



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL
ENERO 2019***

San Juan de Pasto, febrero de 2019



**GOBIERNO
DE COLOMBIA**



MINMINAS

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
Viviana Burbano Ruales

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

1	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2019	18
1.1	Red de Vigilancia	18
1.2	Sismología	23
1.3	Deformación	28
1.3.1	Inclinometría Electrónica	28
1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	33
1.3.3	Medición Electrónica de Distancias - EDM	36
1.4	Electromagnetismo	37
1.5	Geoquímica	42
1.5.1	Muestreo de Gases de Origen Volcánico en el Volcán Galeras	42
1.5.1.1	Concentración de gas radón difuso en el suelo	42
1.5.1.2	Estaciones Térmicas	44
1.5.1.3	Muestreo de aguas en fuentes termales-Volcán Galeras	46
1.5	Actividad Superficial	49
1.6	Conclusiones	52
2	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2019	54
2.1	Red de Vigilancia	54
2.2	Sismología	56
2.3	Deformación	60
2.4	Geoquímica	62
2.5	Actividad Superficial	64
2.6	Conclusiones	67
3	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – ENERO DE 2019	68
3.1	Ubicación Geográfica	68
3.2	Red de Vigilancia	68
3.3	Sismología	71
3.4	Deformación	75
3.5	Geoquímica	76
3.5.1	Registro de temperatura – Estaciones térmica Termales Volcán Chiles	76
3.5.2	Muestreo de aguas en fuentes termales - Volcán Chiles	78
3.6	Actividad Superficial	81
3.7	Conclusiones	81
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2019	82
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juan y las Ánimas	83
4.1.1	Red de Vigilancia	83
4.1.2	Sismología	85

4.1.3	Deformación	87
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	87
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	89
4.1.4	Geoquímica	91
4.1.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	91
4.1.5	Actividad Superficial	95
4.1.6	Conclusiones	95
4.2	Actividad del Volcán Azufral	96
4.2.1	Red de Vigilancia	96
4.2.2	Sismología	98
4.2.3	Deformación	100
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	100
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	102
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	103
4.2.4	Electromagnetismo	103
4.2.5	Geoquímica	108
4.2.5.1	Estación Térmica Mallama Volcán Azufral	108
4.2.5.2	Estación Climatológica La Roca	110
4.2.6	Actividad Superficial	112
4.2.7	Conclusiones	115
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

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 2019	20
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2019	20
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia enero de 2019	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2019	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre de 2018 y enero de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe	24
Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero de 2019	25
Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre de 2018 y enero de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe	26
Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para enero de 2019	26
Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, enero de 2019	27
Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019	29
Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 31 de enero de 2019	29
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 2018 y el 31 de enero de 2019	30
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 2017 y el 31 de enero de 2019	30
Figura 14. 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 2018 y el 6 de enero de 2019	31

Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019	31
Figura 16. 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 2019	32
Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2019	32
Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de enero de 2019	33
Figura 19. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de enero de 2019	34
Figura 20. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica	35
Figura 21. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 y el 31 de enero de 2019. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada	36
Figura 22. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético en Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y Kourou (negra); para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del campo magnético, para las series de tiempo, está dada en nano Teslas (nT)	37
Figura 23. CMT-F, en las estaciones de Frailejón, Deformes y Kourou, para enero de 2019, en comparación con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo	38
Figura 24. Frecuencias dominantes de los registros magnéticos, donde se identifican las frecuencias dominantes del CMT-F, de 4. días, un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, enero, 2019	39
Figura 25. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones Frailejón, Deformes y Kourou, en enero, 2019, comparados con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, llamados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo	40
Figura 26. CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, Frailejón (verde), para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019, comparado con la estación pluviométrica de la zona. La escala de medición del CEH está en milivoltios mV y el pluviómetro en mm	40

Figura 27. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras Frailejón), para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltios (mV)	41
Figura 28. Frecuencias dominantes de los registros de monitoreo eléctrico para la estación de Frailejón en el volcán Galeras. Se identifican frecuencias dominantes que no son propias de este tipo de registros	41
Figura 29. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, Frailejón (negro), filtrando las variaciones seculares externas, para enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)	42
Figura 30. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras	43
Figura 31. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estaciones Lirios-enero 2019	44
Figura 32. Temperatura fumarola El Paisita-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – enero de 2019	45
Figura 33. Temperatura fumarola Deformes-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – enero de 2019	46
Figura 34. Variación concentración aniones FT Agua Blanca- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019	47
Figura 35. Variación concentración aniones FT Licamancha- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019	48
Figura 36. Variación concentración aniones FT Río Pasto- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019	48
Figura 37. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 8 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 07: 14 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06: 48 p.m. (Derecha)	49
Figura 38. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 9 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 54 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06: 49 a.m. (Derecha)	49
Figura 39. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 11 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 07: 39 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06: 18 p.m. (Derecha)	50
Figura 40. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 12 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 30 p.m., (izquierda) y Bruma a las 06: 32 p.m. (Derecha)	50
Figura 41. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 13 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 19 a.m., (izquierda) y Bruma a las 05: 56 a.m. (Derecha)	50

Figura 42. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 15 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 32 p.m., (izquierda) y Bruma a las 06 :48 p.m. (Derecha)	51
Figura 43. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 17 de enero de 2019 desde la cámara ubicada en el sector de Barranco a las 05: 46 p.m., (izquierda) y a las 06: 01 p.m. (Derecha)	51
Figura 44. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 22 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 06: 05 p.m., y Bruma el día 25 de enero (derecha) a las 10:19 a.m.	51
Figura 45. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 28 de enero de 2019 desde la cámara ubicada en el sector de Bruma a las 06: 18 a.m., (izquierda) y a las 06: 20 a.m. (Derecha)	52
Figura 46. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 29 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 07: 27 a.m., y Barranco el día 30 de enero de 2019 (derecha) a las 02: 56 p.m.	52
Figura 47. 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 2019	55
Figura 48 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 2019	55
Figura 49. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2019	56
Figura 50. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	57
Figura 51. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero de 2019	57
Figura 52. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR de enero 3 de 2019 en las componentes verticales de las estaciones La Mesa y Limones del CVC	58
Figura 53. Localizaciones de VT registrados en enero de 2019 en el CVC	59
Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) 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 2017 y el 31 de enero de 2019	60
Figura 55. 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 2019	61

Figura 56. 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 2019	61
Figura 57. 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 abril de 2018 y el 31 de enero de 2019	62
Figura 58. Variación concentración aniones FT Hueco Grande- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	63
Figura 59. Variación concentración aniones FT Zapatero- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	63
Figura 60. Variación concentración aniones FT Salado de Cuetial- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	64
Figura 61. Imágenes de emision de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 9 de enero de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 06:35	65
Figura 62. Imágenes de emision de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 11 de enero de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 09:00 a.m	65
Figura 63. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 11 de enero de 2019 a las 04:04 p.m., (Izquierda) y el 13 de enero a las 03: 47 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	66
Figura 64. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 17 de enero de 2019 a las 09:44 p.m., (Izquierda) y a las 10: 06 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	66
Figura 65. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 26 de enero de 2019 a las 01:36 a.m., (Izquierda) y el día 28 de enero de 2019 a las 02: 16 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	66
Figura 66. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 29 de enero de 2019 a las 06:17 p.m., (Izquierda) y el 31 de enero de 2019 a las 06: 34 a.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	67
Figura 67. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	68
Figura 68. 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 2019	69

Figura 69. 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 2019	71
Figura 70. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo durante diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado	72
Figura 71. Energía diaria de sismos VT durante diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno gris resalta el periodo evaluado	73
Figura 72. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero de 2019	74
Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2019	75
Figura 74. 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 2018 y el 31 de enero de 2019	76
Figura 75. Mapa de localización de la estación térmica telemétrica Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles	77
Figura 76. Temperatura estación térmica Baño Grande-Volcán Chiles-enero 2019	78
Figura 77. Variación concentración aniones FT Aguas Hediondas- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	79
Figura 78. Variación concentración aniones FT Baño Grande- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	79
Figura 79. Variación concentración aniones FT Lagunas Verdes- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	80
Figura 80. Variación concentración aniones FT El Rincón más Bello- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	80
Figura 81. 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	82
Figura 82. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2019	84
Figura 83. 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 2019	85

Figura 84. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	86
Figura 85. Sismos VT localizados en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, en enero de 2019	87
Figura 86. 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 2018 y el 31 de enero de 2019	88
Figura 87. 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 septiembre de 2017 y el 31 de enero de 2019	88
Figura 88. 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 mayo de 2018 y el 12 de enero de 2019	89
Figura 89. 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 de 2017 y el 12 de enero de 2019	90
Figura 90. Registros del GNSS Palma (superior) e inclinómetro electrónico Petroglifo (inferior), donde se resalta el cambio en las componentes de las dos estaciones en septiembre de 2018	91
Figura 91. Variación concentración aniones FT Tajumbina - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	93
Figura 92. Variación concentración aniones FT Ánimas I - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	93
Figura 93. Variación concentración aniones FT Ánimas III - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	94
Figura 94. Variación concentración aniones FT El Silencio- Volcán Doña Juana (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	94
Figura 95. Variación concentración aniones FT La Vega - Volcán Doña Juana (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019	95
Figura 96. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufra durante el mes de enero de 2019	97
Figura 97. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufra en el mes de enero de 2019	97
Figura 98. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante enero de 2019	98

Figura 99. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufra, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	99
Figura 100. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufra, en enero de 2019	100
Figura 101. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019	101
Figura 102. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2018 y el 7 de enero de 2019	101
Figura 103. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 12 de enero de 2019	102
Figura 104. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 26 de junio de 2017 y el 12 de enero de 2019	103
Figura 105. Registro de la componente total del Campo Magnético Terrestre Total (F), en la estación de monitoreo magnético en Azufra, Lobo (naranja) y Kourou (negra); para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del CMT (F) está dada en nano Teslas (nT)	104
Figura 106. CMT-F, en las estaciones Lobo y Kourou, en enero, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo	105
Figura 107. Frecuencias dominantes de los registros magnéticos, donde se identifican las frecuencias del CMT-F, menores a 4.5 días, y dominantes de un día, 1 hora y 8 horas, en las estaciones de Lobo y Kourou	105
Figura 108. CMT-F, filtrando las frecuencias menores a 4.5 días y de un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de Lobo y Kourou, en enero, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, Kp (rojo), emitidas por el SWPC, para el mismo periodo	106
Figura 109. CEH, en la estación Lobo (naranja), para el periodo entre diciembre, 2018 a enero, 2019, en comparación con el comportamiento de las lluvias en la zona del volcán Azufra (Pluviómetro – azul). La escala de medición de Lobo está en milivoltios (mV) y del pluviómetro en mm	106
Figura 110. Variaciones del CEH, en la estación de Lobo, para el mes de enero, 2019. La escala de medición está dada en milivoltio (mV)	107
Figura 111. Frecuencias dominantes del registro eléctrico de la estación Lobo, en el volcán Azufra	107
Figura 112. Variaciones propias del CEH, en las estaciones de monitoreo eléctrico Lobo, en el volcán Azufra, para enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)	107

Figura 113. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral	108
Figura 114. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral – enero 2019	109
Figura 115. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – enero 2019	111
Figura 116. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 8 de enero de 2019 a las 09: 45 a.m., (izquierda) y el 9 de enero de 2019 a las 12: 05 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	112
Figura 117. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 11 de enero de 2019 a las 09: 50 a.m., (izquierda) y el 12 de enero de 2019 a las 07: 35 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	113
Figura 118. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 13 de enero de 2019 a las 06: 05 a.m., (izquierda) y el 14 de enero de 2019 a las 02: 25 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	113
Figura 119. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 15 de enero de 2019 a las 04: 40 p.m., (izquierda) y a las 05: 45 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	113
Figura 120. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 25 de enero de 2019 a las 01: 40 p.m., (izquierda) y el día 28 de enero de 2019 a las 08: 20 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	114
Figura 121. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 28 de enero de 2019 a las 08: 15 a.m., (izquierda) y a las 08: 25 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	114
Figura 122. Imagen de la zona norte del volcán Azufral, tomada el 1 de octubre de 2018 por el sensor WorldView 2	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en enero de 2019	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2019	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2019	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2019	22
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	22
Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	23
Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras en diciembre de 2018 y enero de 2019	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras en diciembre de 2018 y enero de 2019	25
Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 2.4 grados, volcán Galeras, enero de 2019	28
Tabla 10. Valores de concentración de radón en la estación Los Lirios –Volcán Galeras–enero 2019	44
Tabla 11. Valores de temperatura en Fumarola El Paisita del área de influencia del volcán Galeras – enero 2019	45
Tabla 12. Valores de temperatura en Fumarola Deformes del área de influencia del volcán Galeras – enero 2019	46
Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2019	54
Tabla 14. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC durante diciembre de 2018 y enero de 2019	56
Tabla 15. Sismos con ML mayor o igual a 1.5 registrados en el CVC en enero de 2019	59
Tabla 16. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	69
Tabla 17. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	70
Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
Tabla 19. Energía de eventos VT, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	72

Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 2.7 registrados en Chiles - Cerro Negro en enero de 2019	74
Tabla 21. Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles	77
Tabla 22. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – enero 2019	78
Tabla 23. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2019	83
Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	85
Tabla 25. Sismo con ML 1.0 registrado en enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	86
Tabla 26. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de enero de 2019	98
Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en diciembre de 2018 y enero de 2019 en Azufral	99
Tabla 28. Sismos con ML mayor o igual a 1.2 registrados en enero de 2019 en la zona de influencia del volcán Azufral	99
Tabla 29. Ubicación geográfica Estación Mallama del área de influencia del volcán Azufral	109
Tabla 30. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – enero 2019	109
Tabla 31. Datos parámetros estación climatológica La Roca - enero 2019	111

RESUMEN

Para el periodo evaluado se mantienen los niveles de ocurrencia para Galeras, similares a los reportados en meses anteriores, con un total para enero de 67 sismos, 66 asociados con fractura de roca, en su mayoría ubicados hacia el noreste del cráter principal, en general las profundidades estuvieron entre 0.7 y 14 km y la magnitud local máxima fue de 3.5 en la escala de Richter. Se destacan dos sismos VT sentidos en la ciudad de Pasto y alrededores, el primero registrado el 24 de enero con ML de 3.5 y el segundo sismo, el 26 de enero y ML de 2.4 en la escala de Richter.

La sismicidad en el complejo volcánico de Cumbal mostró un descenso del 27% en su ocurrencia pasando de 1724 a 1253 eventos en comparación con el mes de diciembre de 2018. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán con 625 eventos que representan el 50% del total. La mayoría se ubicaron en inmediaciones de la cima del complejo volcánico hacia el sector noroccidental, a distancias entre cero y 4.5 km con respecto a La Plazuela, ML máxima de 1.8 y profundidades menores de 10 km. Fue posible observar emisiones de gases, de color blanco y dispersión variable por acción de los vientos, provenientes principalmente desde el campo fumarólico El Verde (sector noreste).

En los volcanes Chiles y Cerro Negro se observó un descenso en la ocurrencia, pasando de 21244 a 18030 sismos, con respecto a diciembre de 2018. Continúa el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán con 18014 sismos que representan el 99.9% del total de eventos, además, fueron clasificados 5 sismos como LP y 11 sismos como HIB. La mayoría de los sismos ubicados hacia el suroccidente de la zona de influencia del volcán Chiles; otros pocos hacia el suroriente, la ML alcanzada fue de 3.2 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica en enero para la región de influencia de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral muestra niveles bajos, tanto en ocurrencia como en la energía liberada, predominando la sismicidad asociada a fractura de material rocoso.

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 2019

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de enero de 2019 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 91 % (Figura 4). La estación para monitoreo de Dióxido de Azufre SO₂ Santa Bárbara fue reinstalada en el sector conocido como Barranco el día 26 de enero, fecha desde la cual se encuentra funcionando correctamente. No se tiene registro de datos de las estaciones para monitoreo de Dióxido de Azufre SO₂ Alto Tinajillas y Alto Jiménez debido a daños en la repetidora Alto de la Palma, los cuales requieren de una intervención física en la zona. Las estaciones para monitoreo de gas radón Lavas y Lirios presentaron bajos porcentajes de funcionamiento debido a problemas de hardware en la tarjeta digitalizadora. La estación Arlés presentó pérdida de información esporádica por problemas de radioenlace, los cuales fueron resueltos de manera remota. La estación multiparámetro Cráter (Sísmica, acústica, meteorológica, GNSS y repetidora) salió de funcionamiento el día 3 de enero debido a daños por tormenta eléctrica en la zona, se han realizado trabajos de campo de manera progresiva para lograr recuperar el registro total de este emplazamiento, y actualmente solo se necesita la reinstalación de la estación meteorológica para recuperarla en su 100%, los demás equipos ya se encuentran funcionando con normalidad.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en enero de 2019

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	4,4	SW	3977
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	6,9	WSW	2313
Morasurco	MORZ	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	13,7	ENE	3504
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,7	E	4227
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,4	ENE	3828
Cráter	CRAZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,5	SW	4032
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,4	ESE	3494
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	3450
Cobanegra	COB3	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,3	SSE	3625
Nariño-2	NR2Z	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,2	NNW	2856
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,4	SE	3021
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7	WNW	2890
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,6	SW	3491
Tosoabí	TOSZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	10,6	ENE	2898
Cóndor	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Uniaxial	4,4	SW	3977
Cráter	CRAC	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	1,5	S	4032
Calabozo	CAMI	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	6,9	WSW	2313

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2019

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 2019

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

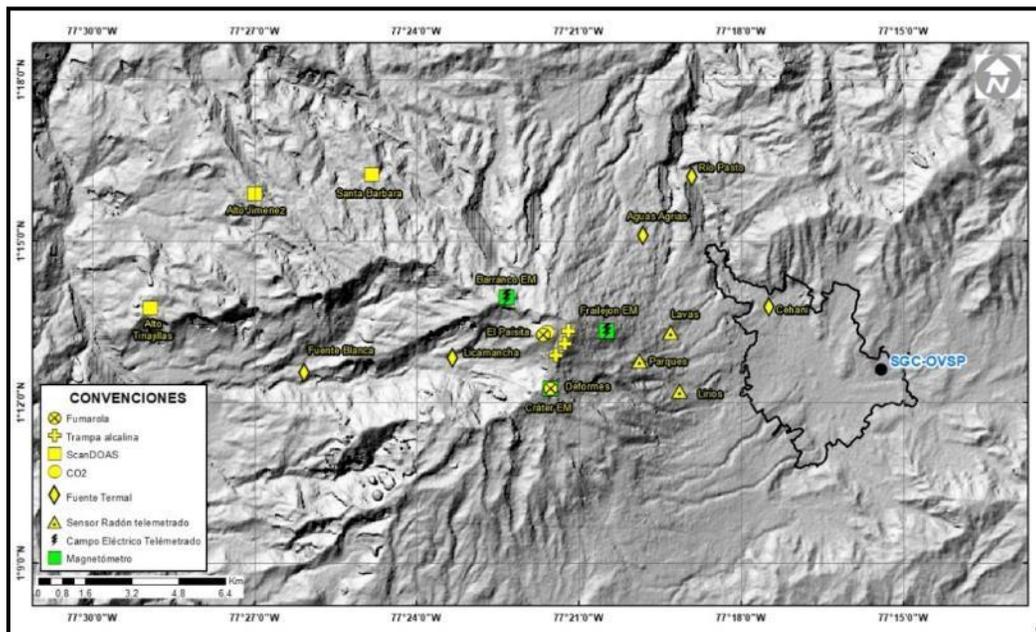


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia enero de 2019

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2019

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

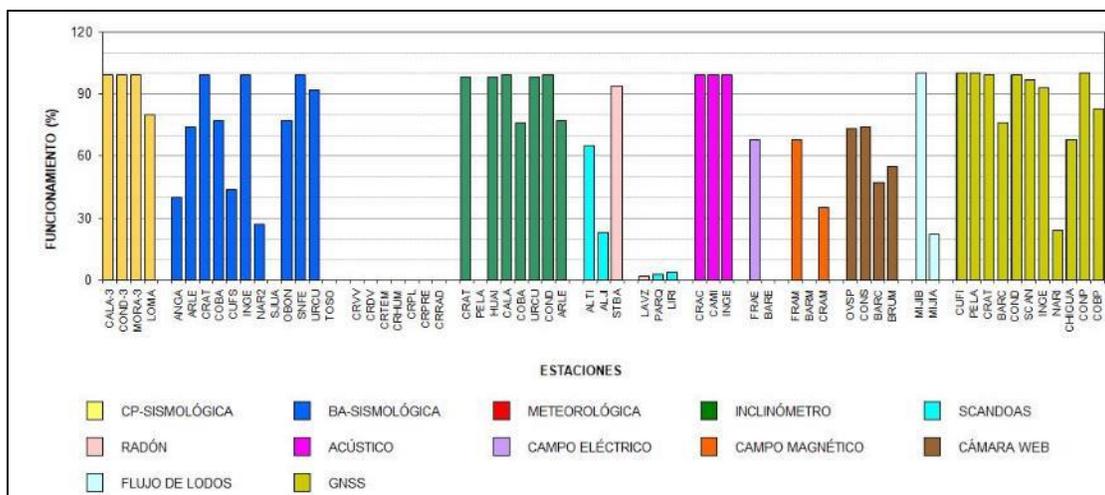


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2019

1.2 Sismología

En enero de 2019 la sismicidad volcánica incrementó su número un 24%, pasando de 54 a 67 eventos, en comparación con diciembre de 2018. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 66 sismos que representan el 99% del total. La sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) registró 1 evento que representa el 1%. No se registraron eventos que involucran fractura de roca seguida por tránsito de fluidos o de tipo híbrido (HIB), ni tampoco episodios de temblor o eventos de fluidos de fuente permanente (TRE). Los sismos de tipo VT incrementaron su número un 38%, pasando de 48 a 66 eventos; los sismos de tipo LP disminuyeron un 75%, pasando de 4 eventos a 1. El pico de ocurrencia sísmica diaria fue de 8 eventos, todos ellos de tipo VT, registrado el día 27 de enero (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras en diciembre de 2018 y enero de 2019

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre de 2018	48	4	0	2	54
Enero de 2019	66	1	0	0	67

