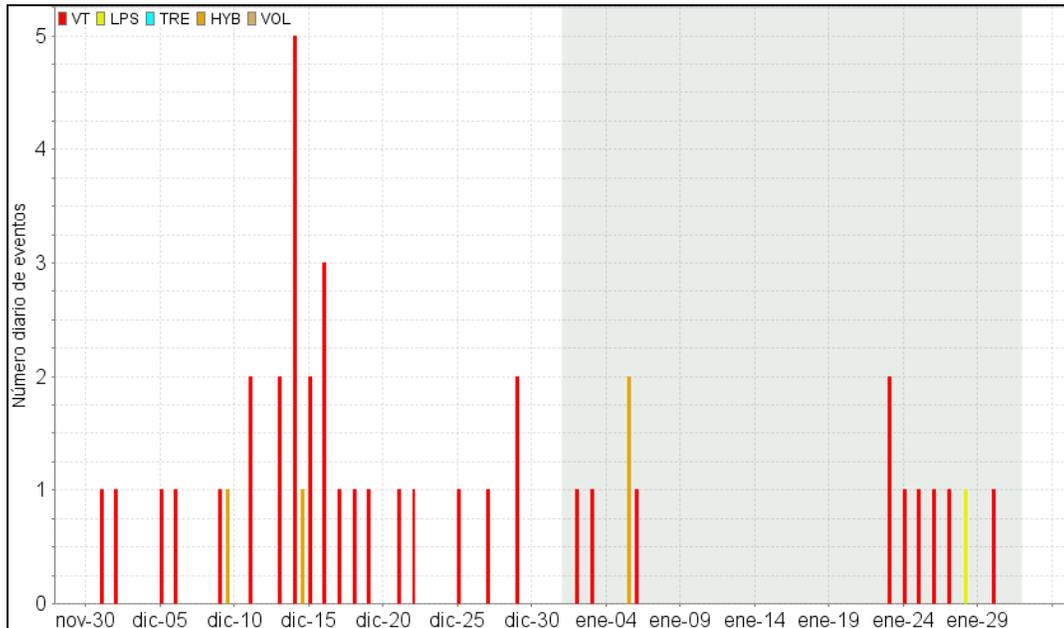


Figura 78. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, durante diciembre 2019 y enero 2020. El recuadro resalta el periodo evaluado