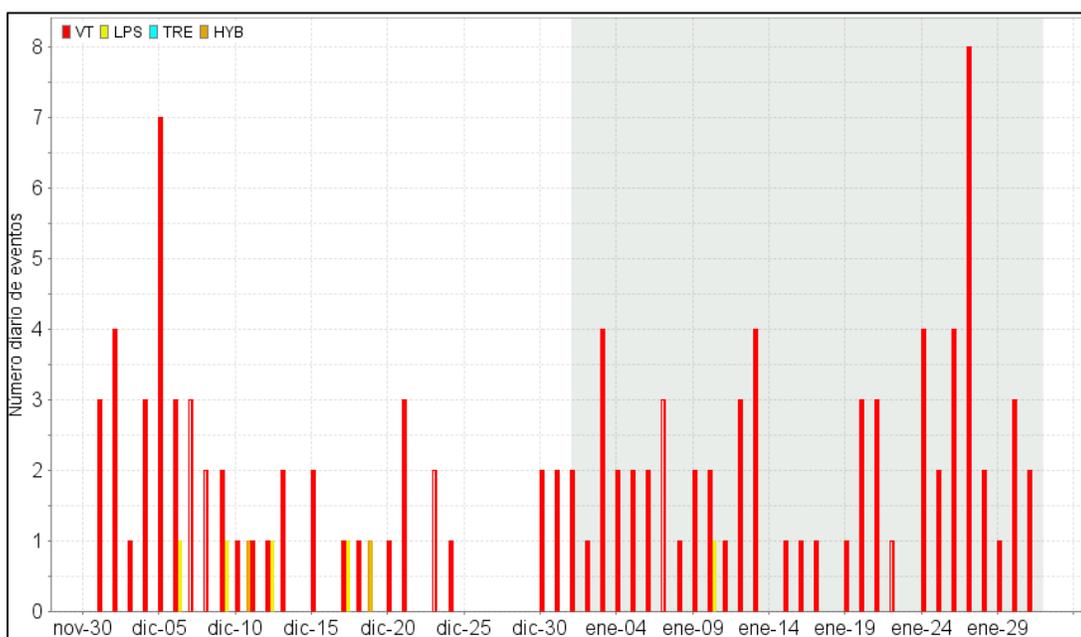


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre de 2018 y enero de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe

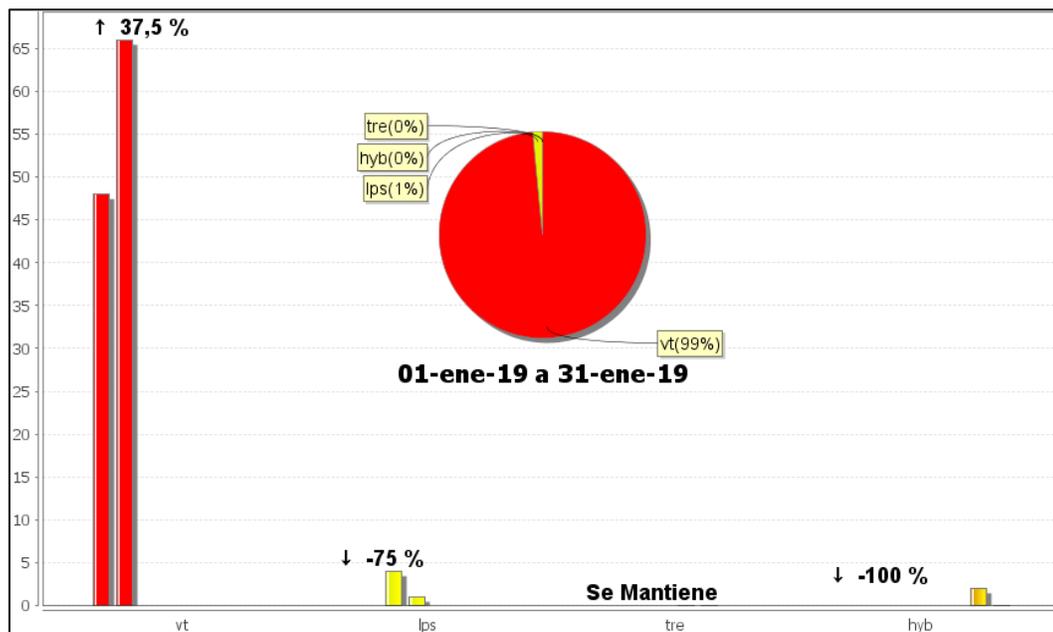


Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero de 2019

La energía sísmica liberada en enero de 2019 mostró un incremento muy importante de dos órdenes de magnitud, multiplicando 288 veces su valor, pasando de 1.09×10^{11} ergios a 3.16×10^{13} ergios, en comparación con lo registrado en diciembre de 2018. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 98% de la energía sísmica del mes, seguida por la energía del LP con 5.81×10^{11} ergios, equivalente al 2%. Los sismos de tipo VT también incrementaron su energía en 2 órdenes de magnitud, multiplicando su valor 287 veces, pasando de 1.08×10^{11} ergios a 3.10×10^{13} ergios; los sismos de tipo LP incrementaron su energía en dos órdenes de magnitud, multiplicando su valor 521 veces, pasando de 1.11×10^9 ergios a 5.81×10^{11} ergios. El pico energético del mes se registró el 27 de enero con 1.80×10^{13} ergios, debida a los 8 eventos VT mencionados anteriormente (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras en diciembre de 2018 y enero de 2019

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre de 2018	1.08E+11	1.11E+09	0	2.67E+08	1.09E+11
Enero de 2019	3.10E+13	5.81E+11	0	0	3.16E+13

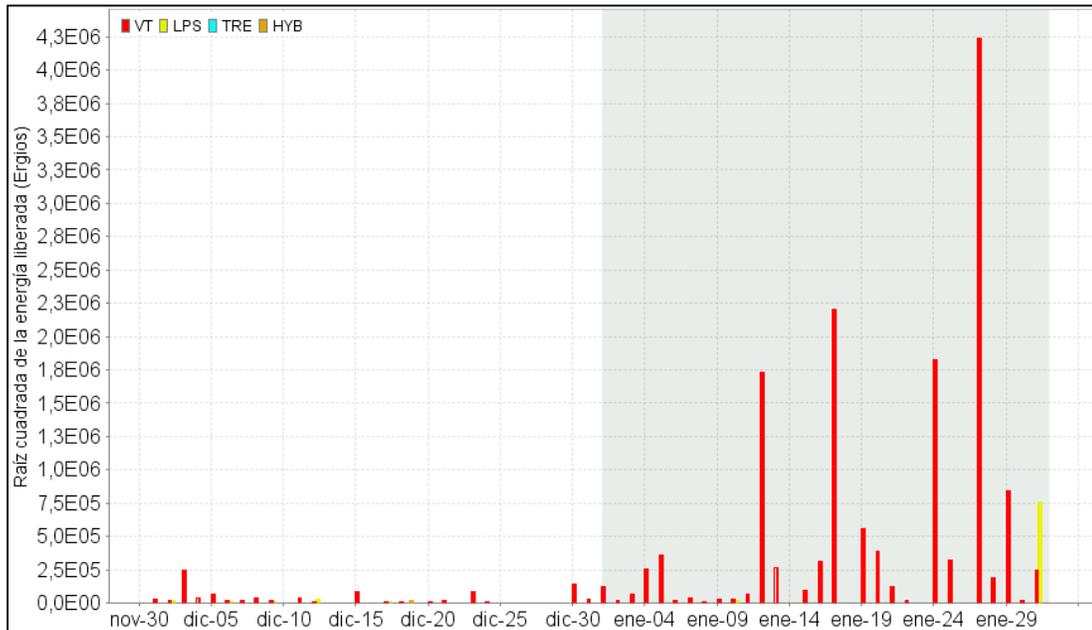


Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre de 2018 y enero de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe

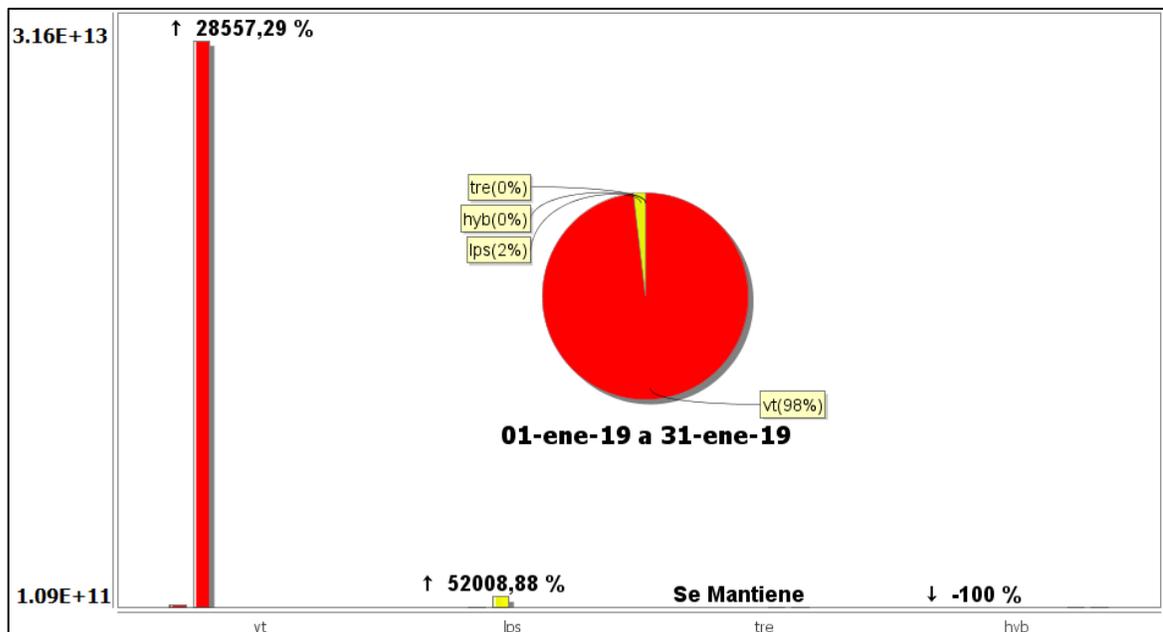


Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para enero de 2019

Fueron localizados 35 VT, la mayoría ubicados en el cuadrante noreste de la zona de influencia de Galeras y algunos pocos sismos se ubicaron de manera dispersa. En general los eventos se localizaron a distancias entre cero y 17 km, profundidades entre 0.7 y 14 km con respecto a su cima (4270 msnm) y su magnitud local máxima fue de 3.5 en la escala de Richter. Se destacan dos sismos VT sentidos en la ciudad de Pasto y alrededores, el primero se registró el 24 de enero a las 06:26 p.m. hora local, a 8 km al noreste del cono activo, con profundidad de 5 km y ML de 3.5; el segundo sismo se registró el 26 de enero a las 06:04 p.m. hora local, a 9 km al noreste del cono activo, con profundidad de 9 km y ML de 2.4 (Figura 9).

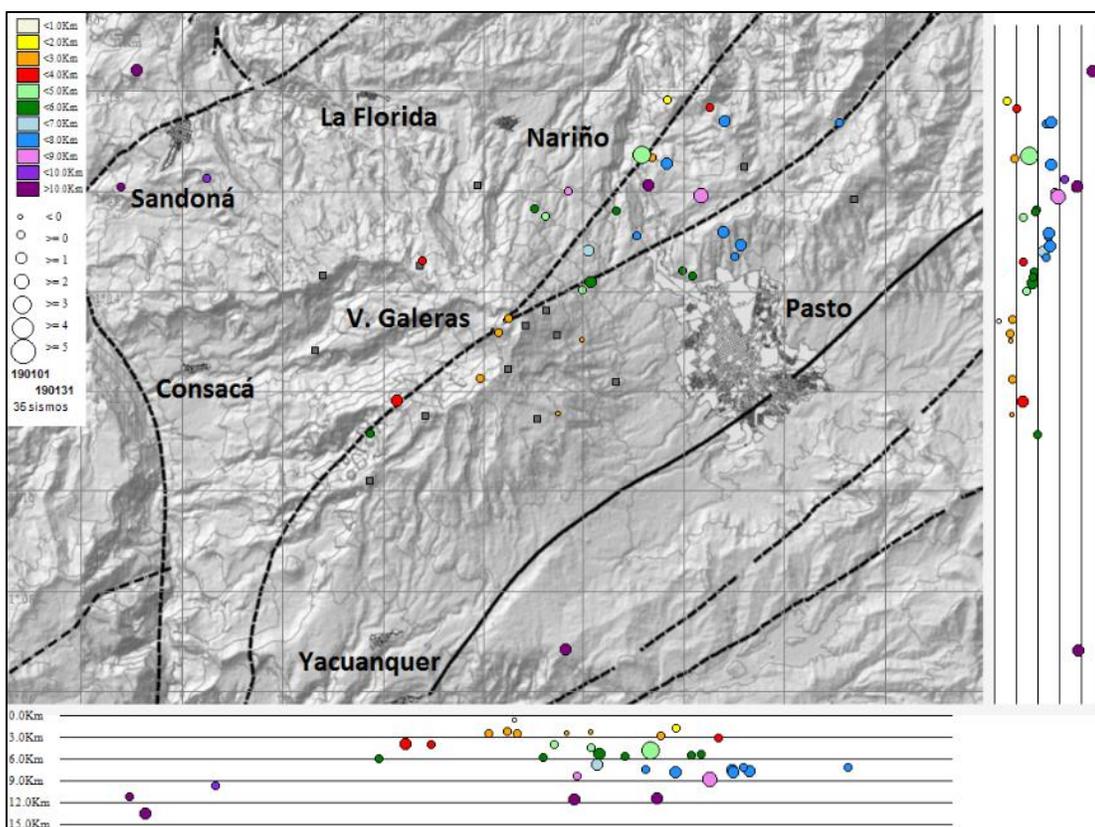


Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, enero de 2019

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan los dos sismos VT sentidos, con magnitud local igual o superior a 2.4 en la escala de Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características de localización.

Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 2.4 grados, volcán Galeras, enero de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
24/01/2019	18:26	1-16.72	77-18.84	4.9	3.5
26/01/2019	18:04	1-15.92	77-17.68	8.8	2.4

1.3 Deformación

Durante el mes de enero de 2019, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 12 estaciones GNSS Permanentes telemétricas, la última instalada el 14 de diciembre de 2018 (Mapachico – MAPP) hacia el sector nororiental del edificio volcánico.

1.3.1 Inclinometría Electrónica

Se evidencian comportamientos estables en las componentes de inclinación de las estaciones Arlés, Urcunina, Cóndor y Peladitos, con variaciones que pueden estar asociadas a la temperatura ambiente (Figuras 10, 11, 12, 13 y 14).

En Cobanegra (Figura 15), posterior al cambio registrado en noviembre de 2018, en la componente Norte (cerca de 80 urad) y su nivelación hacia finales de noviembre, hasta la fecha se observa estabilidad en esta componente al igual que en la Este.

La componente Radial del inclinómetro Huairatola continúan los comportamientos similares a los reportados en periodos anteriores, con una tendencia ascendente, acumulando hasta la fecha cerca de 40 urad, medidos desde enero de 2016. Por su parte la componente Tangencia, a partir de enero de 2018, mantiene una tendencia descendente, acumulando hasta la fecha cerca de 60 urad (Figura 16).

El inclinómetro Calabozo, desde medidos del 2015, mantiene en sus dos componentes tendencias descendentes, acumulando hasta la fecha cerca de 180 urad, en cada componente. Este inclinómetro se ha nivelado en diferentes ocasiones para verificar que esta tendencia se mantiene, lo que puede estar indicando que se asocia al registro de la deformación causada por cambios internos del volcán y no a efectos externos como la temperatura. (Figura 17).

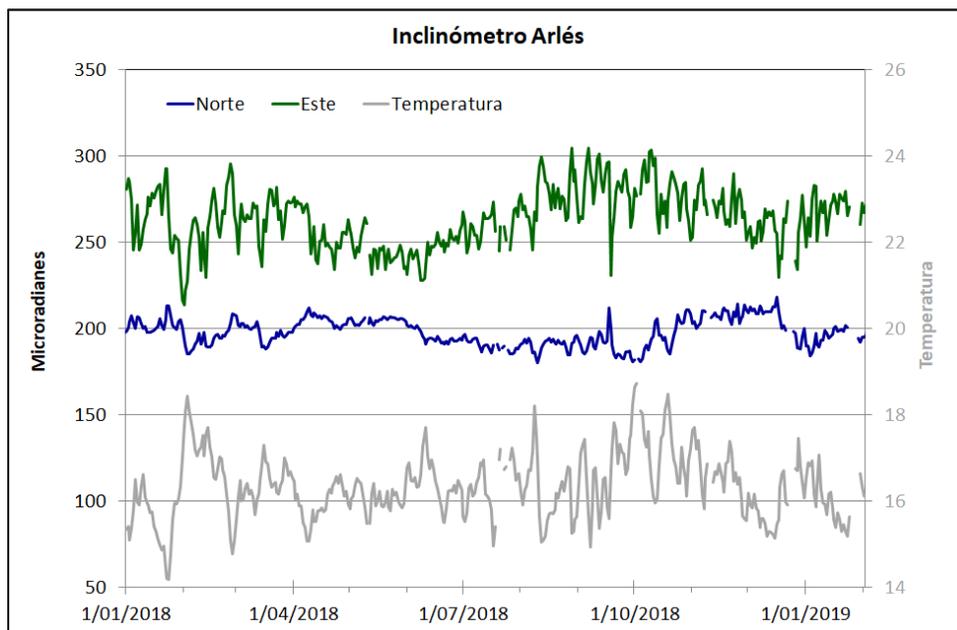


Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

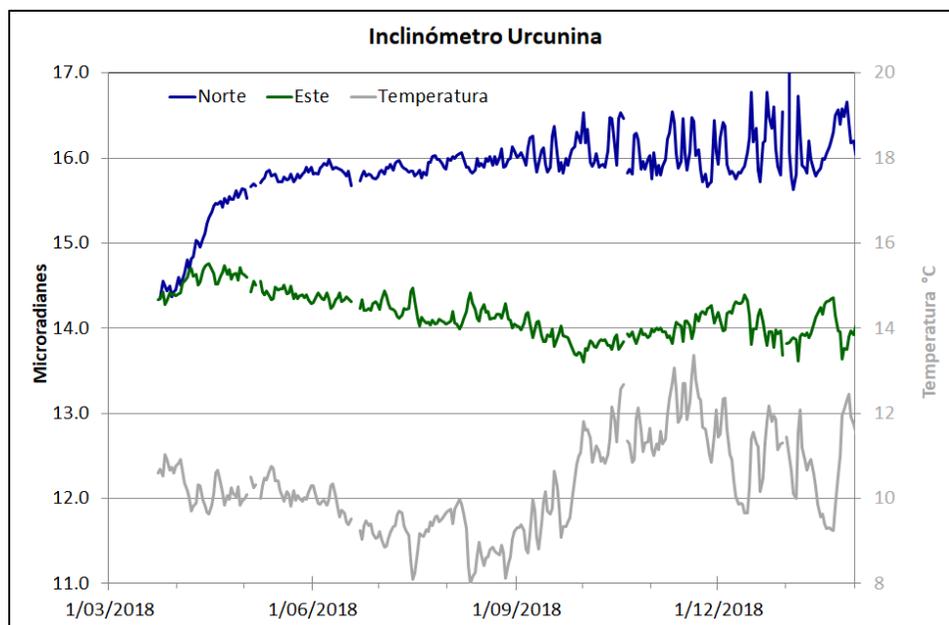


Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 31 de enero de 2019

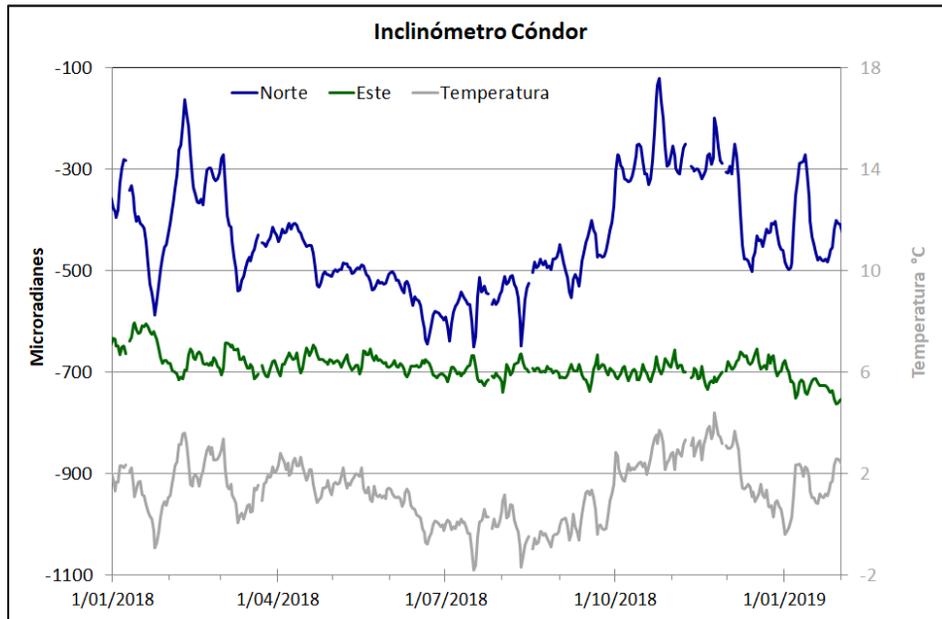


Figura 12. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

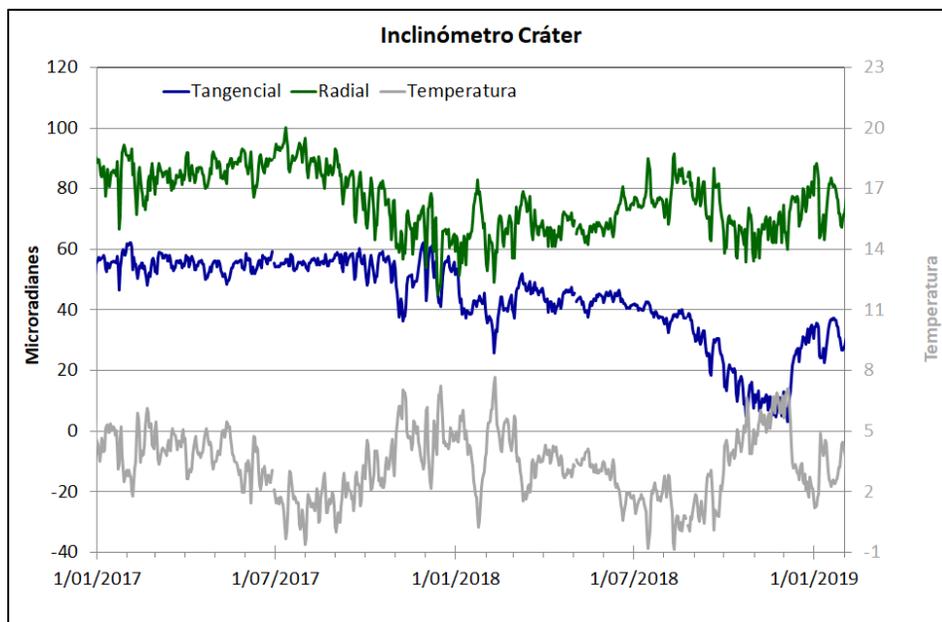


Figura 13. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de enero de 2019

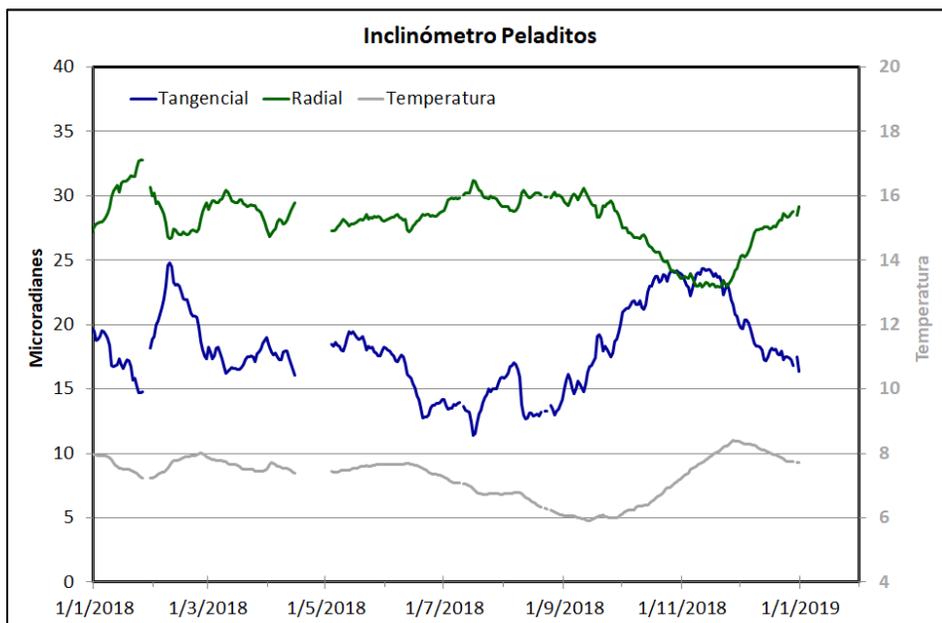


Figura 14. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 6 de enero de 2019

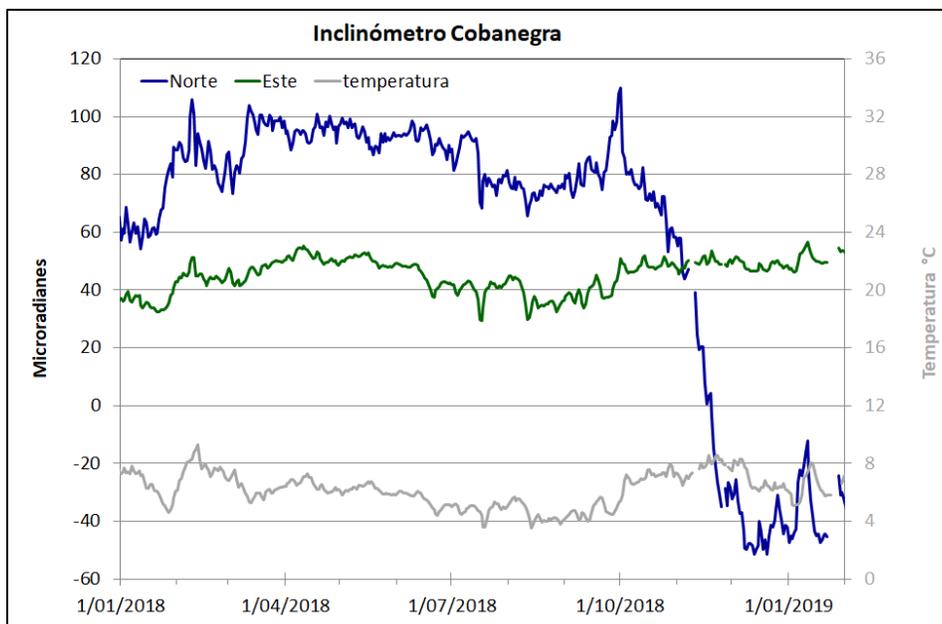


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

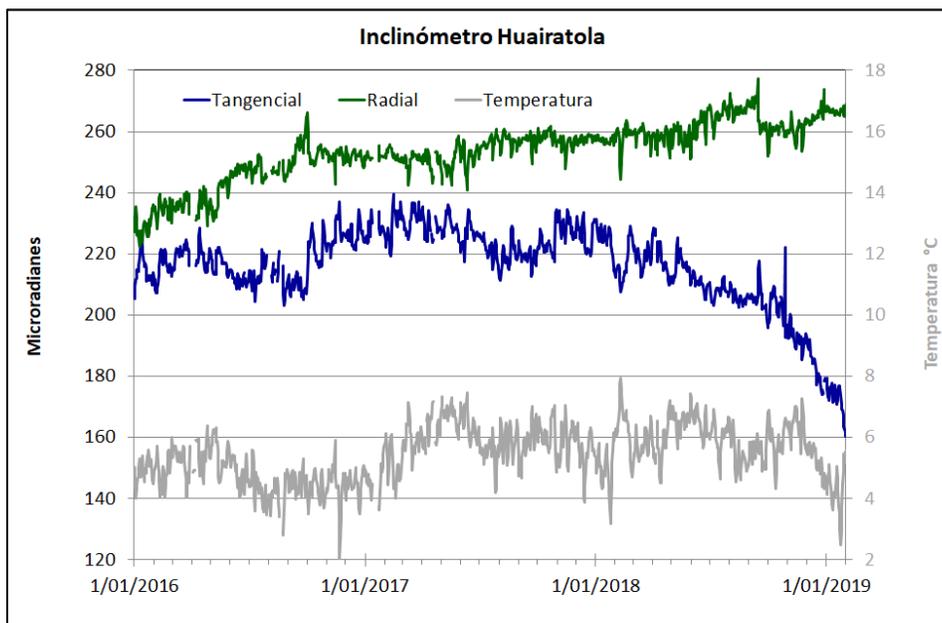


Figura 16. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2019

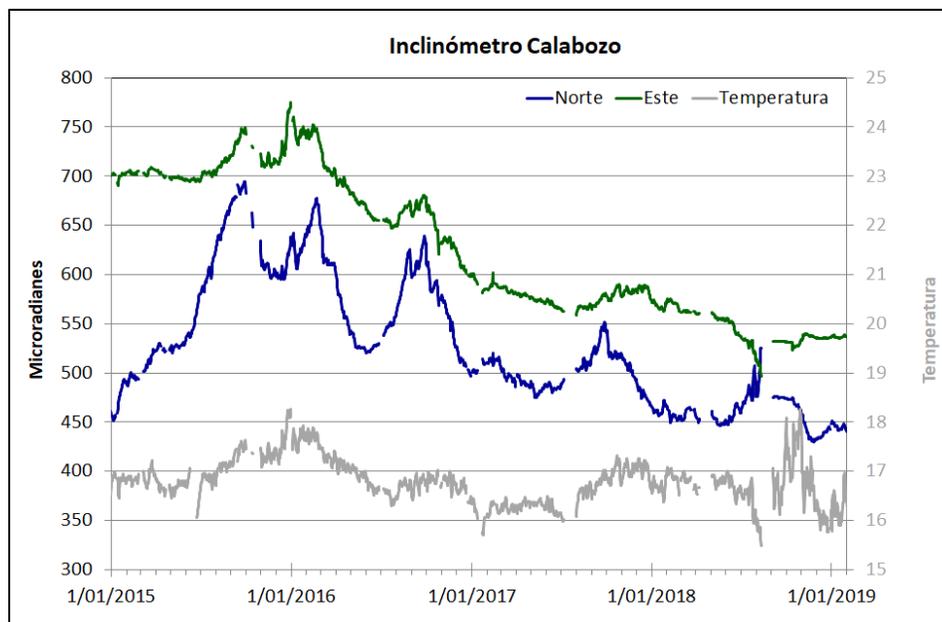


Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2019

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 12 estaciones permanentes, Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cándor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico.

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, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. La tendencia tectónica se remueve de los registros de la dirección Norte de las estaciones GNSS de la red en Galeras, 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, en las Figuras 18 y 19, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de los GNSS de San Cayetano y Cufiño.

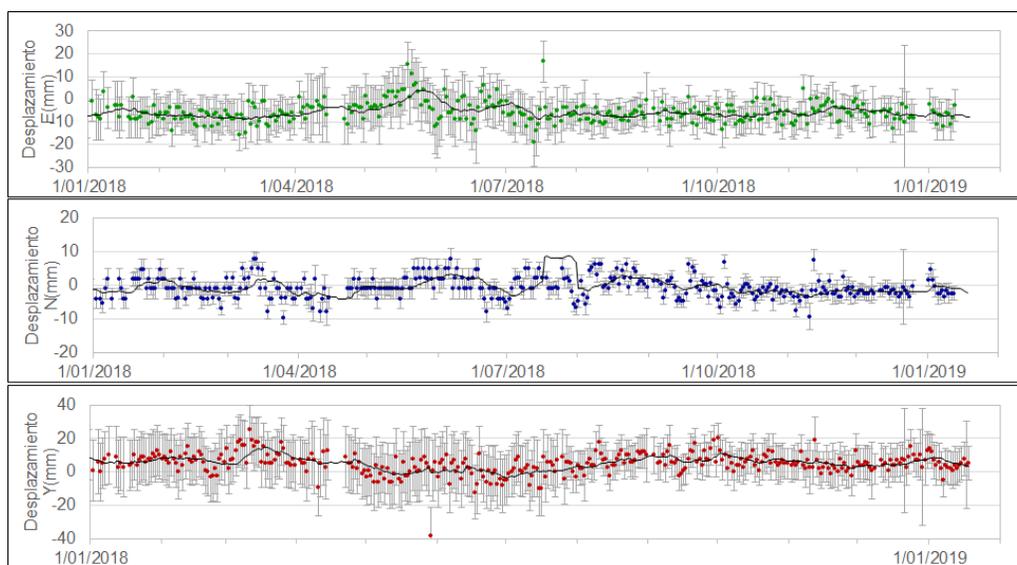


Figura 18. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de enero de 2019

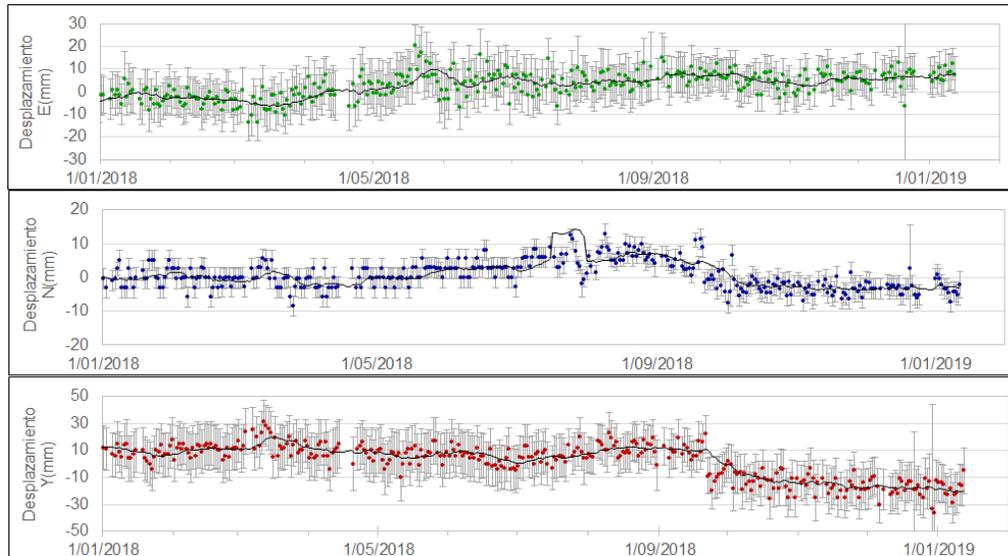


Figura 19. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de enero de 2019

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series de tiempo que nos indican la variación en distancia entre una y otra medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 20, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 21, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas.

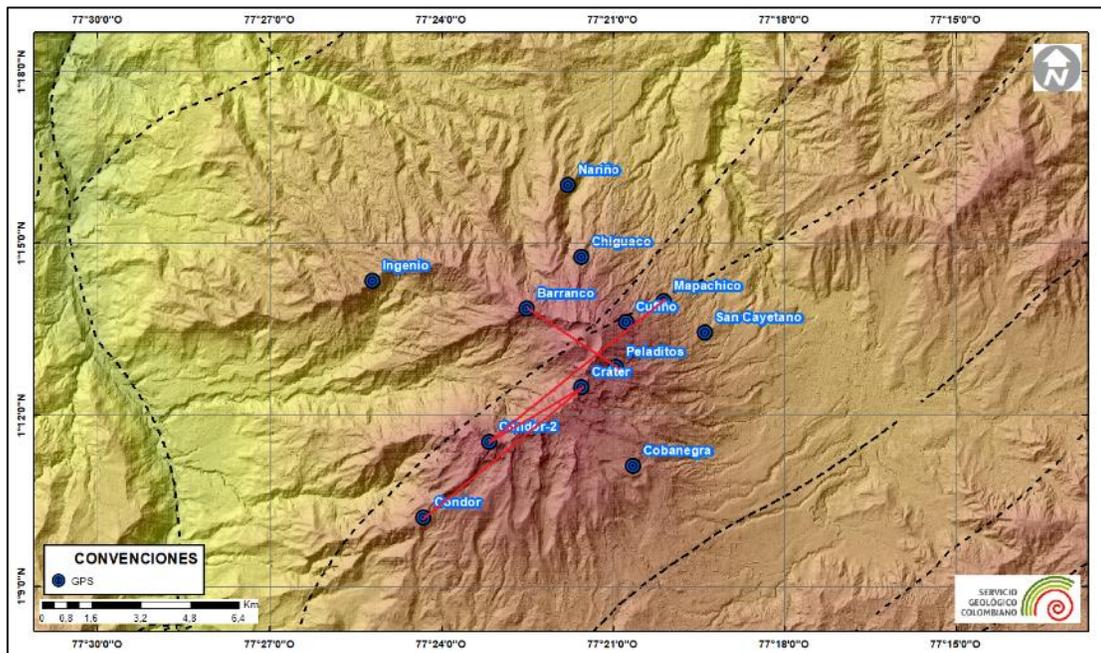


Figura 20. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica

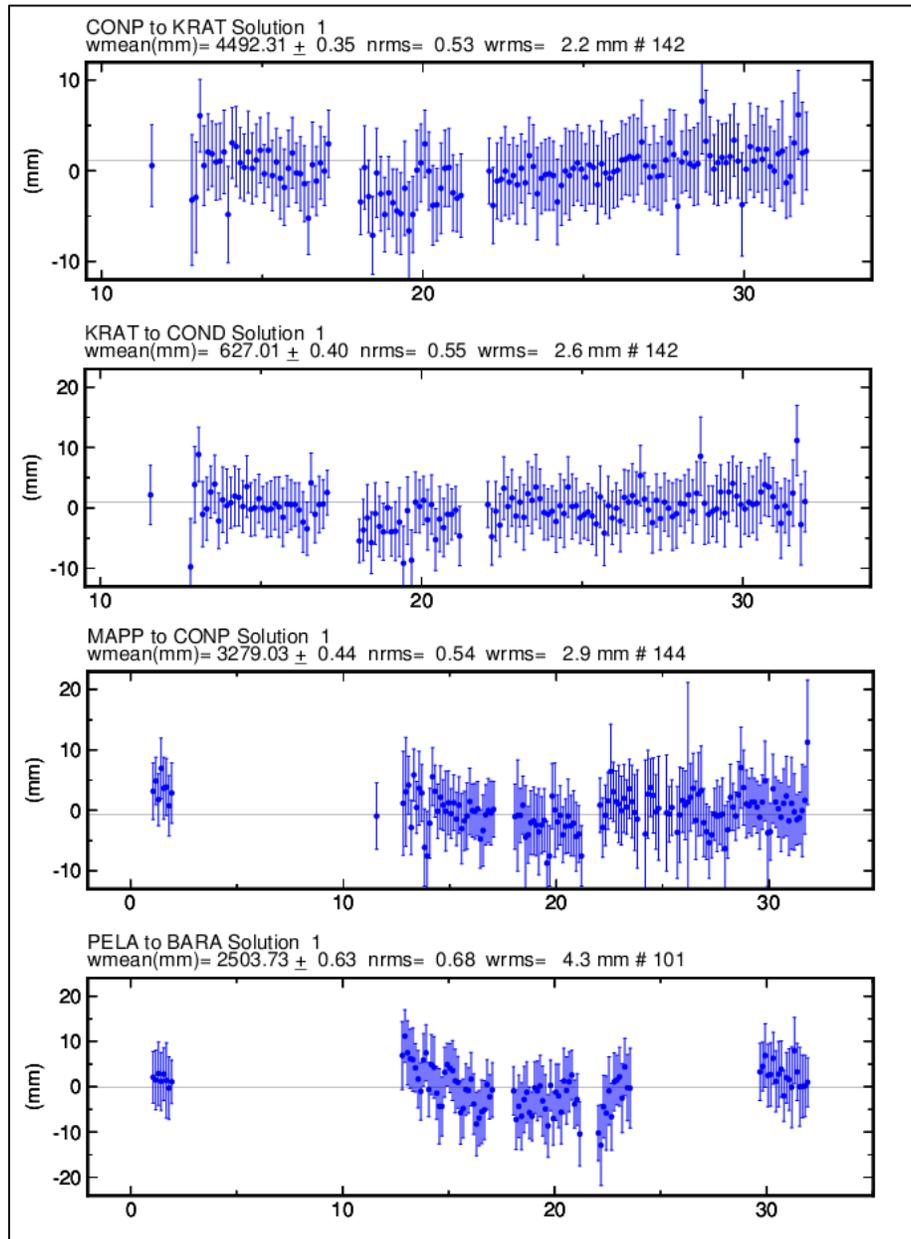


Figura 21. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 y el 31 de enero de 2019. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

No se realizaron mediciones electrónicas de distancias –EDM.

1.4 Electromagnetismo

La información de monitoreo electromagnética, en la zona de influencia del volcán Galeras, para el mes de enero de 2019, se analizó por medio de las estaciones de monitoreo continuo, Frailejón (FRA), que presentó problemas de registro algunos días del mes y Deformes (DEF), que dejó de funcionar el 14 de enero. La estación de Frailejón funciona con sensor triaxial para el monitoreo del campo magnético y con dos dipolos eléctricos para el monitoreo de las variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico; la estación de Deformes está dedicada al monitoreo de las variaciones del campo magnéticas. Los sensores magnéticos son de tipo fluxgate triaxiales y los dipolos eléctricos tienen longitud de 100 m.

La información entre diciembre, 2018 y enero de 2019 del Campo Magnético Total (CMT), fue registrada en las estaciones instaladas en la zona de influencia del volcán Galeras, y de la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia; estación tomada como referencia para el análisis de los datos magnéticos levantados por el OVS-Pasto. resalta en los registros, variaciones seculares día-noche, y variaciones con ciclos mayores debidas a la ocurrencia de tormentas magnéticas de diferente intensidad (Figura 22). Las estaciones muestran una tendencia general de estabilidad, resaltando las fluctuaciones propias de los efectos día-noche.

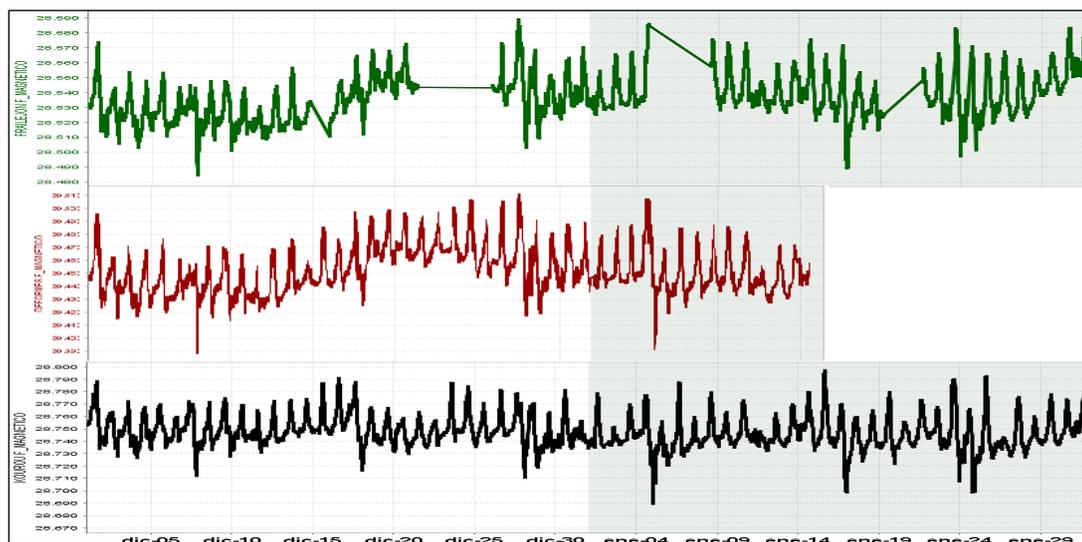


Figura 22. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético en Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y Kourou (negra); para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del campo magnético, para las series de tiempo, está dada en nano Teslas (nT)

Tomando el periodo específico de enero, 2019, las estaciones magnéticas mostraron una tendencia estable, con valores promedios del CMT de: 28.540 nT para Frailejón, 29.460 nT en Deformes y 28.740 nT en Kourou (Figura 22). Sin embargo, se observan variaciones mayores a los ciclos día-noche, debidas al registro de tormentas magnéticas, con máximos de intensidad de $K_p = 5$, los días 5, 24 y 31 de enero (Figura 23). Estas tormentas magnéticas generaron variaciones del CMT en cada estación, de alrededor de 100 nT. 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 23).

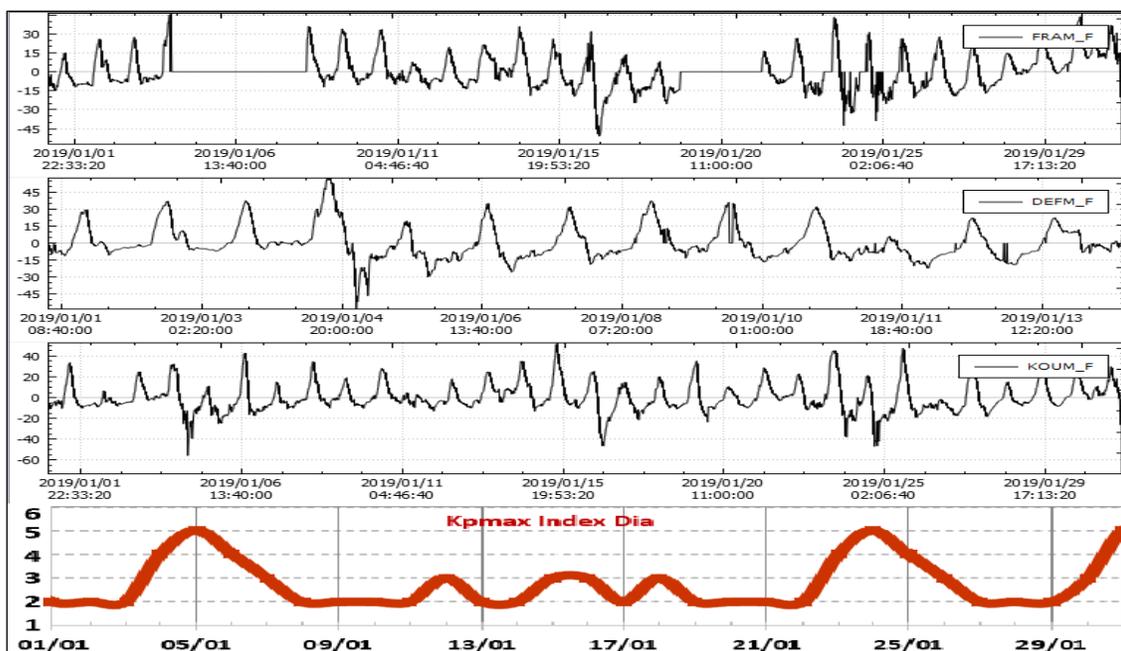


Figura 23. CMT-F, en las estaciones de Frailejón, Deformes y Kourou, para enero de 2019, en comparación con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices K_p (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo

Para efectos de eliminar las variaciones día-noche de los registros y poder evaluar las variaciones propias del campo en la zona, se realizó un análisis espectral de los registros magnéticos, donde se destacan frecuencias dominantes asociadas con las variaciones del campo magnético externo, con periodos mayores a 4 días, la variación dominante que es de un día, y las siguientes que son de 12 horas y 8 horas (Figura 24). Estos máximos de frecuencia son comunes en las tres estaciones de monitoreo magnético de Galeras y en la estación de referencia Kourou, por lo cual se concluye que corresponden a variaciones externas y que se procesa la información para descartarlas de los registros.