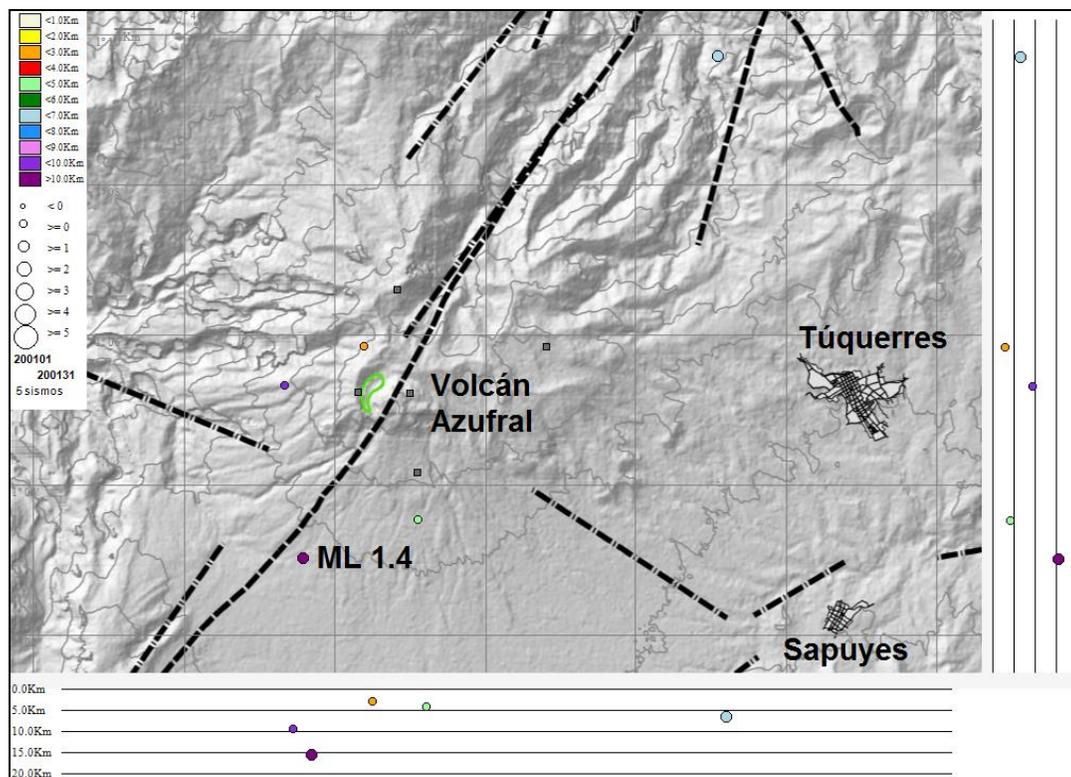


Figura 79. Localizaciones de sismos VT en Azufral, enero 2020

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo en Azufraal, diciembre 2019 y enero 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Diciembre 2019	28	0	0	2	0	30
Enero 2020	10	1	0	2	0	13

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destaca el registro de 2 VT con magnitud local igual a 1.1 en la escala de Richter y en la Tabla 25 se consignan sus características de localización.

Tabla 25. Sismos con ML igual a 1.1, volcán Azufraal, enero 2020

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
25/01/2020	22:13	1-03.03	77-44.42	16	1.4
26/01/2020	02:56	1-09.72	77-38.91	7	1.1

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclinometría Electrónica

El inclinómetro La Roca, luego de la tendencia descendente mostrada por la componente Este (que estuvo asociada con el descenso en el nivel del agua de la Laguna Verde) y con la nivelación del sensor realizada el 20 de noviembre de 2018, se observa un comportamiento ascendente en las dos componentes de inclinación, de unos 60 μ rad para cada componente (Figura 80).

A lo largo del periodo evaluado, las componentes de inclinación de la estación Chaitán, muestran cierta estabilidad con variaciones menores a 5 μ rad (Figura 81).