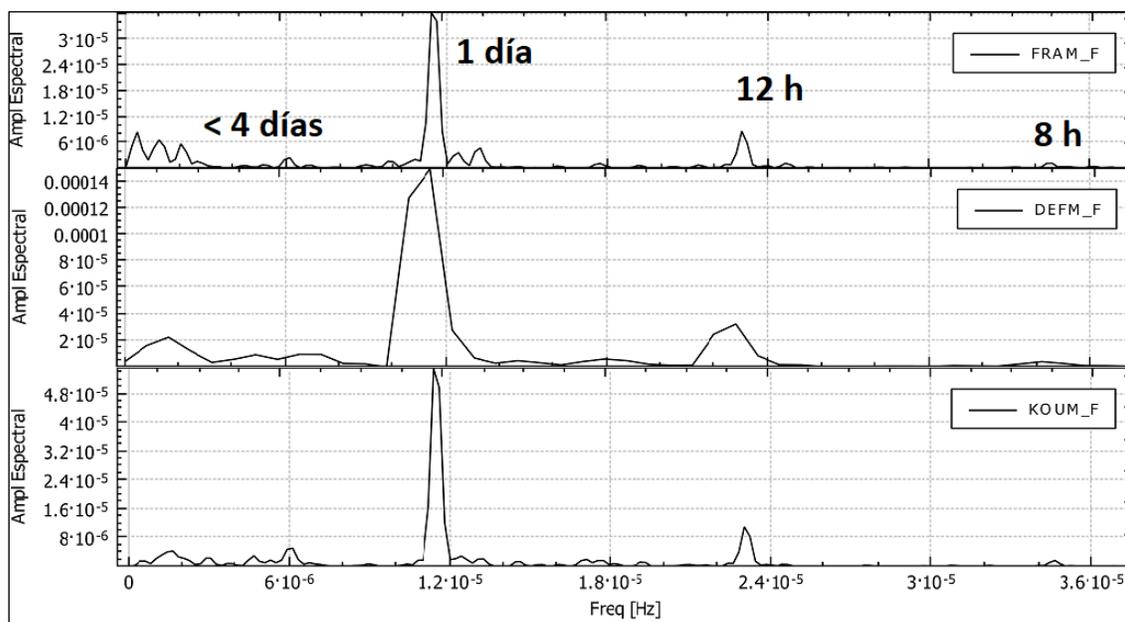


Figura 24. Frecuencias dominantes de los registros magnéticos, donde se identifican las frecuencias dominantes del CMT-F, de 4. días, un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, enero, 2019

Eliminando las frecuencias dominantes, correspondientes a variación periódicas seculares, debidas a condiciones del campo magnético externo, se calcularon los registros de las variaciones propias del campo en la zona de ubicación de cada estación, dando como resultado variaciones de un rango menor a ± 20 nT. Aun cuando los registros muestran periodos con variaciones de mayor valor, estos corresponden a los días donde ocurrieron tormentas magnéticas, cuyos efectos son difíciles de eliminar en su totalidad. Las variaciones del CMT en la zona de influencia del volcán Galeras, se encuentran dentro del rango de variaciones propias de zonas con baja actividad volcánica (Figura 25).

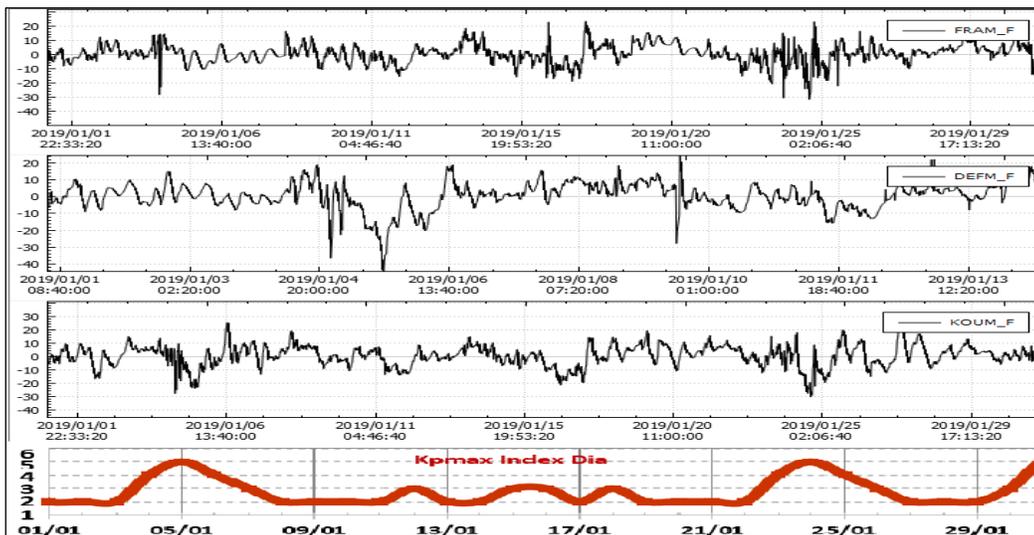


Figura 25. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones Frailejón, Deformes y Kourou, en enero, 2019, comparados con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, llamados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo

En cuanto a las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH), en la estación Frailejón, tomando el periodo entre diciembre, 2018 y enero 2019 (Figura 26), se hace evidente desde inicios de enero, el incremento en el nivel de ruido registrado en la estación, afectando tanto el promedio diario, que de alrededor de 5 mV en diciembre, 2018 a un promedio de 30 mV para el mes de enero, 2019 (Figura 27), donde no es posible identificar las variaciones día-noche, propias de este tipo de registros. Los datos muestran también para finales del mes de enero una tendencia ascendente que no está relacionada con el comportamiento del régimen de lluvias de la zona (Figura 26). Al parecer estos efectos son más electrónicos que propios del CEH de la zona de estudio.

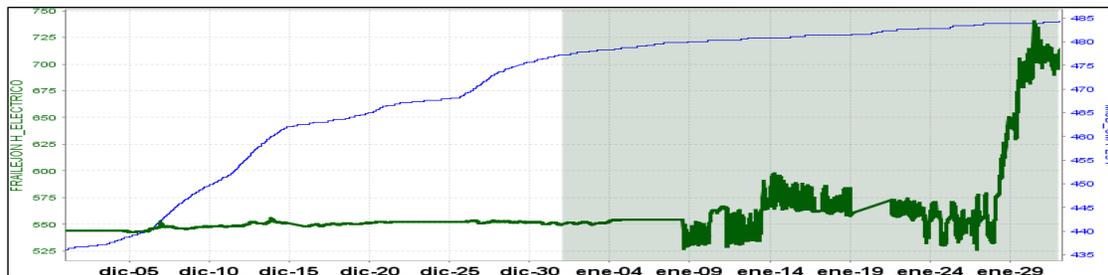


Figura 26. CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, Frailejón (verde), para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019, comparado con la estación pluviométrica de la zona. La escala de medición del CEH está en milivoltios mV y el pluviómetro en mm

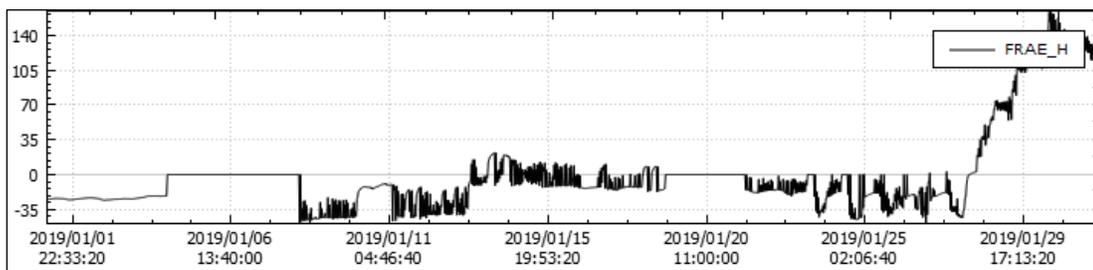


Figura 27. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras Frailejón), para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltios (mV)

Para una mejor evaluación de la información, se realizó el análisis espectral en el registro de FRA eléctrica, mostrando un rango de frecuencias dominantes menores de 4 días, donde no se observan los pulsos típicos de un día, 12 y 8 horas. Esto hace confirmar la hipótesis que los registros están fuertemente afectados por efectos de ruido eléctrico (Figura 28).

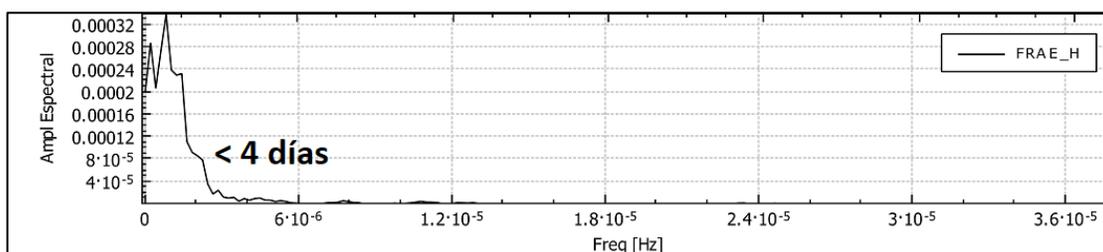


Figura 28. Frecuencias dominantes de los registros de monitoreo eléctrico para la estación de Frailejón en el volcán Galeras. Se identifican frecuencias dominantes que no son propias de este tipo de registros

Eliminando las frecuencias dominantes encontradas en los registros, se observa que la tendencia general de los datos es más estable y asociada con valores de campo eléctrico en la zona, aun cuando la variación diaria mantiene variaciones menores y el rango de variación del campo diario sigue siendo de alrededor de 30 mV (Figura 29).

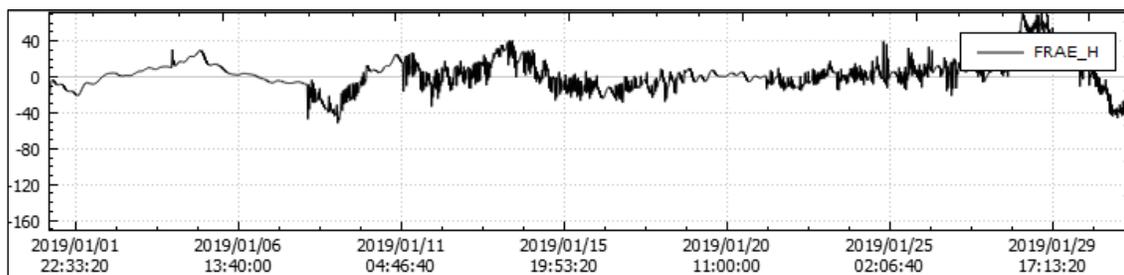


Figura 29. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, Frailejón (negro), filtrando las variaciones seculares externas, para enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico en el Volcán Galeras

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

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, ya que es 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 30 se encuentra el mapa de las estaciones para medición de flujo de gas Radón ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, entre ellas se encuentran las estaciones Lavas, Parques y Los Lirios instaladas en 2016. Actualmente se encuentra en funcionamiento la estación Lirios (Figura 3, Tabla 6 en red de vigilancia).

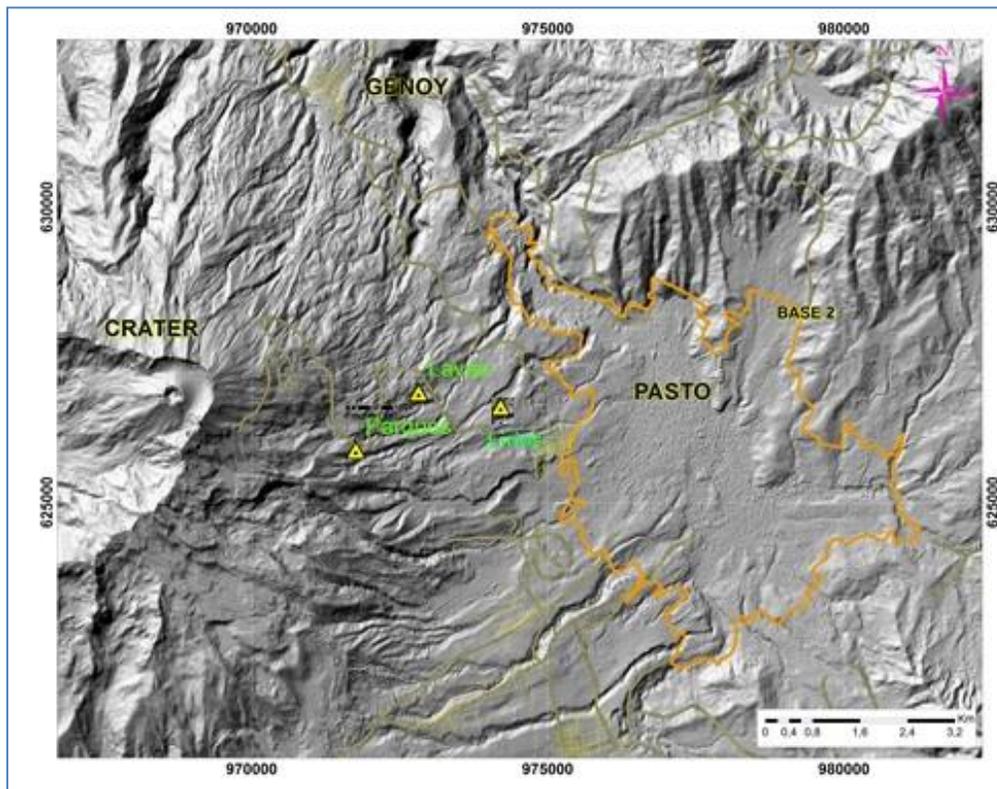


Figura 30. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras

En la Figura 31 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, datos registrados desde la estación Lirios (Tabla 10).

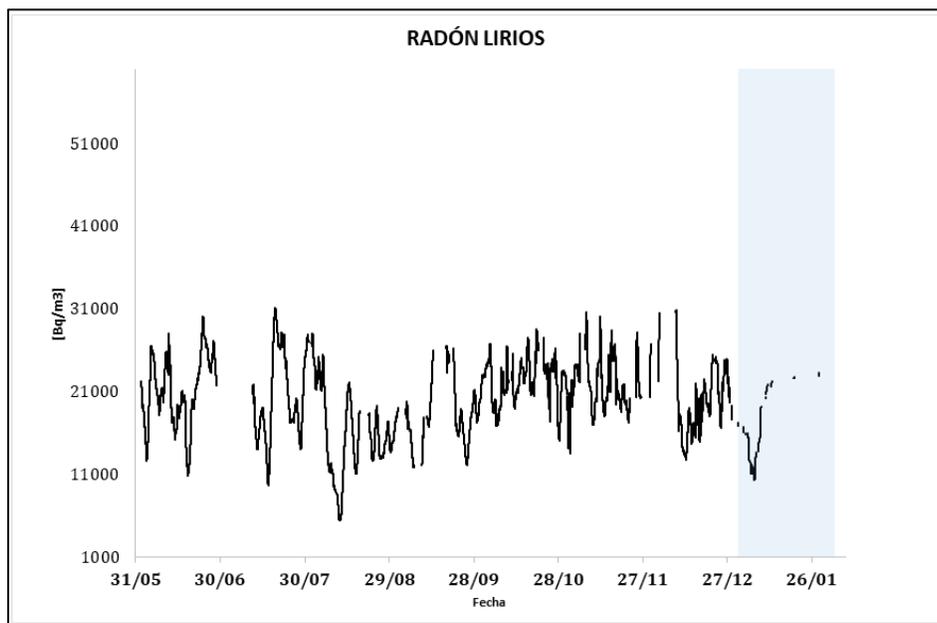


Figura 31. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estaciones Lirios-enero 2019

Se puede observar que el radón emitido y registrado en enero 2019 desde la estación Los Lirios, presenta un comportamiento similar en comparación con meses anteriores (Tabla 1(10)), sin embargo cabe resaltar que la estación presentó problemas técnicos en el mes mencionado, razón por la cual no se obtuvieron datos para todos los días. Lo anteriormente descrito no corresponde o se relaciona con cambios en el sistema volcánico de Galeras.

Tabla 10. Valores de concentración de radón en la estación Los Lirios –Volcán Galeras–enero 2019

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Promedio	16409
Máximo	45899
Mínimo	2295

1.5.1.2 Estaciones Térmicas Paisita y Deformes

Los datos sobre la variación de temperatura en las fumarolas Paisita y Deformes ubicadas en el volcán Galeras, se obtienen a partir de estaciones telemétricas instaladas el 16 y 30 de agosto de 2018 respectivamente (Figura 3, Tabla 5 en red de vigilancia).

En las Figuras 32 y 33 se registra el comportamiento de la temperatura hasta diciembre de 2018, registrando valores máximos de 64.5°C y 85.8°C (Tablas 11 y 12). Las fluctuaciones presentes en las gráficas corresponden a variaciones día-noche.

El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operaciones de la estaciones.

En la estación térmica Paisita (Figura 36) se observa un comportamiento similar a semanas anteriores, la estación registró datos hasta el 23 de enero debido a problemas técnicos.

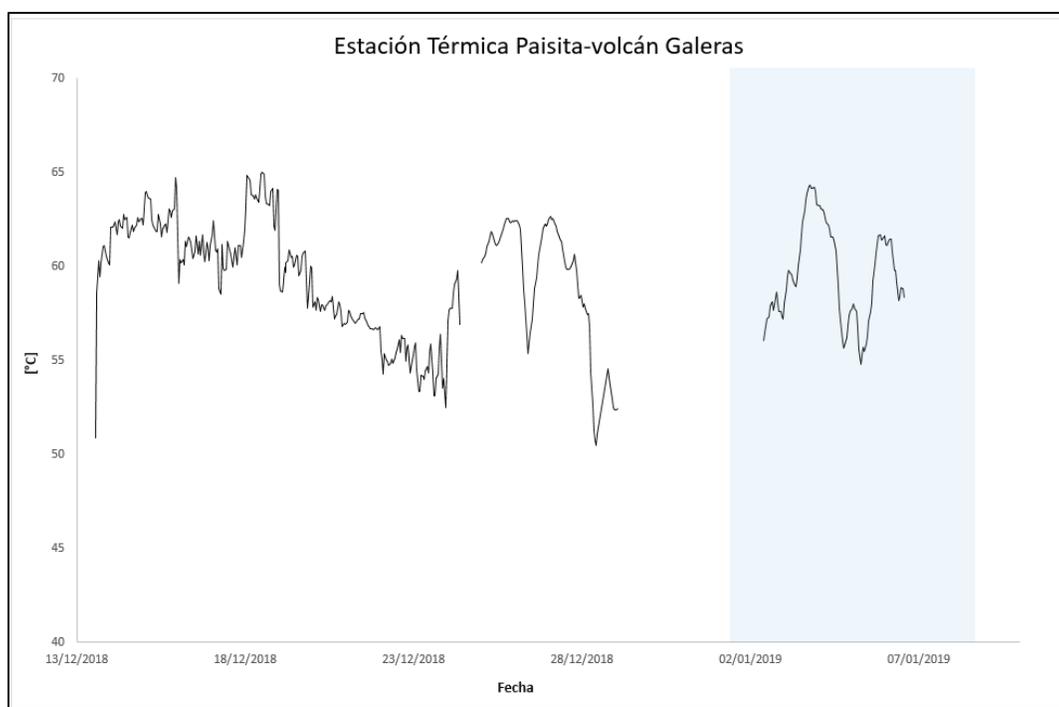


Figura 32. Temperatura fumarola El Paisita-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – enero de 2019

Tabla 11. Valores de temperatura en Fumarola El Paisita del área de influencia del volcán Galeras – enero 2019

Temperatura	[°C]
Promedio	59.1
Máximo	64.5
Mínimo	50.2

Para el periodo evaluado en la estación Deformes, se tiene reanudación de datos a partir del 13 de diciembre de 2018 de manera intermitente, lo anterior, debido a que la estación presentó problemas técnicos desde el 1 de octubre de 2018. Se evidencia para el periodo evaluado (datos entre el 2 y 9 de enero de 2019) un incremento en el valor medio de temperatura en comparación con semanas anteriores, de 84.5°C a 85.2°C.

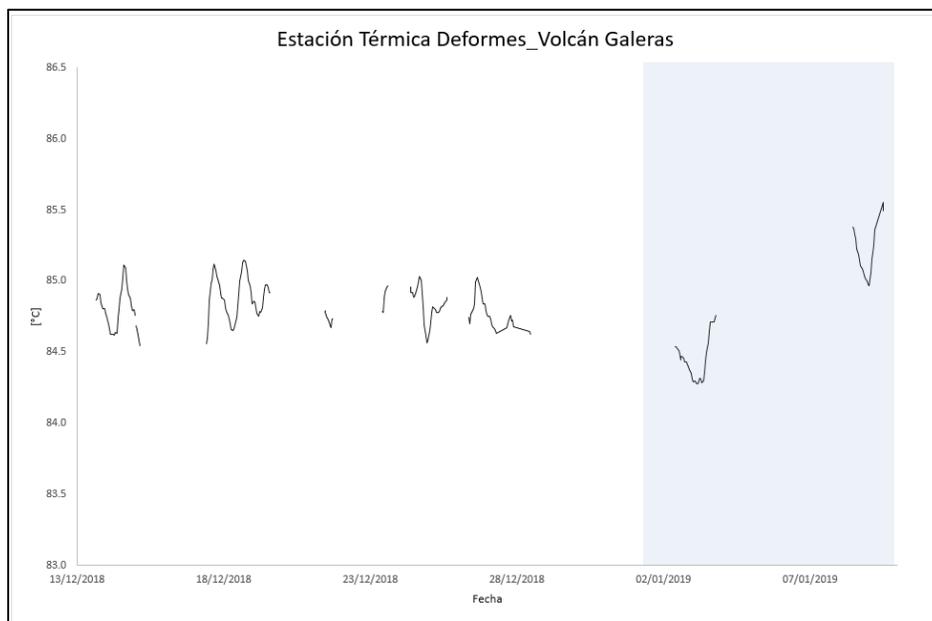


Figura 33. Temperatura fumarola Deformes-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – enero de 2019

Tabla 12. Valores de temperatura en Fumarola Deformes del área de influencia del volcán Galeras – enero 2019

Temperatura	[°C]
Promedio	85.1
Máximo	85.8
Mínimo	83.8

1.5.1.3 Muestreo de aguas en fuentes termales-Volcán Galeras

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto, FT Cehani, FT Aguas Agrías, FT Agua Blanca y FT Licamancha, Figura 3.

A continuación se presenta para las FT Río Pasto, Agua Blanca y Licamancha, las variaciones de la concentración de los aniones cloruro, sulfato y fluoruro. Los datos corresponden a los recientes análisis de resultados enviados por el Laboratorio de Geoquímica, los cuales se dan a conocer en el informe mensual actual. El muestreo para las FT mencionadas se realizó en octubre de 2018.

Se puede observar en las tres FT (Figuras 34, 35 y 36), incremento en la concentración del ion fluoruro, el cual se ha presentado desde 2017 para los tres casos.

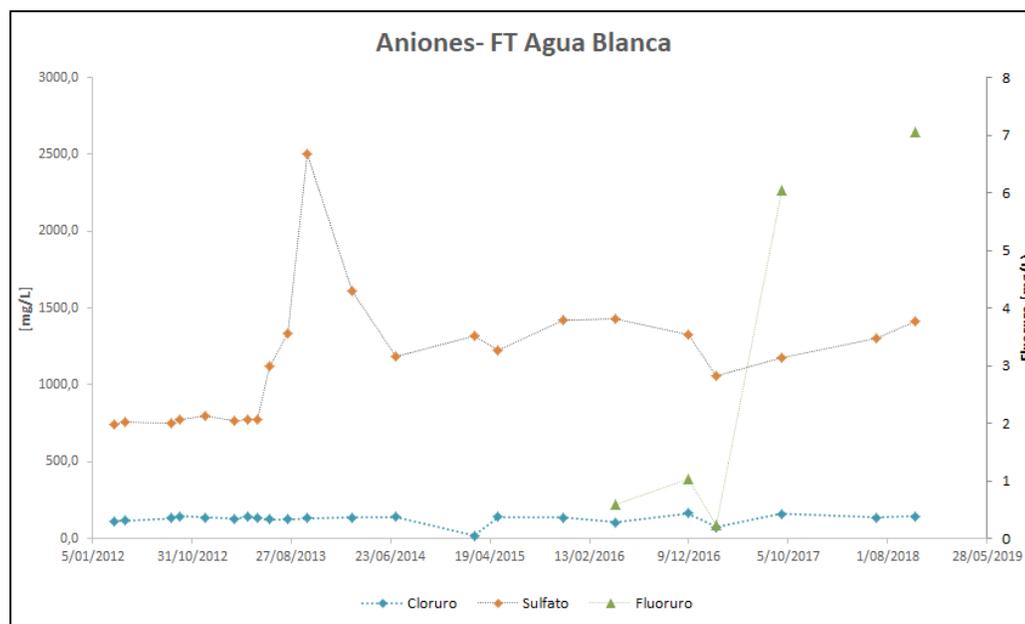


Figura 34. Variación concentración aniones FT Agua Blanca- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019

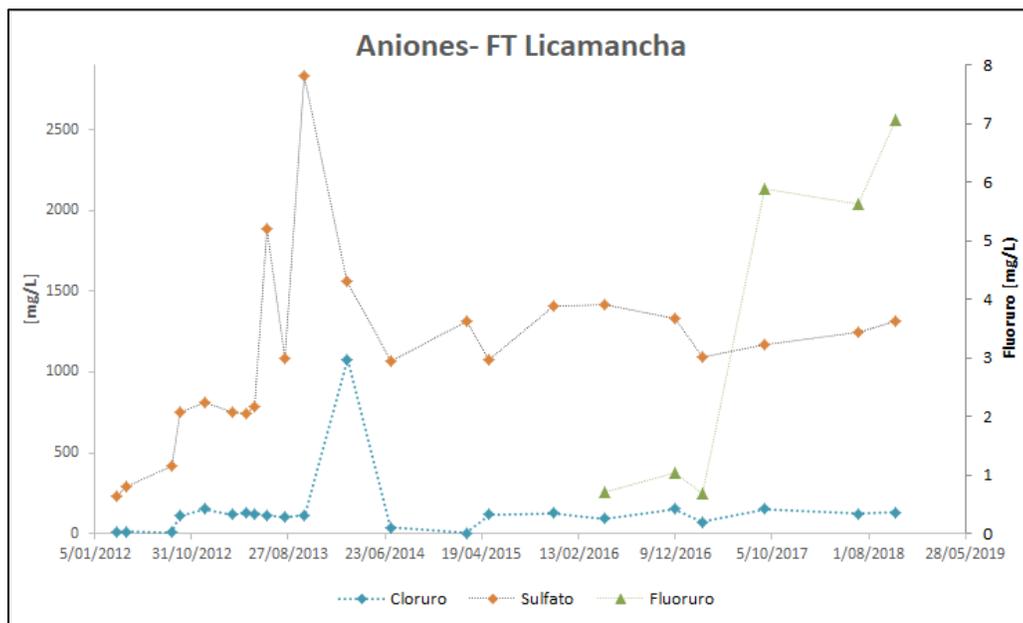


Figura 35. Variación concentración aniones FT Licamancha- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019

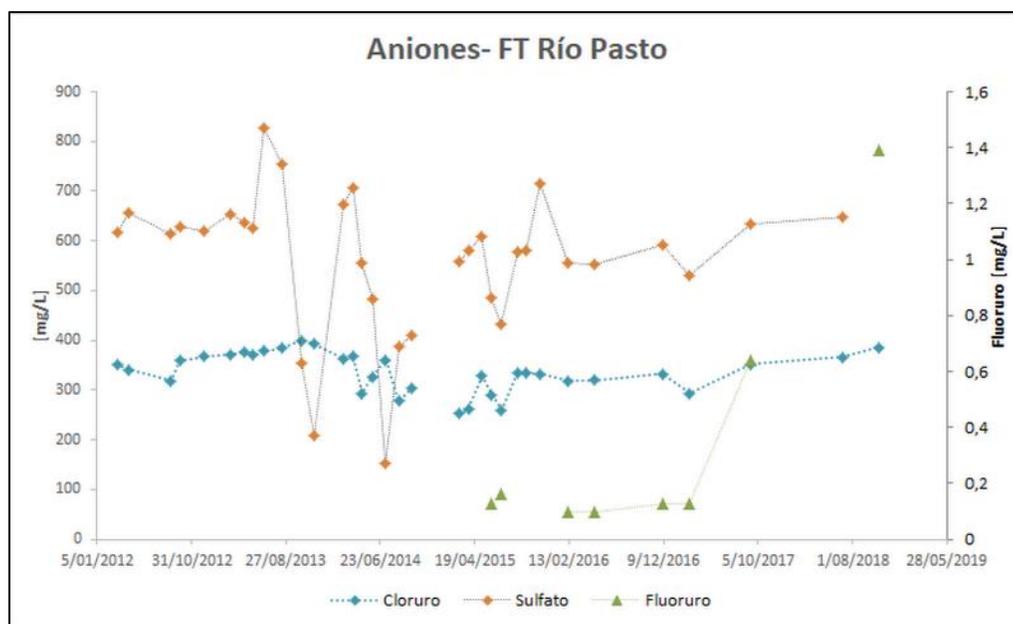


Figura 36. Variación concentración aniones FT Río Pasto- Volcán Galeras (octubre 2018) en el presente informe-enero 2019

1.5 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 2019, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 22, 25, 28, 29 y 30 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 37 a 46 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.

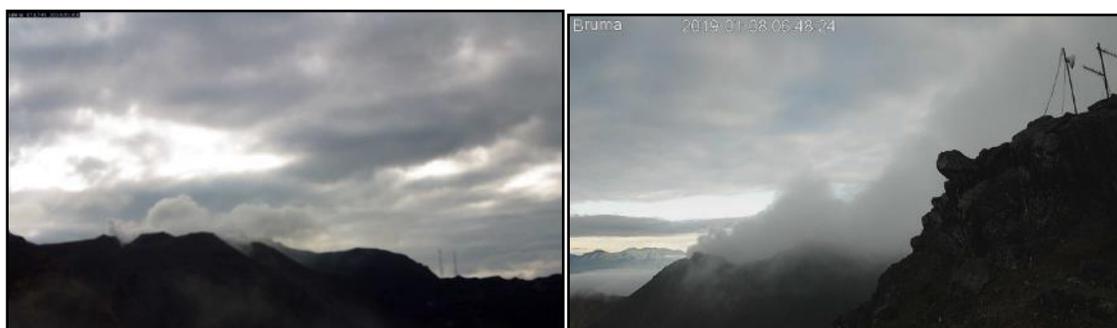


Figura 37. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 8 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 07: 14 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06:48 p.m. (Derecha)

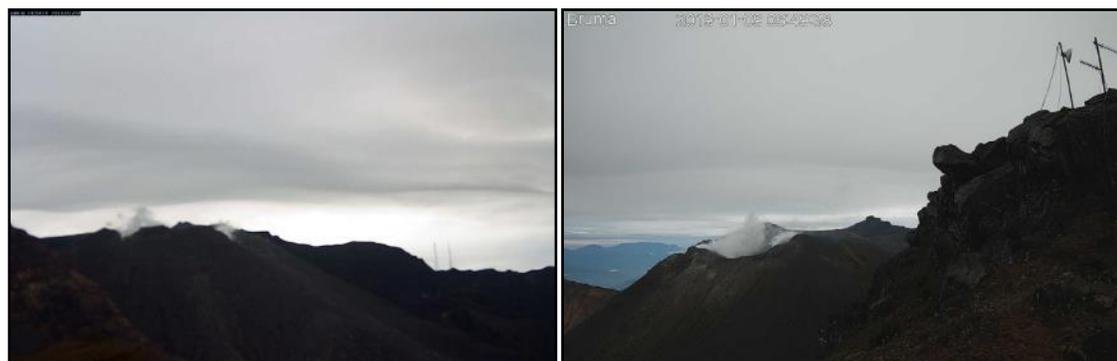


Figura 38. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 9 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 54 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06:49 a.m. (Derecha)



Figura 39. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 11 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 07: 39 a.m., (izquierda) y Bruma a las 06:18 p.m. (Derecha)



Figura 40. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 12 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 30 p.m., (izquierda) y Bruma a las 06:32 p.m. (Derecha)



Figura 41. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 13 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 19 a.m., (izquierda) y Bruma a las 05:56 a.m. (Derecha)



Figura 42. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 15 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco a las 06: 32 p.m., (izquierda) y Bruma a las 06:48 p.m. (Derecha)



Figura 43. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 17 de enero de 2019 desde la cámara ubicada en el sector de Barranco a las 05: 46 p.m., (izquierda) y a las 06: 01 p.m. (Derecha)

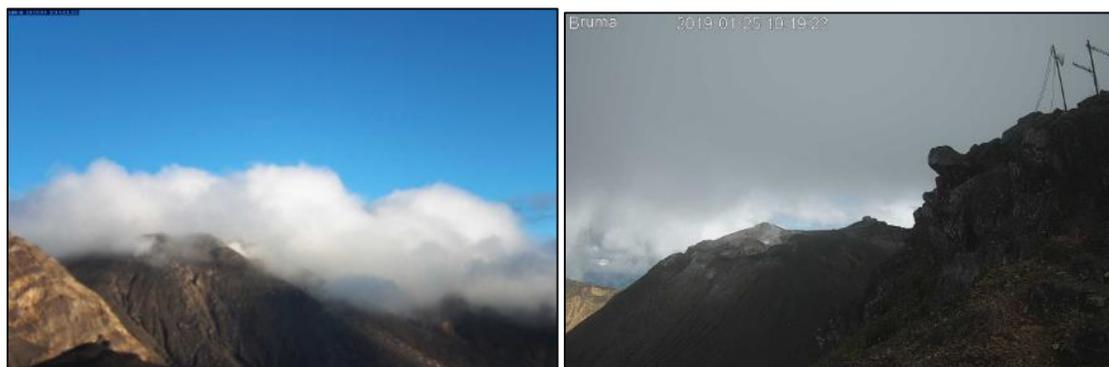


Figura 44. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 22 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 06: 05 p.m., y Bruma el día 25 de enero (derecha) a las 10:19 a.m.



Figura 45. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 28 de enero de 2019 desde la cámara ubicada en el sector de Bruma a las 06: 18 a.m., (izquierda) y a las 06: 20 a.m. (Derecha)

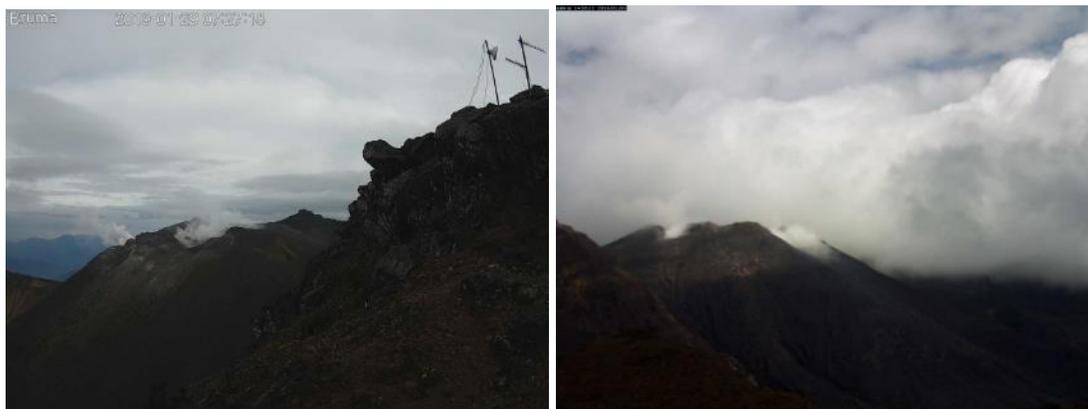


Figura 46. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 29 de enero de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 07: 27 a.m., y Barranco el día 30 de enero de 2019 (derecha) a las 02: 56 p.m.

1.6 Conclusiones

La estación Lirios presenta un comportamiento similar en comparación con meses anteriores. La estación presentó problemas técnicos en el mes evaluado, razón por la cual no se obtuvieron datos para todos los días.

La estación térmica Paisita presentó un comportamiento similar a semanas anteriores. La estación registró datos hasta el 23 de enero debido a problemas técnicos.

Se evidencia para el periodo evaluado datos entre el 2 y 9 de enero de 2019. Se presenta un incremento en el valor medio de temperatura en comparación con

semanas anteriores, de 84.5°C a 85.2°C. Se obtienen datos de manera intermitente por problemas técnicos en la estación.

Se puede observar en las FT Río Pasto, Agua Blanca y Licamancha, incremento en la concentración del ion fluoruro, el cual se ha presentado desde 2017 para los tres casos. Las manifestaciones termales, están regidas por interacciones agua-roca, recorrido, tiempo de residencia de las mismas en profundidad, como también su interacción con los gases ácidos de origen volcánico, razón por la cual se hacen presentes las variaciones de estos iones.

Las variaciones descritas no corresponden a cambios en el sistema volcánico del Galeras.

En enero de 2019 en el volcán Galeras se registró incremento en la ocurrencia y en la energía de los sismos en comparación con el mes anterior. El mayor aporte tanto en ocurrencia como en energía provino de la sismicidad de tipo VT, asociada con fractura de roca al interior del volcán. Se destaca el registro de dos sismos de con ML de 2.4 y 3.5 que se reportaron sentidos en Pasto y en algunas poblaciones de la zona de influencia del volcán Galeras.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en enero de 2019 permitió mantener el nivel en **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2019

2.1 Red de Vigilancia

En enero de 2019 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 47, Tabla 13).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 47).
- 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 47).
- Un pluviómetro y un anemómetro instalados en el sitio donde se ubica la estación La Nieve (Figura 47).
- Cuatro inclinómetros electrónicos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 48, Tabla 13).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 98 % (Figura 49).

Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2019

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

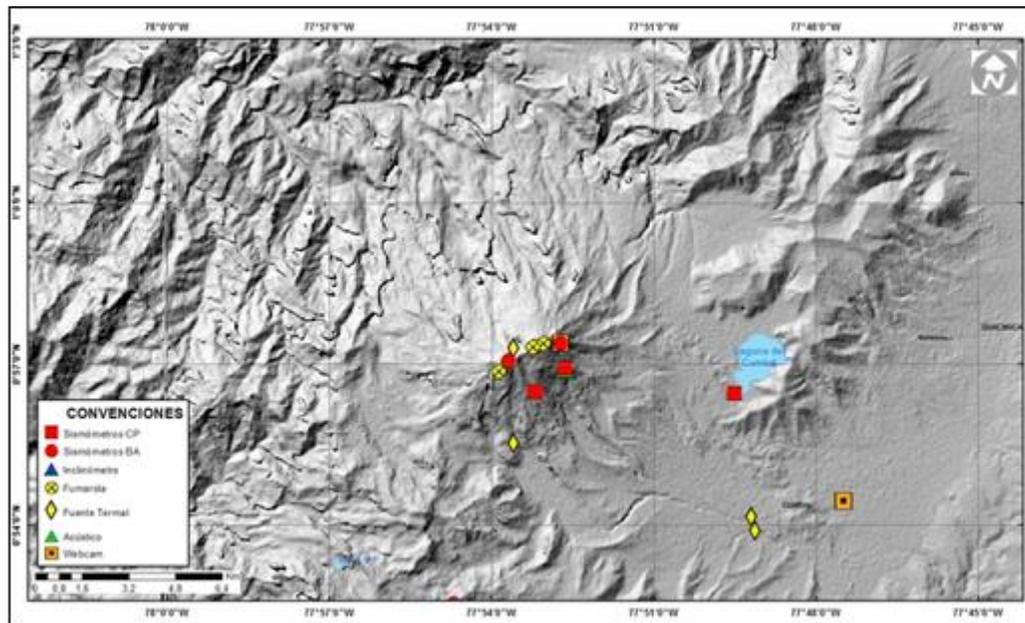


Figura 47. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2019

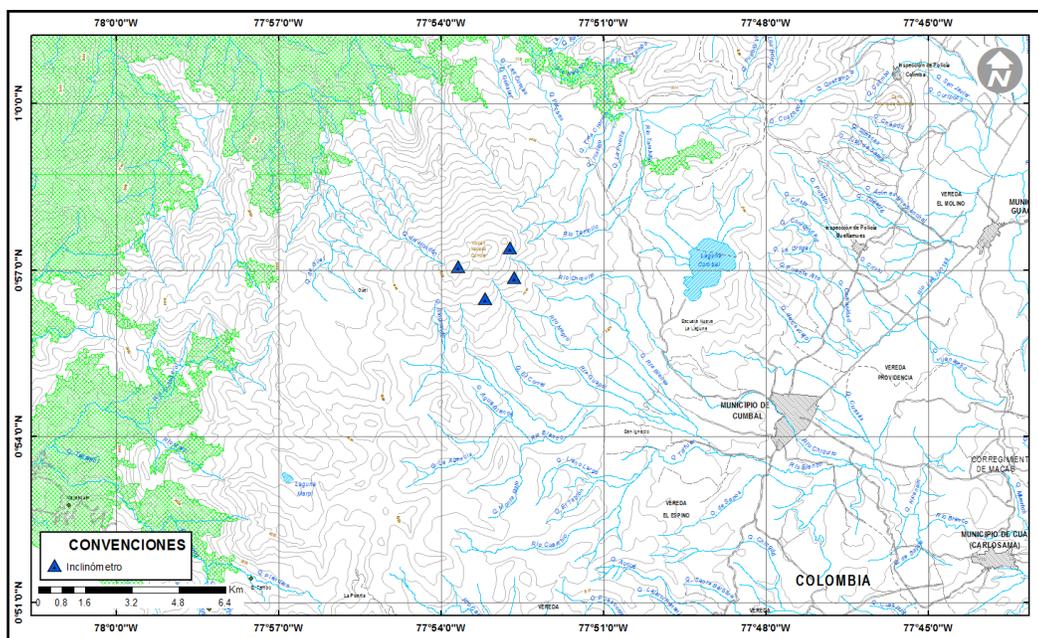


Figura 48. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2019

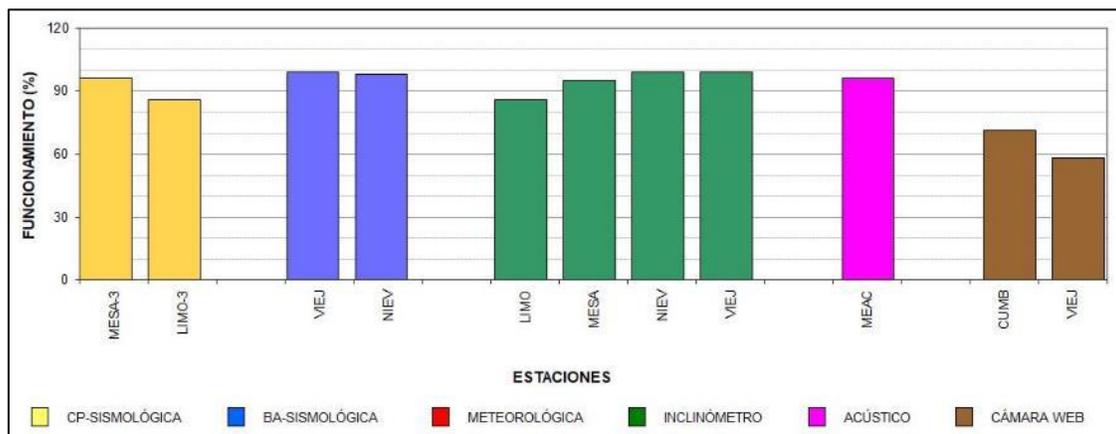


Figura 49. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2019

2.2 Sismología

La sismicidad de enero de 2019 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) mostró descenso del 27% en su ocurrencia pasando de 1724 a 1253 eventos en comparación con el mes de diciembre de 2018. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 625 eventos que representan el 50% del total, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) con 536 eventos que representan el 43%. Los sismos que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos (HIB) y los episodios de tipo tremor (TRE) registraron 90 y 2 eventos respectivamente, que en conjunto representan el 7% de la ocurrencia sísmica (Tabla 14, Figura 50 y 51). 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). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el día 15 de enero, con 167 sismos (94 VT, 63 LP y 10 HIB).

Tabla 14. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC durante diciembre de 2018 y enero de 2019

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Diciembre de 2018	765	859	3	97	0	1724
Enero de 2019	625	536	2	90	0	1253

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT disminuyeron un 18% pasando de 765 a 625 eventos, los LP disminuyeron un 38%

pasando de 859 a 536 eventos, los episodios de TRE disminuyeron 33% pasando de 3 eventos a 2 y los HIB disminuyeron 7%, pasando de 97 a 90 eventos (Tabla 14, Figura 50 y Figura 51).