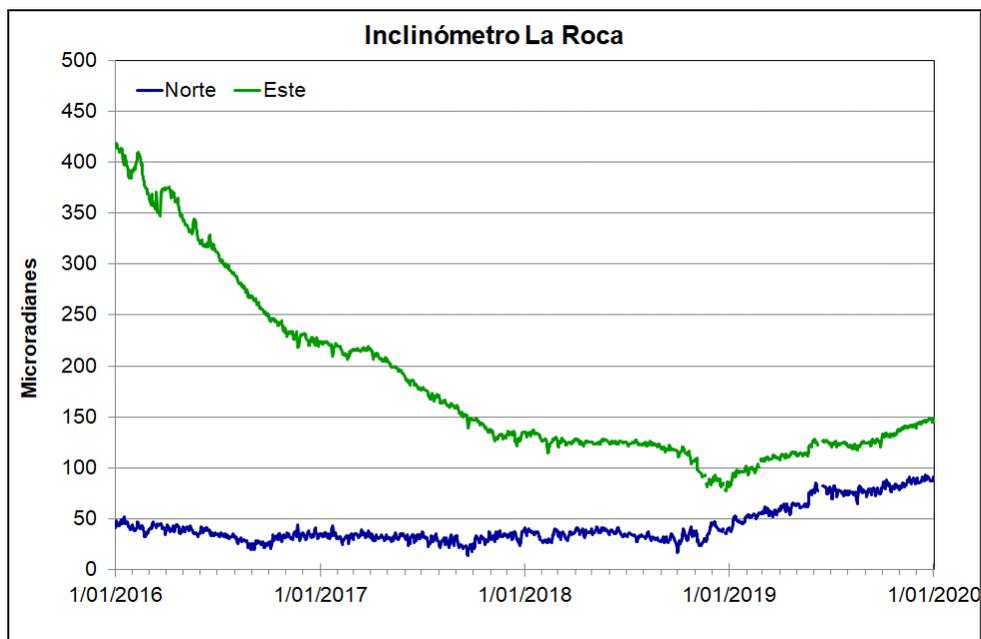


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2020

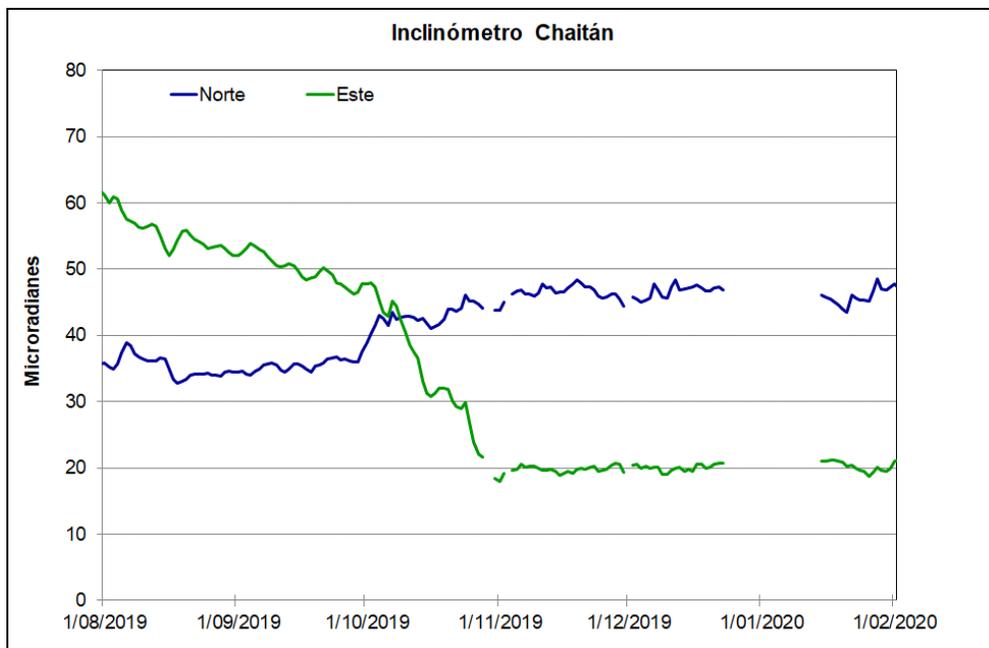


Figura 81. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2019 y el 31 de enero de 2020

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azufral, 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 82 y 83, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Roca y Ventana. En general las estaciones GNSS muestran estabilidad en sus registros.