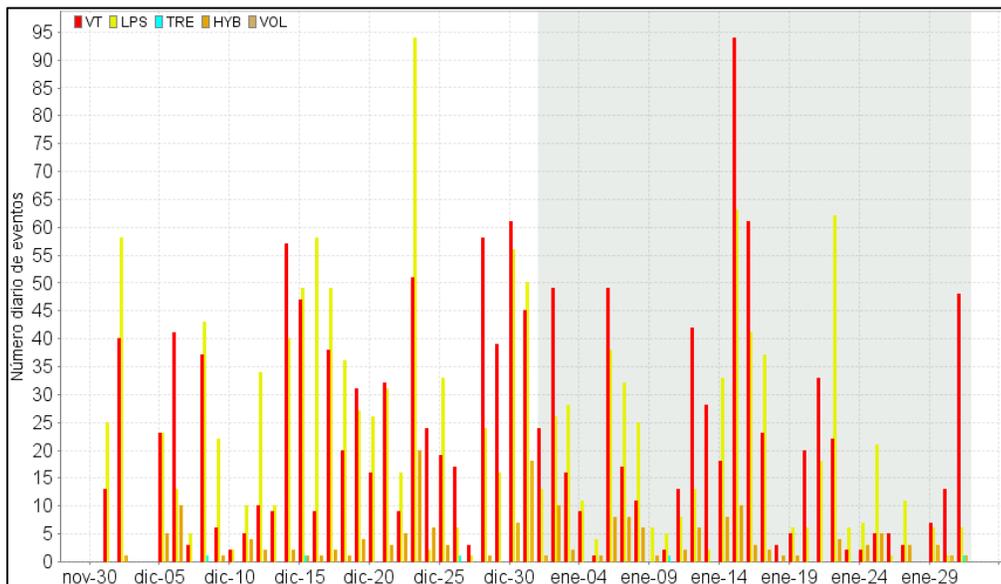


Figura 50. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

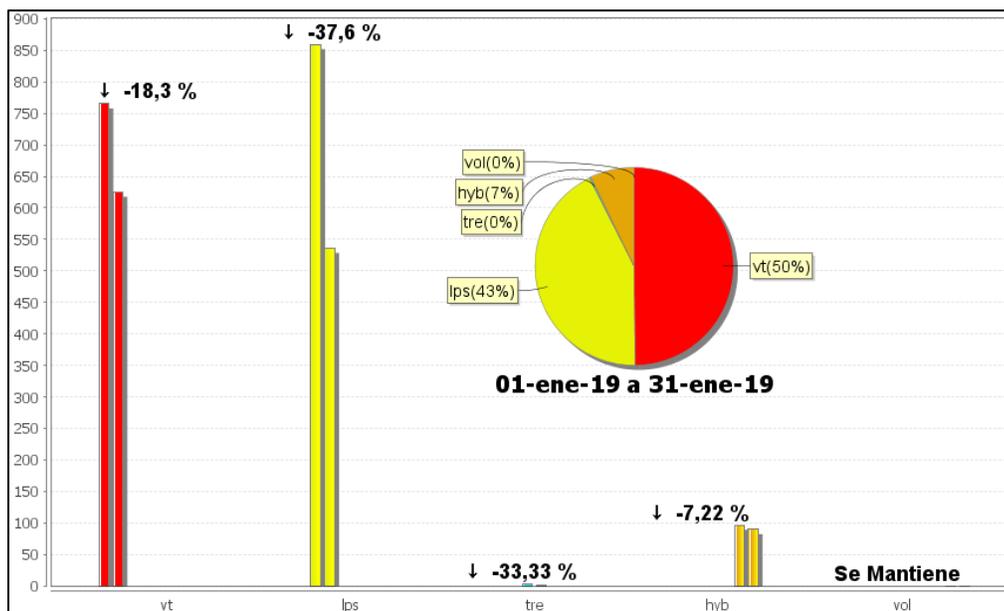


Figura 51. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre de 2018 y enero de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero de 2019

El 3 de enero a las 12:19 hora local, se registró un evento de tipo Tornillo (TOR), que se caracteriza por el decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 52 se muestran los sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR de enero de 2019 en las componentes verticales de las estaciones La Mesa y Limones del CVC. Este evento presentó un pico dominante en la frecuencia de 1.3 Hz y otro pico de menor amplitud en la frecuencia de 2.7 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

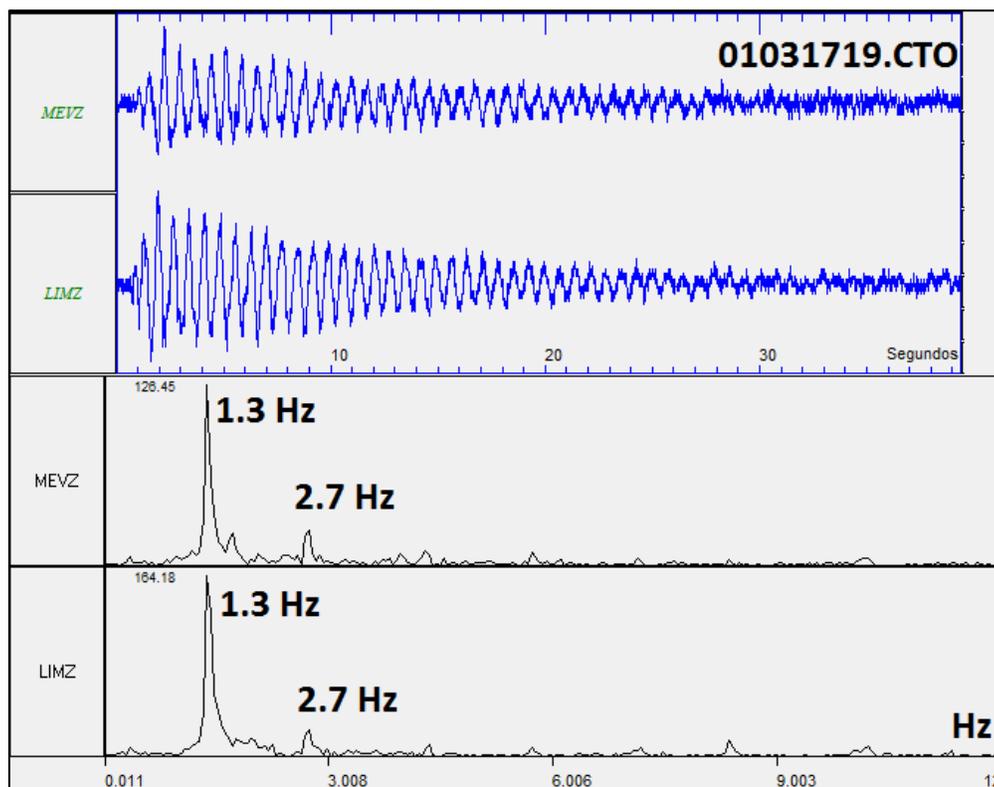


Figura 52. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR de enero 3 de 2019 en las componentes verticales de las estaciones La Mesa y Limones del CVC

Fueron localizados 47 sismos VT, la mayoría ubicados en inmediaciones de la cima del complejo volcánico hacia el sector noroccidental, a distancias entre cero y 4.5 km con respecto a La Plazuela, ML máxima de 1.8 y profundidades menores de 10 km con

respecto a su cima (4700 m) como se muestra en la Figura 53. La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 1.42×10^{15} ergios.

En general la magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 3 sismos VT con magnitud local igual o superior a 1.5 en la escala de Richter y en la Tabla 15 se consignan sus características de localización.

Tabla 15. Sismos con ML mayor o igual a 1.5 registrados en el CVC en enero de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
11/01/2019	23:21	1-01.60	77-50.13	3.7	1.5
17/01/2019	14:22	1-02.93	77-56.65	12.7	1.8
26/01/2019	08:19	0-54.73	77-46.24	2.2	1.6

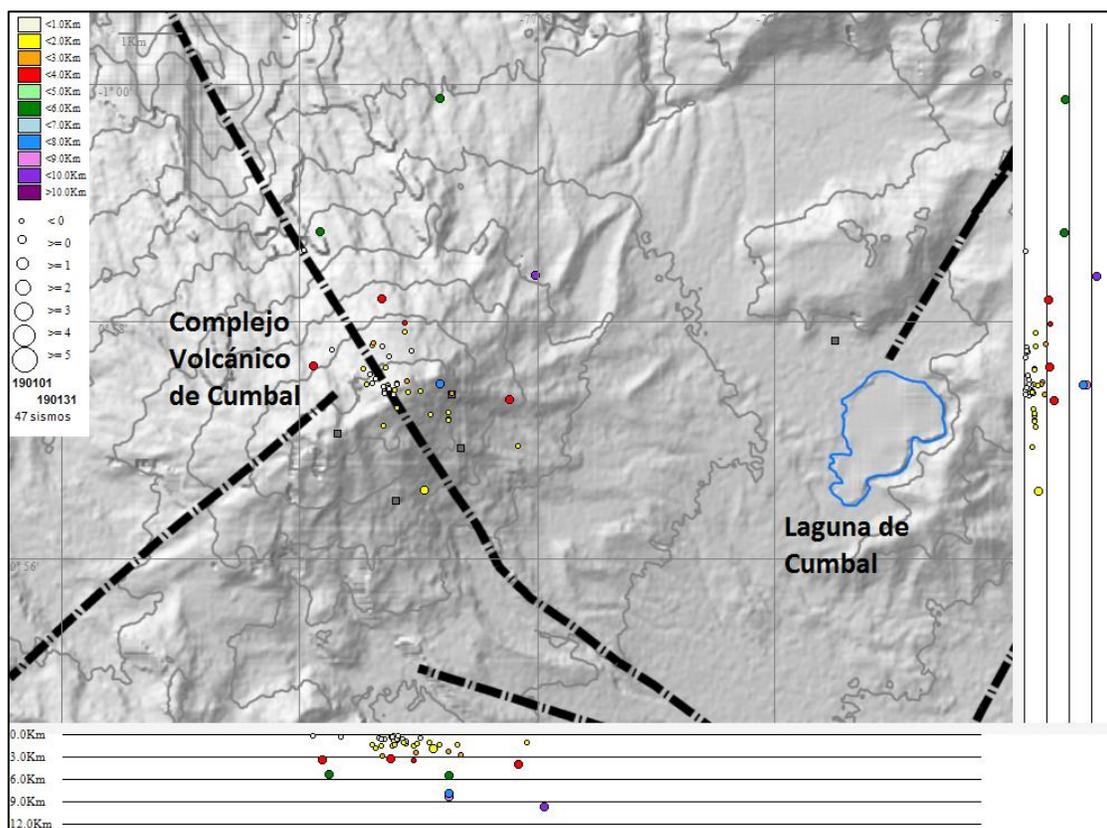


Figura 53. Localizaciones de VT registrados en enero de 2019 en el CVC

2.3 Deformación

Desde el 2 de octubre y hasta finales de diciembre de 2018, se observó estabilidad en la componente de inclinación Norte de la estación La Mesa, cuando nuevamente la componente indica una tendencia descendente, acumulando entre el abril de 2017 y 31 de enero de 2019, un cambio de carga de 220 urad. Por su parte la componente Este tiene una tendencia ascendente, acumulando para el mismo periodo unos 100 urad. Es importante mencionar que el cambio se mantiene pese a que el equipo fue nivelado en abril de 2018 (Figura 54).

Las componentes de inclinación de las estaciones Punta Vieja y Limones muestran tendencias estables, con variaciones en los registros que probablemente están asociadas con la temperatura imperante en la zona (Figuras 55 y 56).

Después de la recuperación de la estación La Nieve, hacia finales del mes de octubre de 2018, y hasta la fecha, se observa una tendencia ascendente en las dos componentes con valores acumulados cercanos a los 30 urad, (Figura 57).

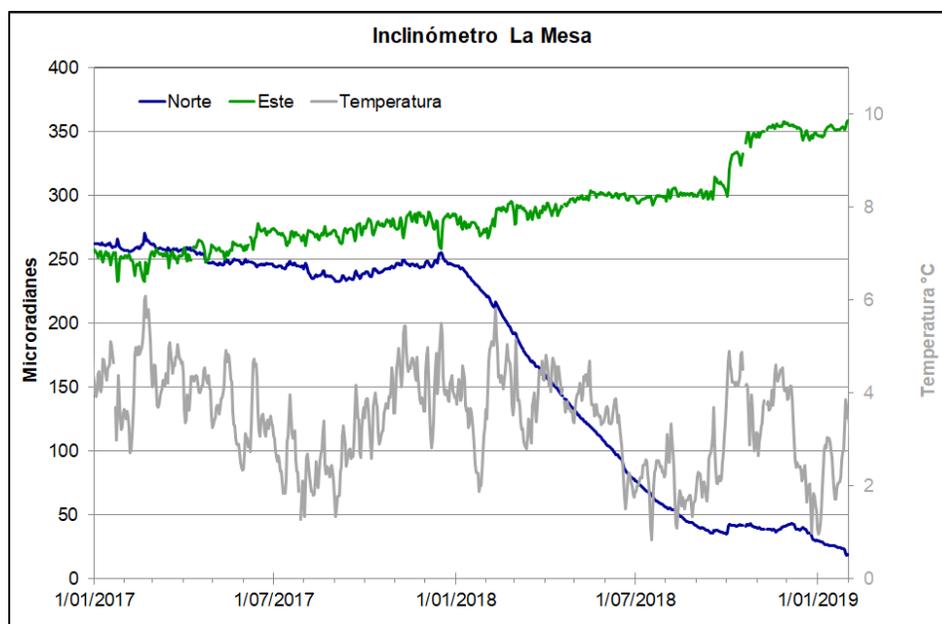


Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de enero de 2019

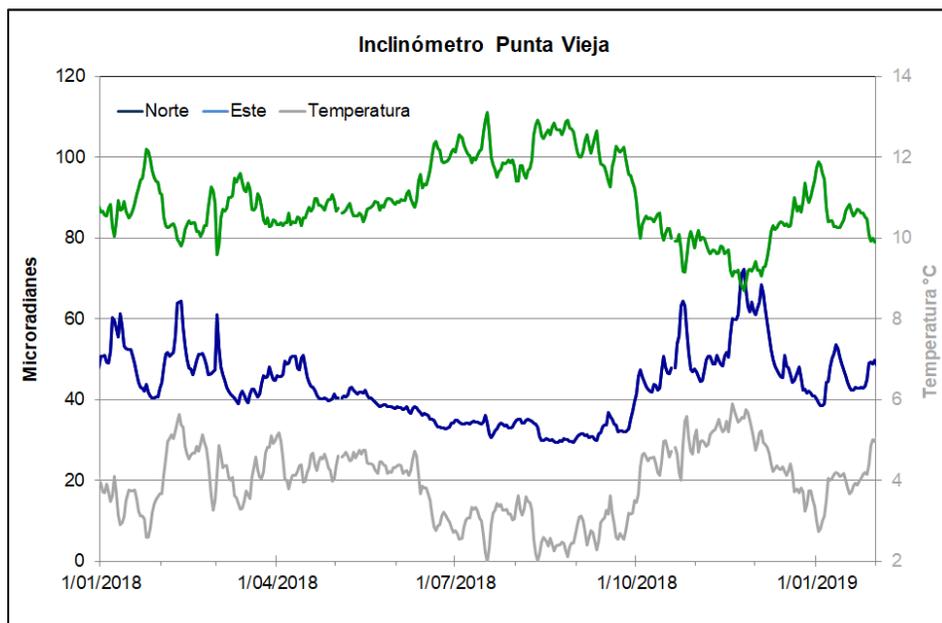


Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

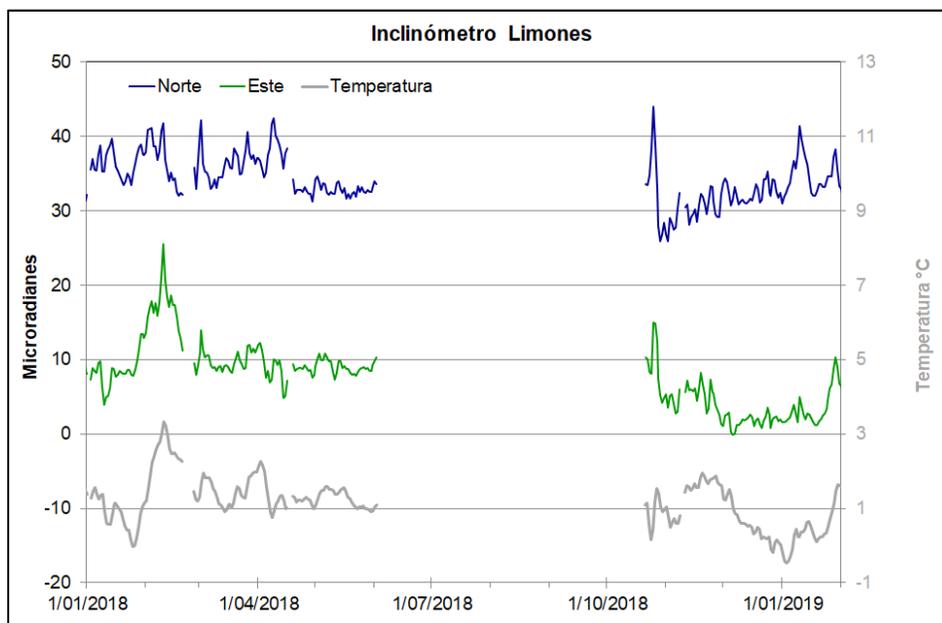


Figura 56. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

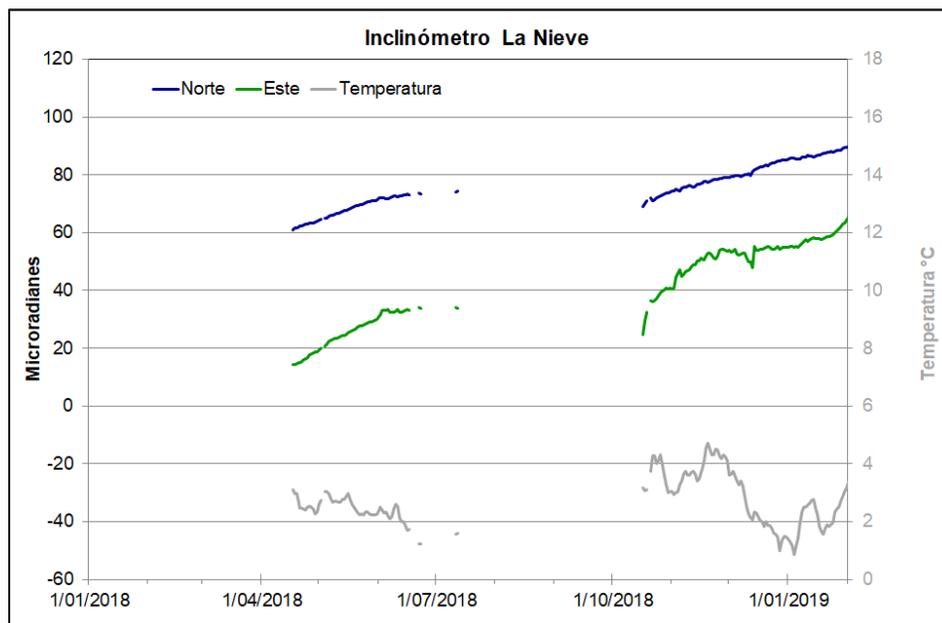


Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre abril de 2018 y el 31 de enero de 2019

2.4 Geoquímica

2.4.1 Muestreo de aguas en fuentes termales-volcán Cumbal.

El volcán Cumbal cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Hueco Grande, FT Salado de Cuetial, FT Zapatero, FT Las Cruces y FT Güalgüeros. (Figura 42 - Red de vigilancia).

A continuación se presenta para las FT Hueco Grande, Salado de Cuetial y Zapatero, las variaciones de la concentración de los aniones cloruro y sulfato. Los datos corresponden a los recientes análisis de resultados enviados por el Laboratorio de Geoquímica, los cuales se dan a conocer en el informe mensual actual. El muestreo para las FT mencionadas se realizó en noviembre de 2018.

Las variaciones presentadas en las figuras 58, 59 y 60, corresponden a la línea base de información, no se observan aspectos relevantes en su comportamiento.

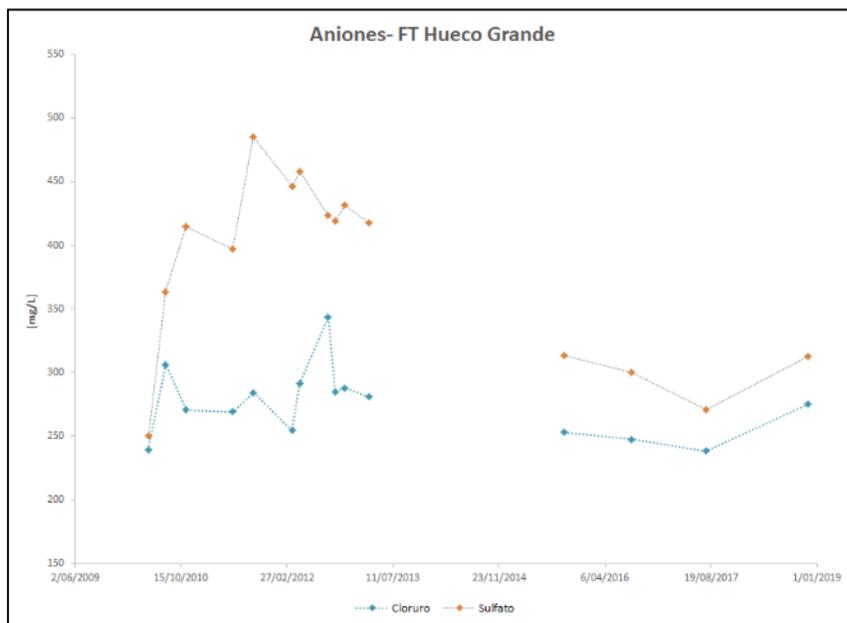


Figura 58. Variación concentración aniones FT Hueco Grande- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

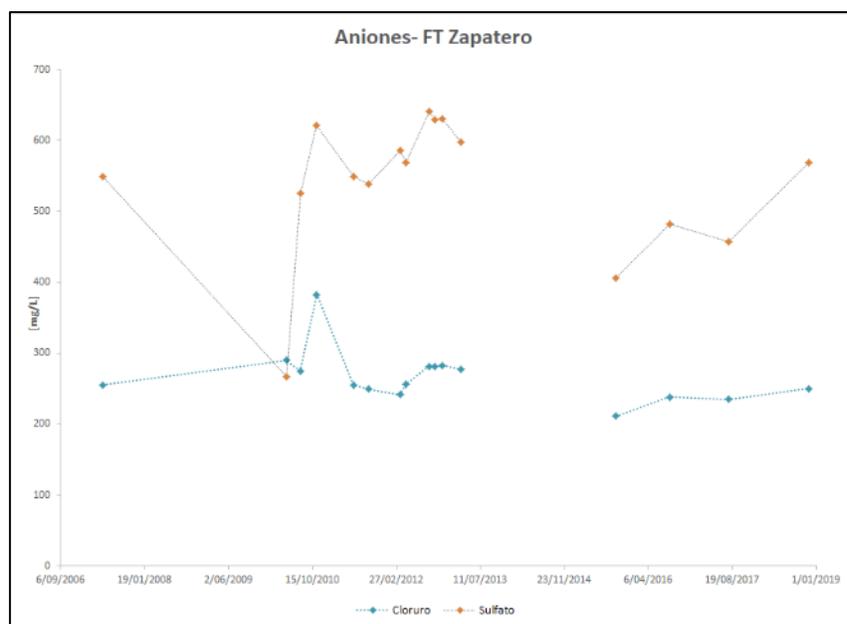


Figura 59. Variación concentración aniones FT Zapatero- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

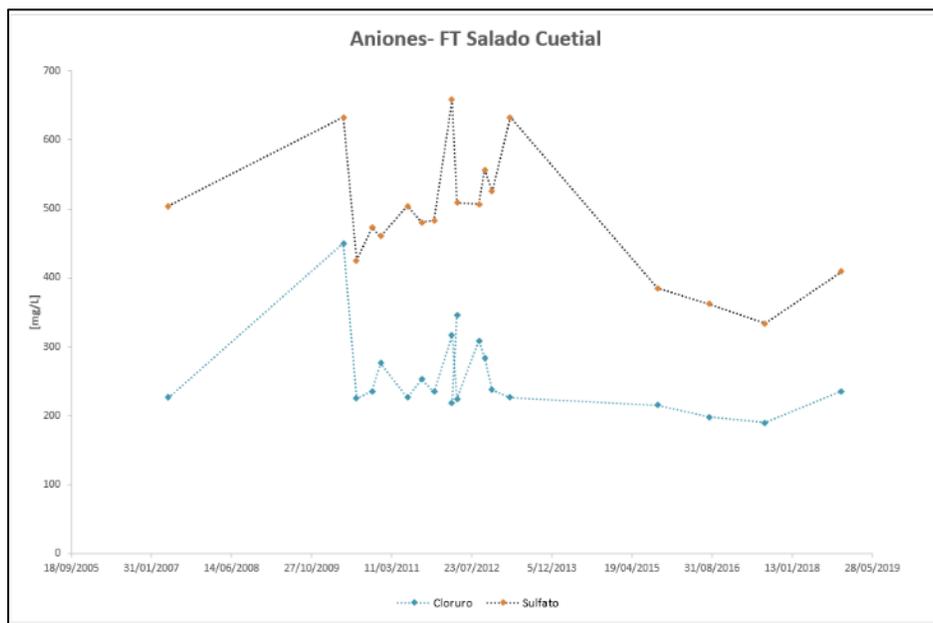


Figura 60. Variación concentración aniones FT Salado de Cuetial- Volcán Cumbal (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

2.5 Actividad Superficial

Los días 9, 11, 13, 17, 26, 28, 29 y 31 de enero de 2019 con las cámaras web de Cumbal 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 61 a 66 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



Figura 61. Imágenes de emisión de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 9 de enero de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 06:35 a.m.