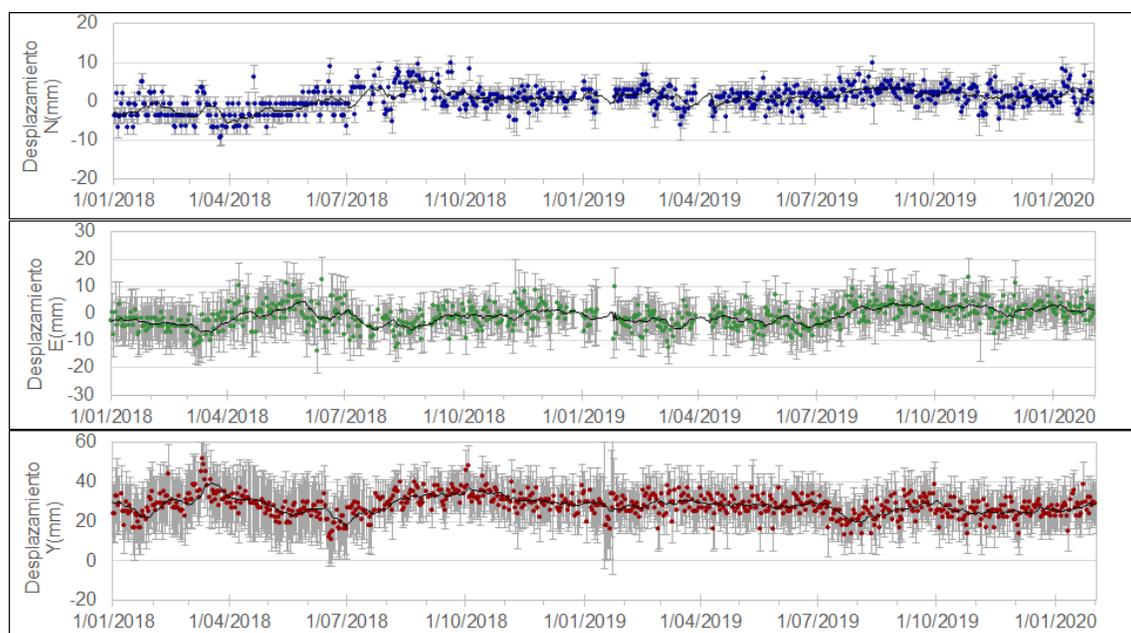


Figura 82. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2020

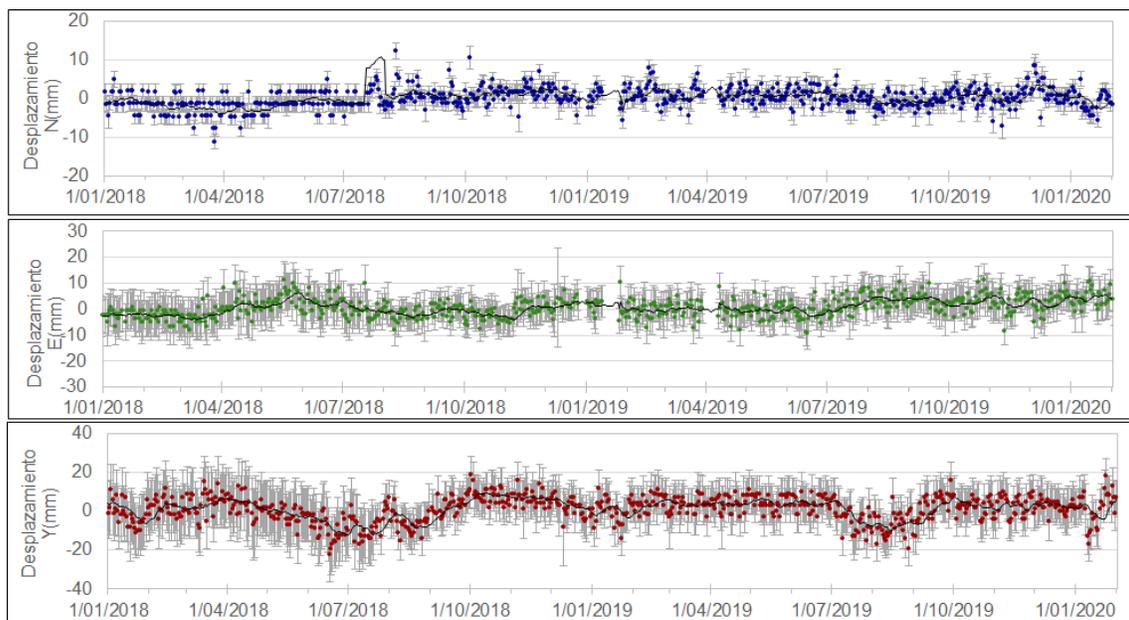


Figura 83. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 31 de enero de 2020

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

4.2.4 Electromagnetismo

Durante el mes de enero de 2020, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Azufral, se realizó con los registros de la estación Lobo (LOB), que cuenta con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate, y tiene instalados dos dipolos eléctricos que permiten monitorear las variaciones del Campo Eléctrico en sus componentes NS y EW.

En el periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020 (Figura 84), el registro magnético de la estación LOB resalta las variaciones seculares día-noche, con un valor promedio de 40 nT. Además de éstas variaciones, se identifican pulsos de variación más pronunciados, que en general se asocian con tormentas magnéticas solares, externas a la actividad terrestre, que en la medida que toman valores mayores o iguales al índice 4, se hacen más evidentes su interferencia en los registros magnéticos. Tanto las variaciones seculares como las asociadas con las tormentas

magnéticas externas se registran tanto en la estación LOB como en la estación magnética Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia, que se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, provenientes de la estación LOB. Al comparar los registros en las estaciones de LOB y Kourou, se identifica mucha similitud en los registros, tanto de las variaciones seculares como de la actividad magnética externa, principalmente de aquellas con índices mayor o igual a 4; las cuales generan oscilaciones aleatorias en la intensidad del CMT (Figura 84). Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares 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 84).

En enero de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en LOB fue de alrededor de 25.820 nT y de 28.700 nT para Kou (Figura 84); mostrando en general estabilidad respecto al mes anterior. La variación diaria del CMT, en cada una de las estaciones, fue de alrededor de 40 nT (Figura 84), incrementando los días 8 y 28 de enero, debido a la ocurrencia de una tormenta magnética externa (Figura 84).

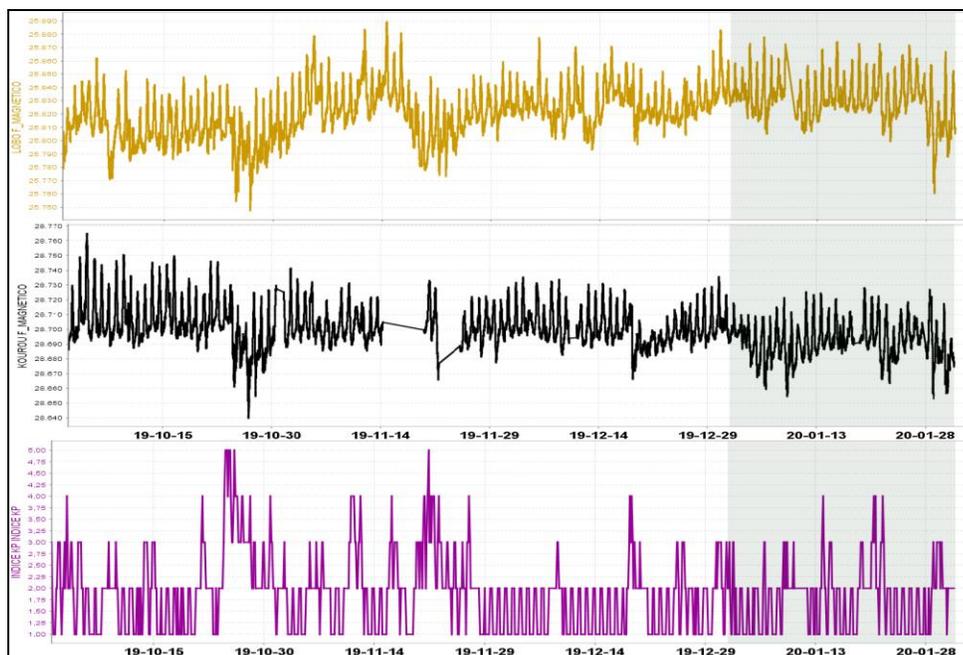


Figura 84. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Azufral, LOB (naranja), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (morado). Período entre octubre de 2019 a enero de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)

El análisis espectral de los registros magnéticos resaltan frecuencias dominantes de las variaciones seculares, con ciclos menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto estas frecuencias se eliminaron de los registros y se obtuvieron las variaciones asociadas con el campo magnético local que están entre ± 24 nT para las estaciones de LOB y KOU; registrándose las mayores variaciones en aquellos días donde se tuvo registro de tormentas magnéticas (Figura 85).