Figura 62. Imágenes de emisión de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 11 de enero de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 09:00 a.m.



Figura 63. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 11 de enero de 2019 a las 04:04 p.m., (Izquierda) y el 13 de enero a las 03: 47 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 64. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 17 de enero de 2019 a las 09:44 p.m., (Izquierda) y a las 10: 06 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 65. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 26 de enero de 2019 a las 01:36 a.m., (Izquierda) y el día 28 de enero de 2019 a las 02: 16 p.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 66. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 29 de enero de 2019 a las 06:17 p.m., (Izquierda) y el 31 de enero de 2019 a las 06:34 a.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

2.6 Conclusiones

Las variaciones en la concentración de los iones para las FT Hueco Grande, Salado de Cuetial y Zapatero corresponden a la línea base de información, no se observan aspectos relevantes en su comportamiento.

En enero de 2019, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) la sismicidad registró disminución en su ocurrencia, localizándose principalmente en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter Mundo Nuevo al suroccidente, en profundidades menores de 10 km, con ML máxima de 1.8 en la escala de Richter. Los sismos de tipo TOR no evidencian presurización dentro del sistema.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en enero de 2019 permitió mantener el nivel en **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – ENERO DE 2019

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 67).

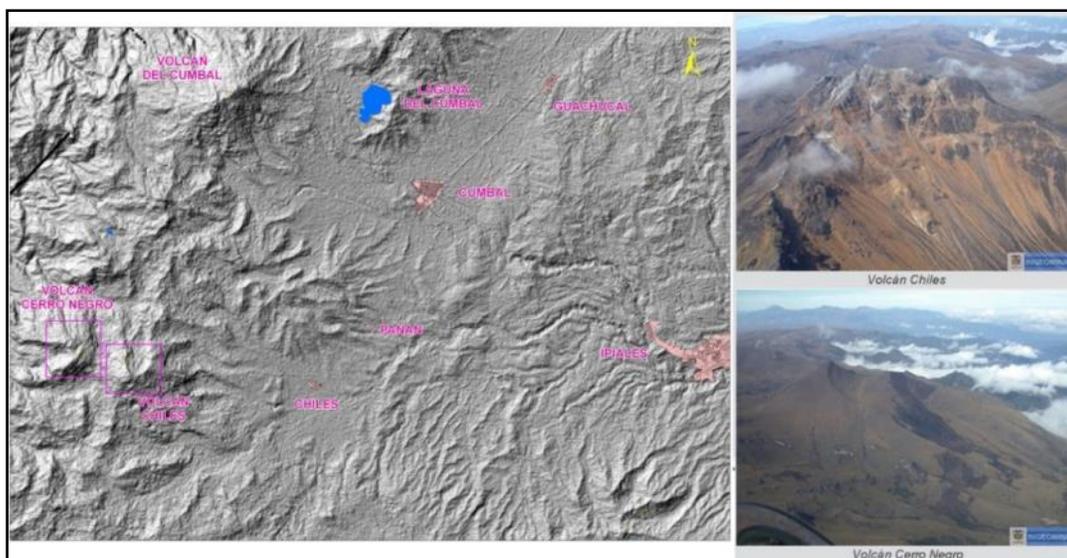


Figura 67. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

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 Termal (sismómetro y termocupa 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 68, Tablas 16 y 17).

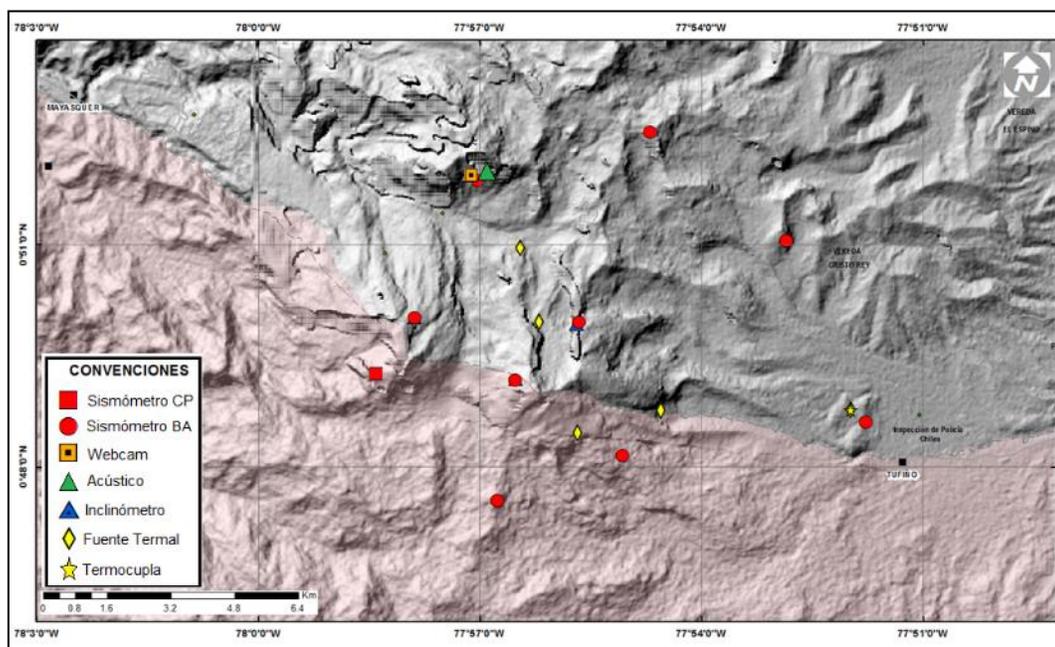


Figura 68. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2019

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

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. C. Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

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

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

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 98 % (Figura 69).

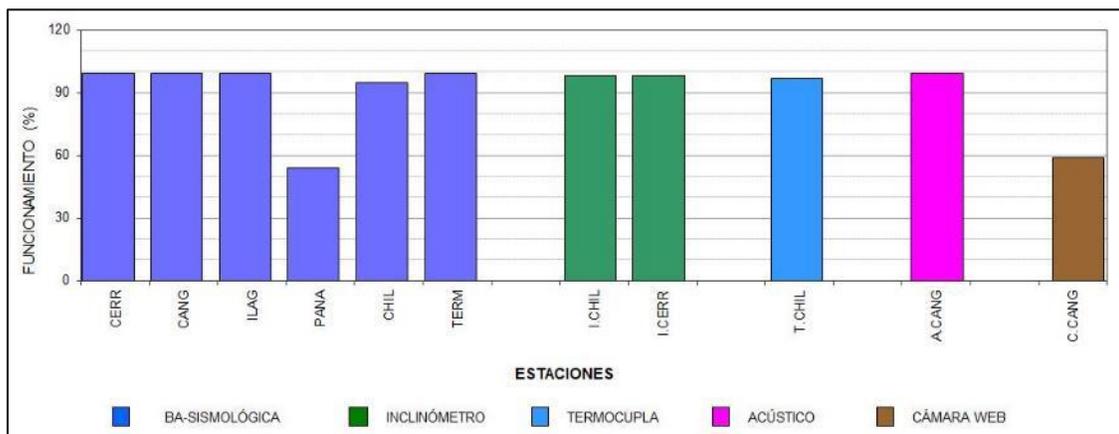


Figura 69. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2019

3.3 Sismología

En enero de 2019 la sismicidad en los volcanes Chiles y Cerro Negro disminuyó un 15% su ocurrencia, pasando de 21244 a 18030 sismos, con respecto a diciembre de 2018. Continúa el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 18014 sismos que representan el 99.9% del total de eventos. Fueron clasificados 5 sismos como LP y 11 sismos como HIB, que en conjunto corresponden al 0.1% (Tabla 18, Figura 70). La sismicidad VT disminuyó su ocurrencia 15%, pasando de 21236 a 18014 eventos, los LP incrementaron un 67%, pasando de 3 a 5 eventos y los HIB se incrementaron más del doble, pasando de 5 a 11 eventos. Los picos de sismicidad se registraron en enero 28 y 29 con 2370 y 2544 sismos VT respectivamente (Figura 70).

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Diciembre de 2018	21236	3	0	5	0	21244
Enero de 2019	18014	5	0	11	0	18030

La energía sísmica liberada en Chiles – Cerro Negro en enero de 2019, es debida a los eventos VT, puesto que la energía de los otros tipos de eventos es muy baja y queda inmersa. La energía de los VT mostró una disminución del 75%, pasando de 1.51×10^{17} ergios a 3.72×10^{16} ergios, en comparación con lo registrado en diciembre de 2018. Los

picos energéticos del mes se registraron en enero 6 y enero 15 con 1.41×10^{16} ergios y 1.11×10^{16} ergios, respectivamente (Tabla 19, Figura 71).

Tabla 19. Energía de eventos VT, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Energía VT
Diciembre de 2018	1.51E+17
Enero de 2019	3.72E+16

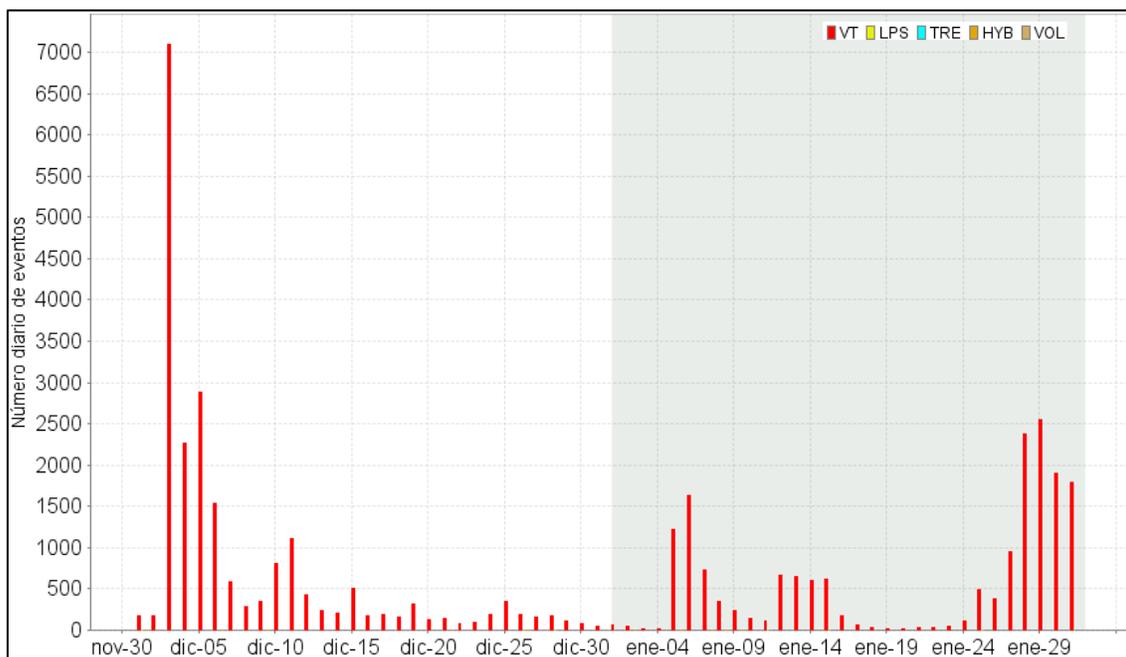


Figura 70. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo durante diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado

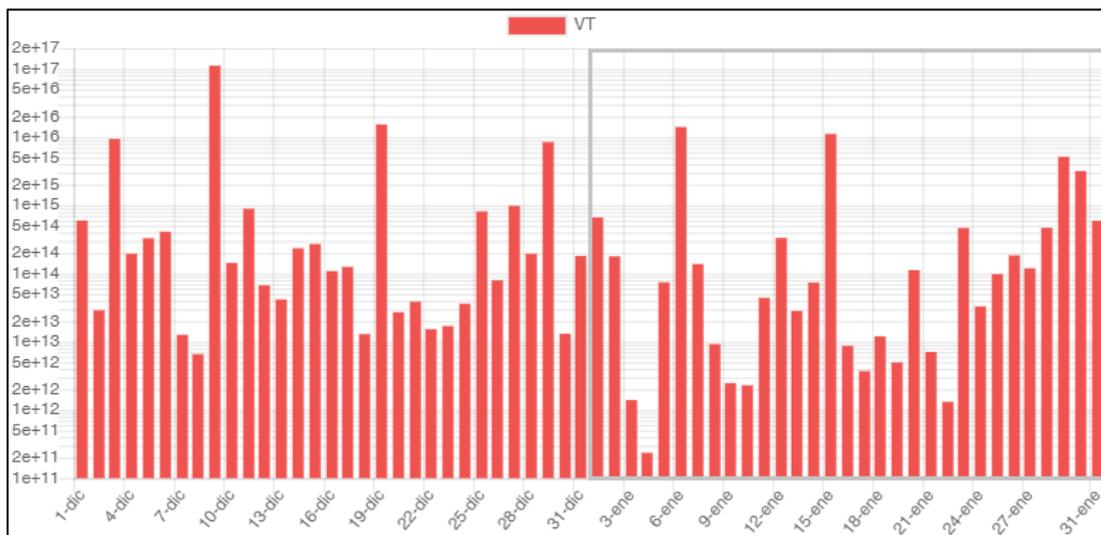


Figura 71. Energía diaria de sismos VT durante diciembre de 2018 y enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno gris resalta el periodo evaluado

Fue posible localizar 1333 VT, la mayoría ubicados en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, a distancias entre cero y 5 km, con profundidades menores de 8 km; otros pocos sismos se ubicaron hacia el suroriente, en distancias entre 2.5 y 14 km y profundidades entre 1.5 y 11 km con respecto a su cima (4700 m), la magnitud local máxima alcanzada fue de 3.2 en la escala de Richter (Figura 72). Se resalta el registro de dos VT, el primero el día 6 de enero a las 12:14 p.m. hora local, ubicado a 2 km al sur suroccidente de Chiles, con profundidad de 4 km y ML de 3.1; el segundo el día 15 de enero, ubicado a 2.3 al suroccidente de Chiles, con profundidad de 4.3 km y ML de 3.2 en la escala de Richter, ninguno de estos sismos fue reportado como sentido.

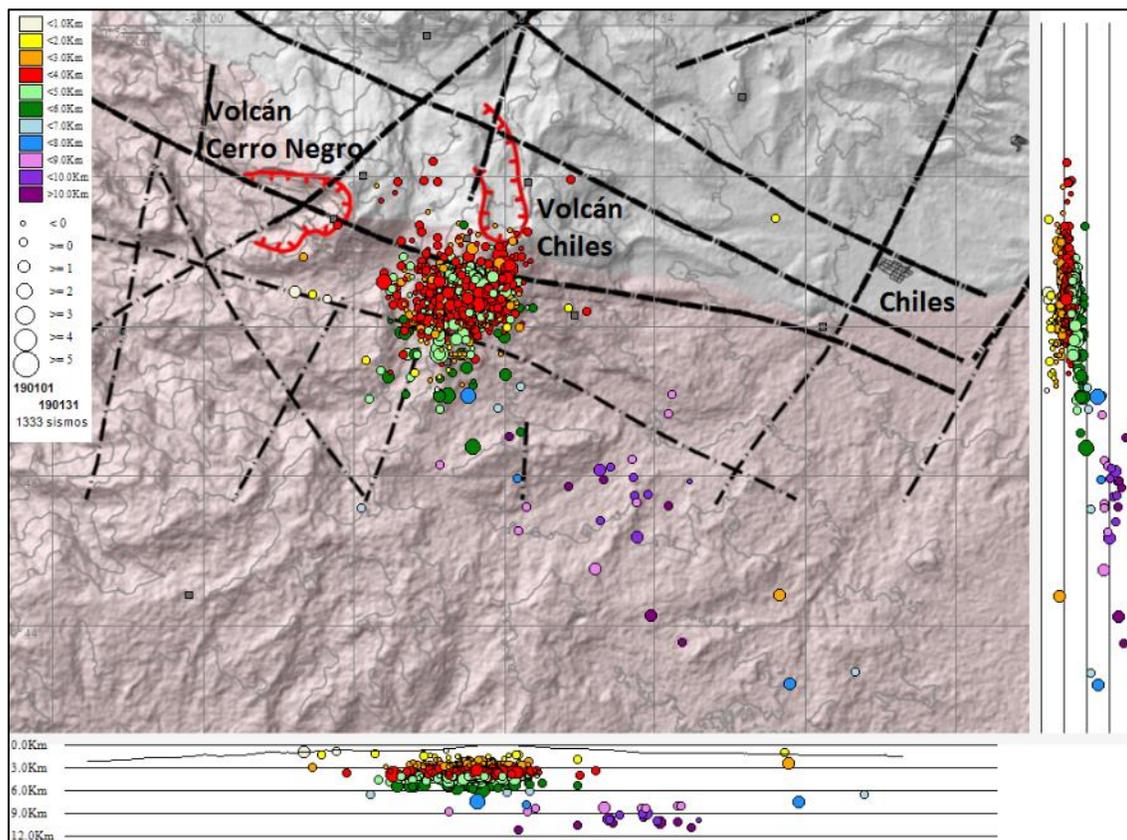


Figura 72. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero de 2019

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destaca el registro de 14 sismos VT con ML mayor o igual a 2.0; en la Tabla 20 se consignan las características de localización de los VT con ML igual o mayor a 2.7.

Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 2.7 registrados en Chiles - Cerro Negro en enero de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
06/01/2019	12:14	0-48.06	77-56.32	4.1	3.1
15/01/2019	14:44	0-48.21	77-56.87	4.3	3.2
29/01/2019	18:01	0-48.32	77-56.32	3.8	2.7

3.4 Deformación

Desde el 1 de octubre de 2018 se observa estabilidad en las componentes de inclinación de Chiles, luego del comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte reportado desde el 13 de abril de 2016 (Figura 73).

El inclinómetro instalado en la superficie del Volcán Cerro Negro, a partir de diciembre de 2018, su componente Este tiene una tendencia levemente descendente, mientras la Norte levemente ascendente, acumulando cada una cerca de 50 urad, estos cambios pueden estar asociados a las variaciones de temperatura, teniendo en cuenta que esta tendencia se observa en el sensor de temperatura (Figura 74).

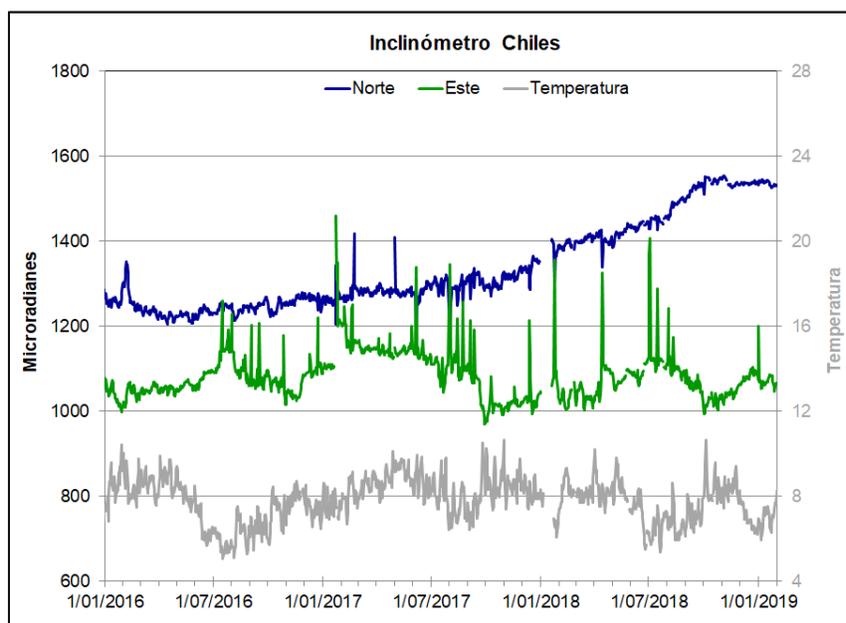


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2019

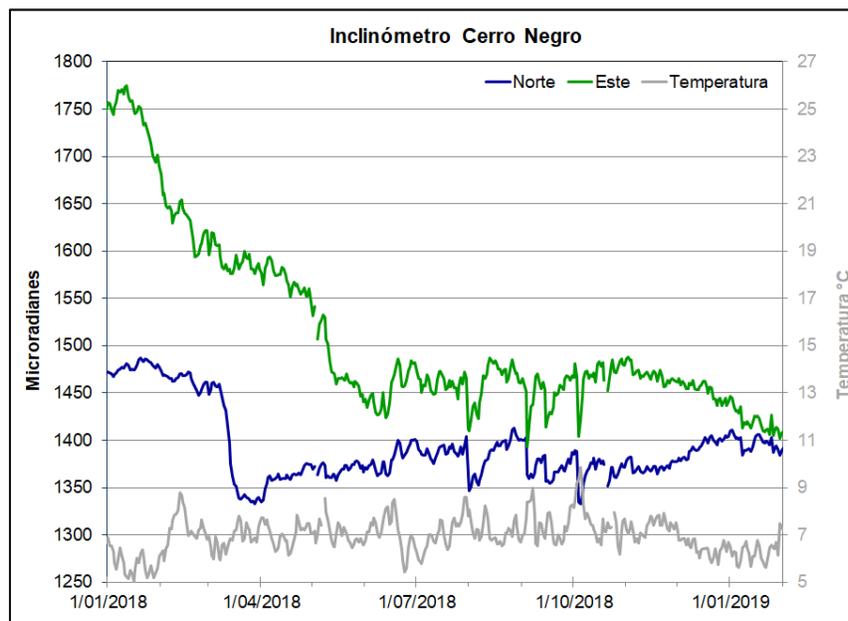


Figura 74. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

3.5 Geoquímica

3.5.1 Registro de temperatura – Estaciones térmica Termales Volcán Chiles

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio de la fuente termal donde se realizan periódicamente muestreos geoquímicos (Figura 75, Tabla 21 en red de vigilancia).