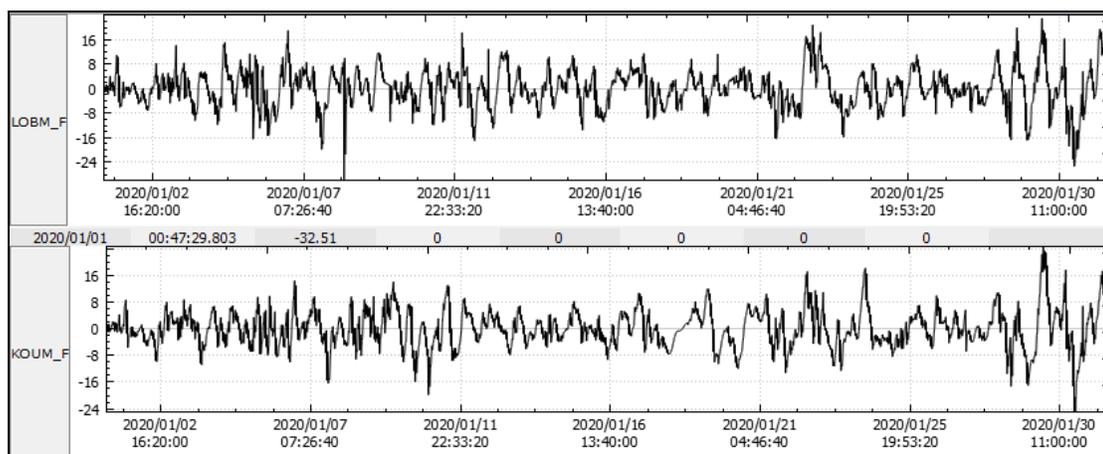


Figura 85. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, en enero de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de Azufral, para el periodo octubre de 2019 a enero de 2020, muestran variaciones seculares, asociadas con las variaciones día-noche, y una ligera tendencia ascendente del comportamiento del campo, que posiblemente estaría asociado con el incremento de las lluvias en la zona para este periodo de tiempo (Figura 86). El registro de las variaciones del CEH se ha comparado con los registros de la estación de pluviometría Geónica_Roc, ubicadas en la zona del volcán Azufral.

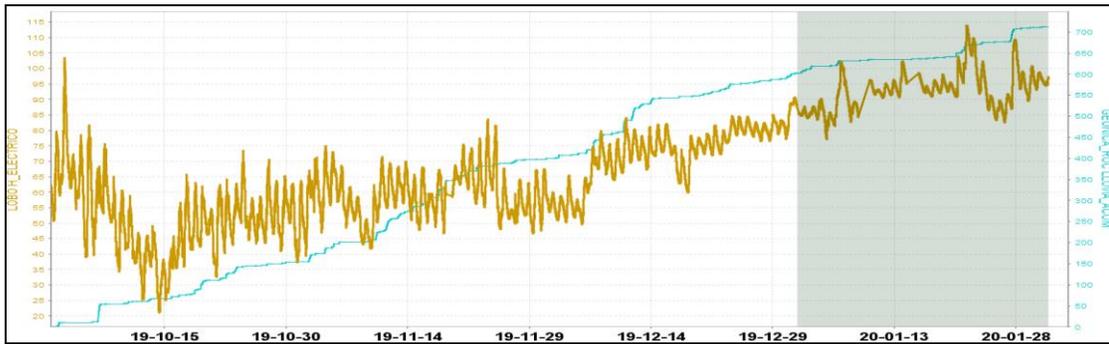


Figura 86. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufraal, LOB (naranja), para el periodo octubre de 2019 a enero de 2020 y registro del pluviómetro (azul). La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm

Para el mes de enero de 2020, La CEH de LOB muestra una tendencia de variaciones diarias, más o menos estables, en un valor aproximado de 5 mV, en tanto que el CEH registró una leve tendencia ascendente, pasando de un valor de 85 mv a alrededor de 97 mv, es decir una variación de alrededor de 12 mV (Figura 86).

El análisis espectral del registro eléctrico muestra frecuencias dominantes asociadas con las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 2 días, así también frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, una vez eliminadas las frecuencias asociadas con procesos periódicos, que no se asocian con la actividad volcánica, se obtuvieron los registros de la actividad propia de la zona, encontrando variaciones de alrededor de ± 6 mV, que corresponden a variaciones bajas del campo, asociadas con baja actividad volcánica; eventualmente se observaron variaciones mayores, asociadas con perturbaciones externas (Figura 87).

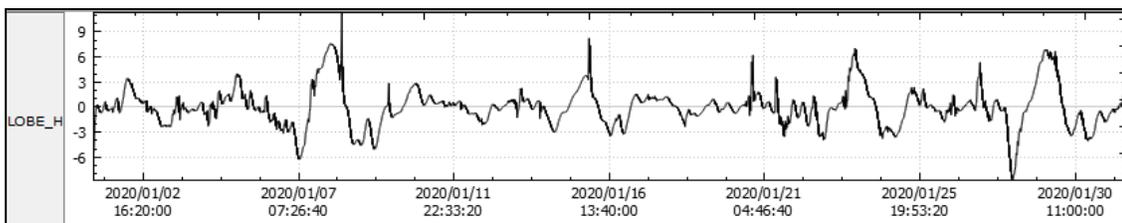


Figura 87. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación de monitoreo eléctrico de Azufraal LOB, para el mes de enero de 2020

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral

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

4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán Azufral

Para el mes de enero 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, precipitación.

En la Figura 88 se evidencia la gráfica temporal de las variables estudiadas, y los valores numéricos en la Tabla 26, para el periodo evaluado se observan incrementos en la variable de velocidad del viento, mientras que la dirección registra valores constantes entre los días 09 y 18 de enero, los otros parámetros presentan variaciones características de su respectivo comportamiento.

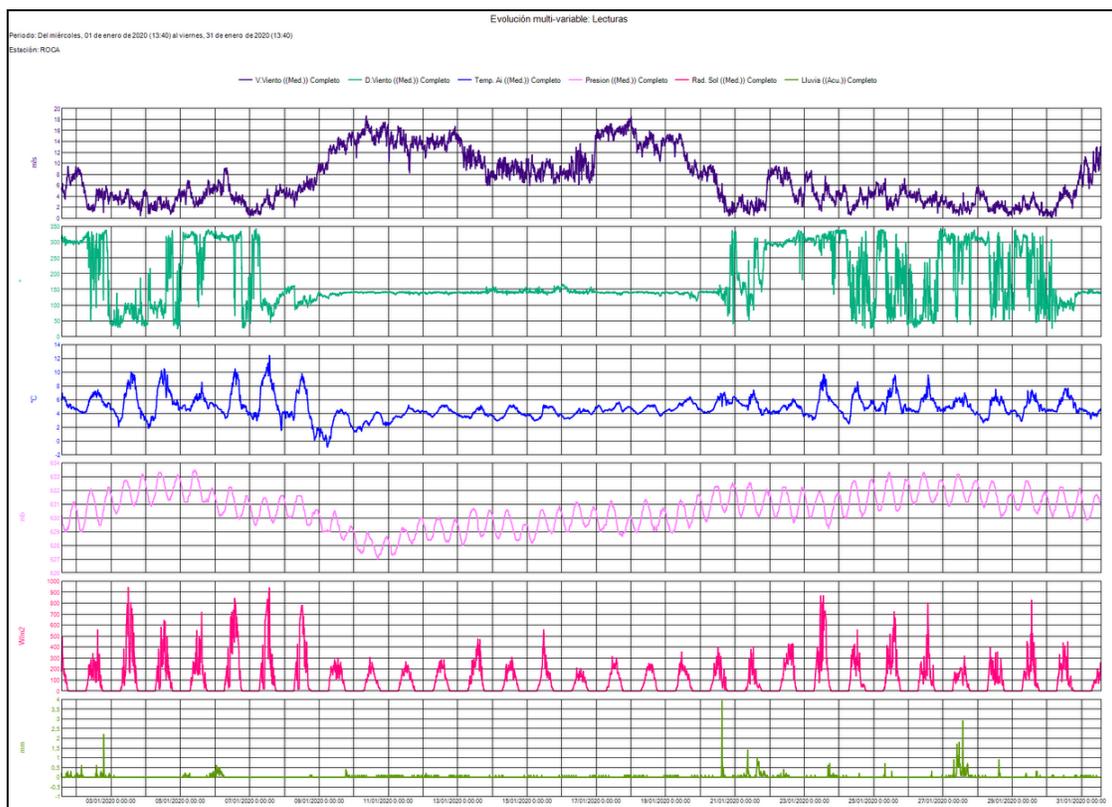


Figura 88. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán AzufraI – Enero 2020

Tabla 26. Datos parámetros estación climatológica La Roca – Enero 2020

	V. Viento (Med.) (m/s) Completo	D. Viento (Med.) (°) Completo	Temp. Ai (Med.) (°C) Completo	Presión (Med.) (mb) Completo	Rad. Sol (Med.) (W/m2) Completo	Lluvia (Acu.) (mm) Completo
Med.	7,09	176,60	4,83	630,58	91,62	0,03
Máx.	18,64	344,20	12,44	633,49	943,18	3,93
Mín.	0,10	24,75	-0,88	627,03	0,01	0,00
Acu.	--	--	--	--	--	115,14

4.2.6 Actividad Superficial

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

ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 06, 07, 08, 20, 21, 23, 26 y 28 de enero 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 Azufral.

En las Figura 89 a 92 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



Figura 89. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 06 de enero de 2020 a las 06: 33 p.m., (izquierda) y el 07 de enero de 2020 a las 07: 43 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 08 de enero de 2020 a las 03: 33 p.m., (izquierda) y el 20 de enero de 2020 a las 04: 28 p.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 21 de enero de 2020 a las 09: 53 a.m., (izquierda) y el 23 de enero de 2020 a las 08: 53 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán en ellas se observa tenues emisiones de gs de color blanco y baja altura, desde algunos campos fumarolicos del domo mallama

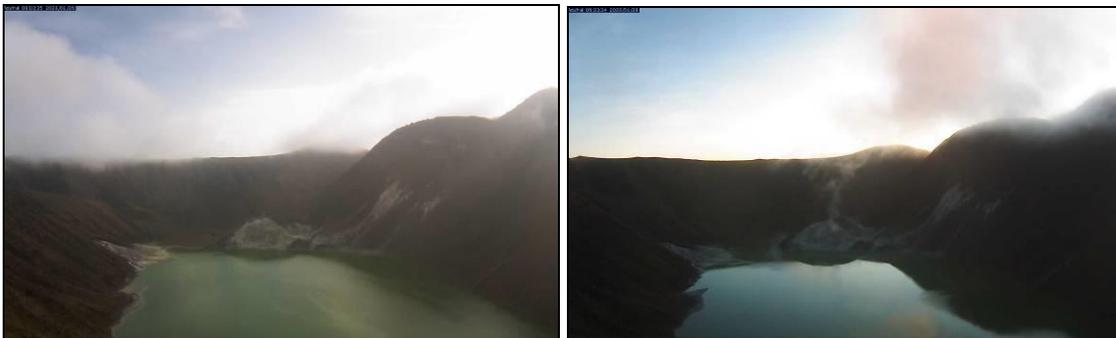


Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 26 de enero de 2020 a las 08: 03 a.m., (izquierda) y el 28 de enero de 2020 a las 06: 33 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

Para el periodo evaluado se observan incrementos en la variable velocidad del viento, y valores constantes en la dirección, los otros parámetros registran variaciones características de su respectivo comportamiento.

Dentro de niveles bajos, en enero 2020 la sismicidad en la zona de influencia del volcán AzufraI disminuyó su ocurrencia y energía, en su mayoría asociada con fractura de material cortical (VT) con ML máxima de 1.4 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de AzufraI en enero 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, AzufraI, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de diciembre de 2019 y enero 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>