En la figura 76 se registran las variaciones en el tiempo, presentando un valor máximo de $44,2^{\circ}\text{C}$ (Tabla 22). Para el periodo evaluado se observa un pequeño incremento a partir del 28 de enero, estas variaciones corresponden a la línea base de información y no están relacionadas con actividad volcánica. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

Tabla 21. Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles

FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318

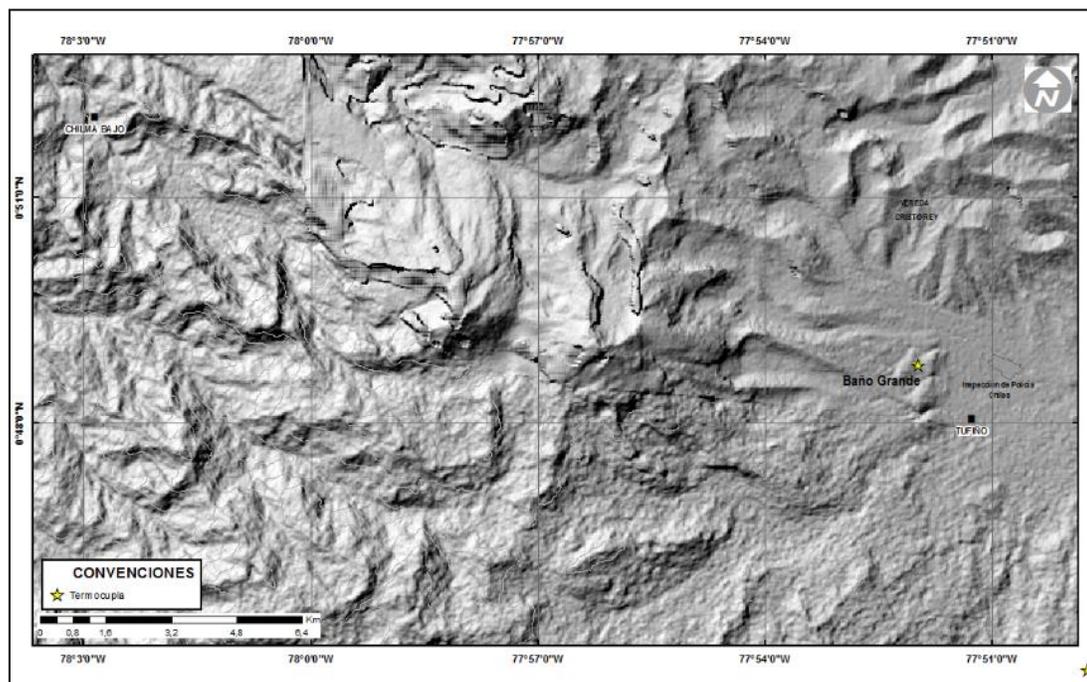


Figura 75. Mapa de localización de la estación térmica telemétrica Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles

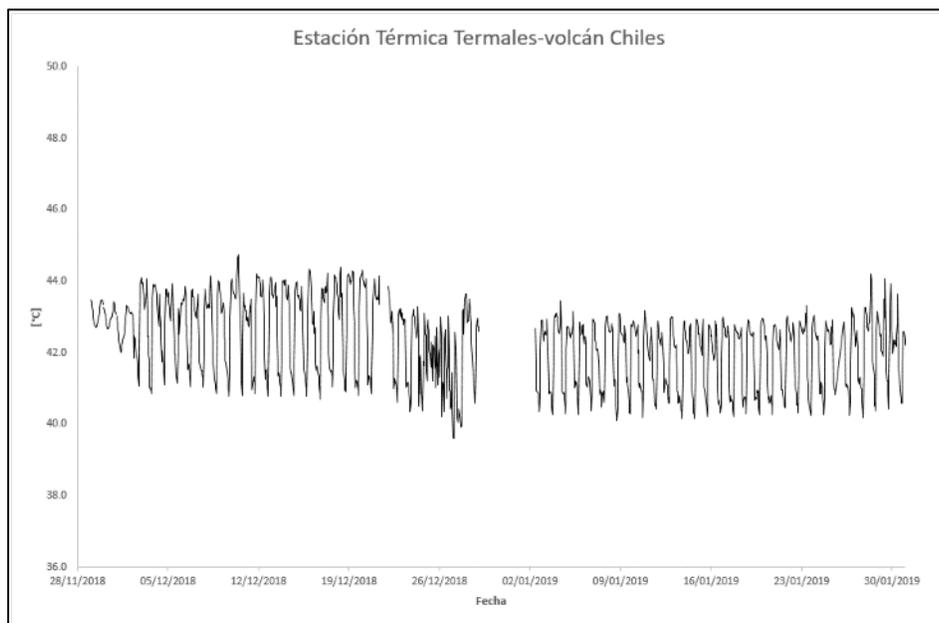


Figura 76. Temperatura estación térmica Baño Grande-Volcán Chiles-enero 2019

Tabla 22. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – enero 2019

Temperatura	[°C]
Promedio	41.89
Máximo	44.20
Mínimo	40.11

3.5.2. Muestreo de aguas en fuentes termales - Volcán Chiles

El volcán Chiles cuenta con una red actual de monitoreo de 8 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Baño Grande (A), FT Aguas Hediondas (B), FT Lagunas Verdes (C), FT Río Blanco (D), FT el Hondón (E), FT El rincón más Bello (Balneario) (F), FT La Calera (G), FT El Infiernillo (H). (Figura 75, en red de vigilancia).

A continuación se presenta para las FT Aguas Hediondas, Baño Grande, Lagunas Verdes y El Rincón más Bello, las variaciones de la concentración de los aniones cloruro y sulfato. Los datos corresponden a los recientes análisis de resultados enviados por el Laboratorio de Geoquímica, los cuales se dan a conocer en el informe mensual actual. El muestreo para las FT mencionadas se realizó en noviembre de 2018.

El comportamiento de la concentración de los aniones cloruro y sulfato no presentan variaciones importantes, estos datos corresponden a la línea base de información (Figuras 77, 78, 79 y 80).

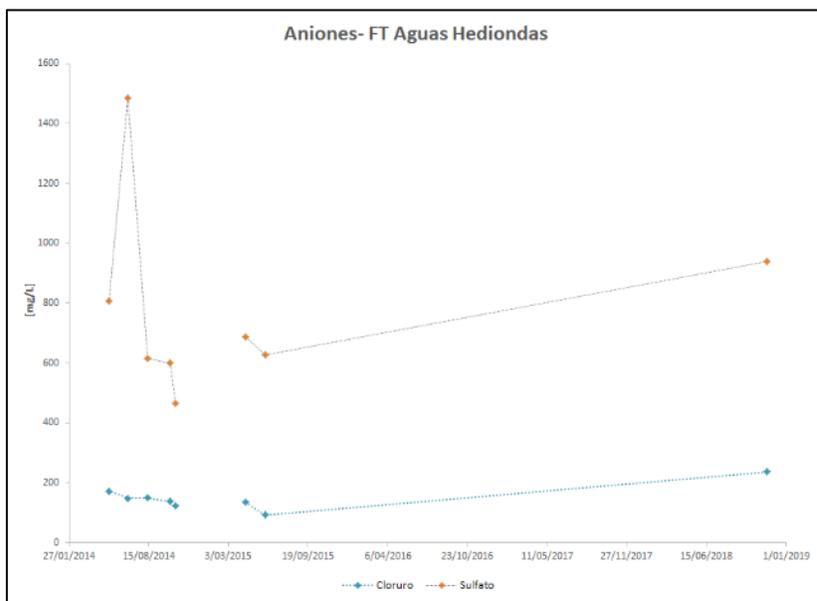


Figura 77. Variación concentración aniones FT Aguas Hediondas- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

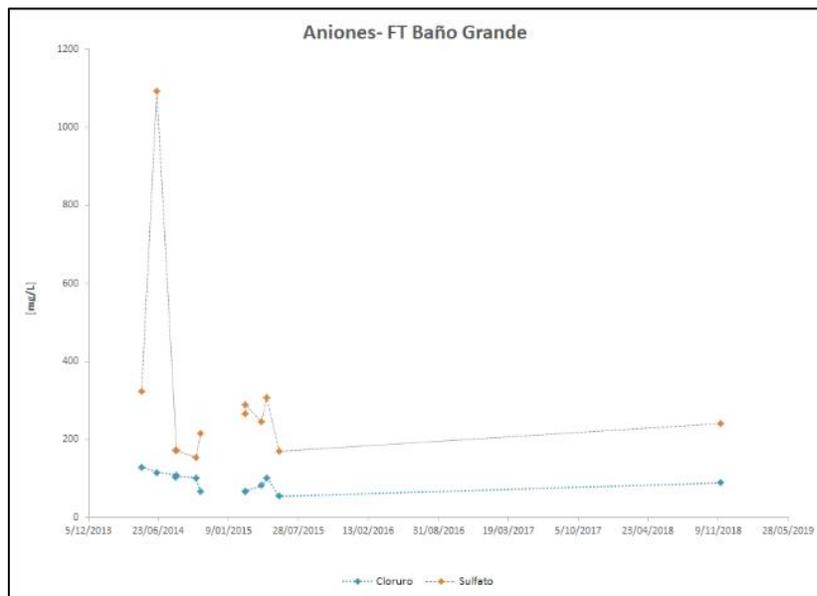


Figura 78. Variación concentración aniones FT Baño Grande- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

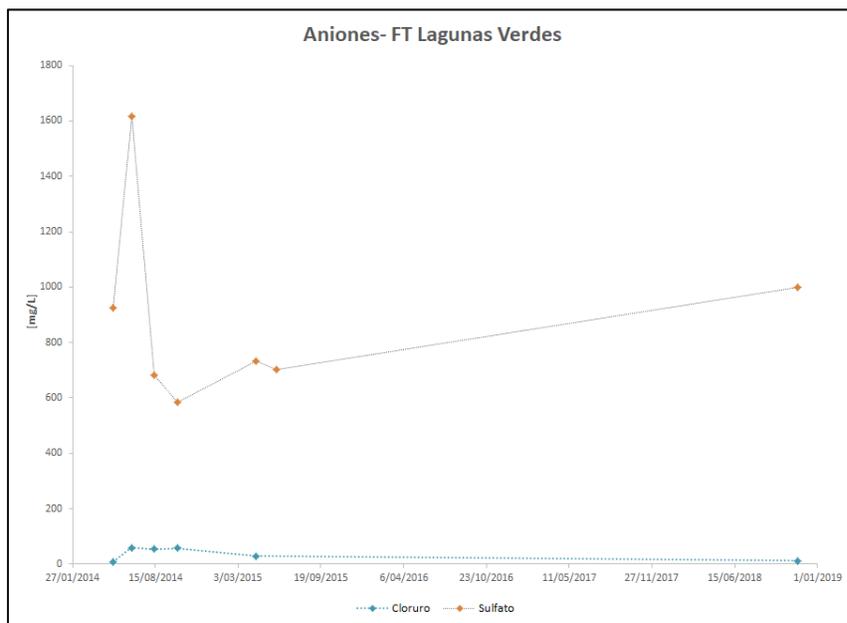


Figura 79. Variación concentración aniones FT Lagunas Verdes- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

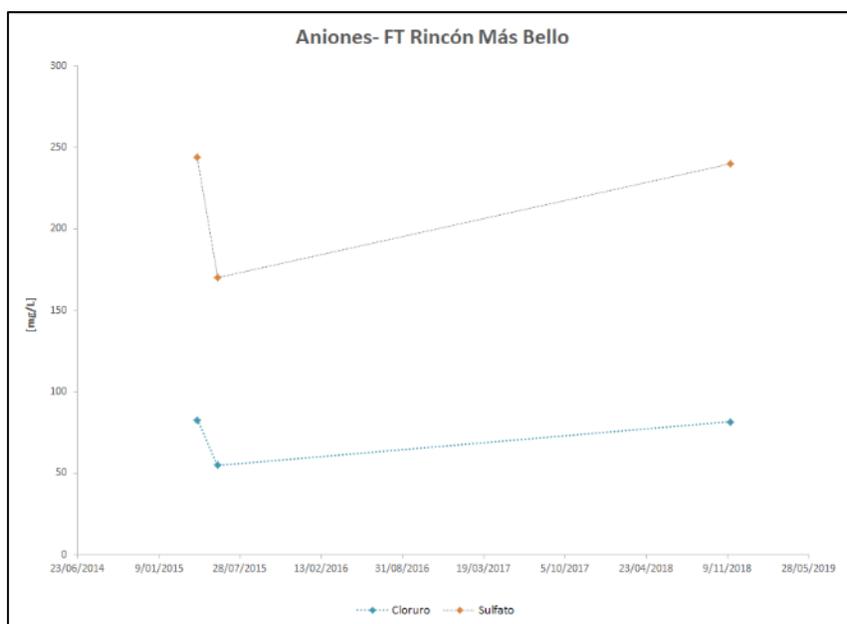


Figura 80. Variación concentración aniones FT El Rincón más Bello- Volcán Chiles (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

3.6 Actividad Superficial

En el mes de enero de 2019 no se observó ni se tuvo reportes asociados con actividad superficial de estos volcanes.

3.7 Conclusiones

La temperatura registrada en la estación Termales, presenta un valor máximo de 44.2°C, se observa un pequeño incremento a partir del 28 de enero, estas variaciones corresponden a la línea base de información y no están relacionadas con actividad volcánica.

El comportamiento de la concentración de los aniones cloruro y sulfato en las FT Aguas Hediondas, Baño Grande, Lagunas Verdes y El Rincón más Bello no presentan variaciones importantes, estos datos corresponden a la línea base de información.

En enero de 2019 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró disminución en su ocurrencia y energía, con predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT). Se destaca el registro de 14 sismos VT con ML entre 2.0 y 3.2 en la escala de Richter, ninguno fue reportado como sentido.

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 de 2019 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juan 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, uno de ellos instalado al sector nororiente del volcán. 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 23, Figura 82). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 23, Figura 82).

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 72 % (Figura 83)). La estación Florida estuvo fuera de funcionamiento ya que fue objeto de saqueo.

Tabla 23. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2019

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

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles – Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - enero 2019

I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	8.9	NE	4,6	W	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9.6	NE	6,2	NW	2726
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	7.53	NW	4	WSW	2995
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7.5	NNW	10.3	W	2761
Animas I	No Telemétrica	Fuente Termal		8,8	NE	6,9	NW	2586
Animas II	No Telemétrica	Fuente Termal		9,7	NE	7	NW	2486
Animas III	No Telemétrica	Fuente Termal		9,1	NE	6,6	NW	2578
El Silencio	No Telemétrica	Fuente Termal		5,5	SW	16,9	SW	2458
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

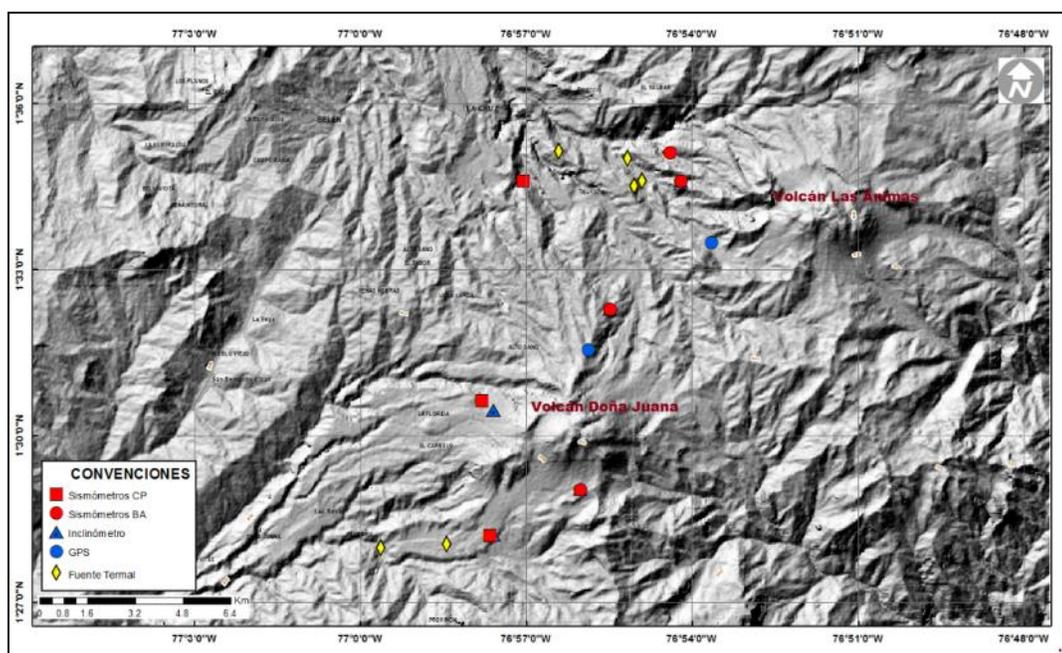


Figura 82. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2019

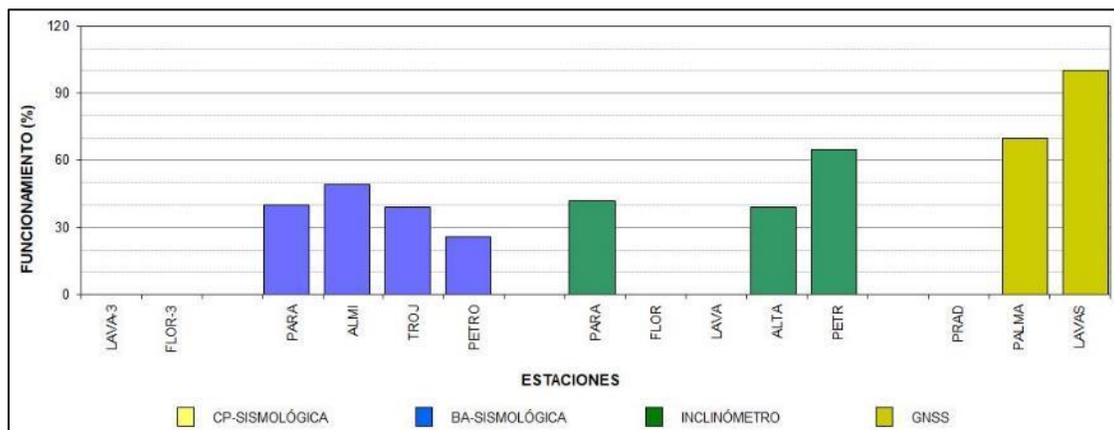


Figura 83. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2019

4.1.2 Sismología

La sismicidad de enero de 2019 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas se incrementó un 43%, pasando de 7 a 10 eventos en comparación con el mes de diciembre de 2018. Toda la sismicidad fue asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 10 eventos, no se registraron eventos de tipo HIB, ni eventos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos (Tabla 24, Figura 84). 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). Los sismos de tipo VT incrementaron su número un 67% pasando de 6 a 10 eventos (Tabla 24, Figura 84). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 12 de enero con 5 eventos VT.

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre de 2018 y enero de 2019 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 de 2018	6	0	0	0	1	7
Enero de 2019	10	0	0	0	0	10

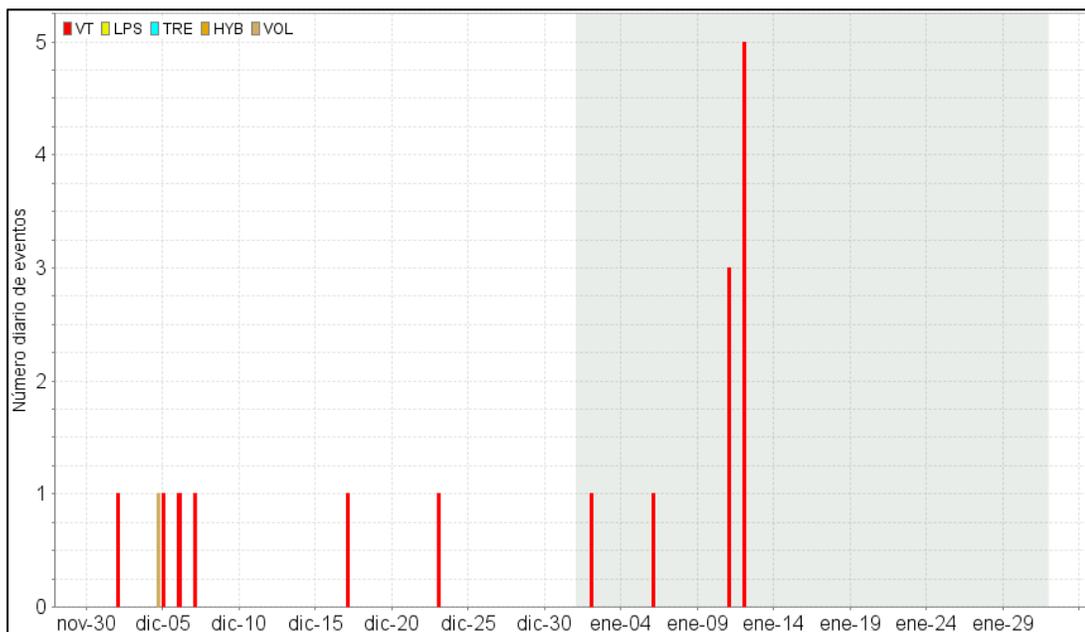


Figura 84. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

Se localizaron 5 VT que se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia de los dos volcanes, a distancias entre 1.6 y 15 km, con profundidades entre 1.4 y 9 km con respecto a la cima de Las Ánimas (4300 msnm) y ML máxima de 1.0 (Figura 85). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 1.08×10^{13} ergios.

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, solamente un VT alcanzó una magnitud local de 1.0 en la escala de Richter, en la Tabla 25 se consignan sus características de localización.

Tabla 25. Sismo con ML 1.0 registrado en enero de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
12/01/2019	21:07	1-33.76	76-52.46	9.3	1.0

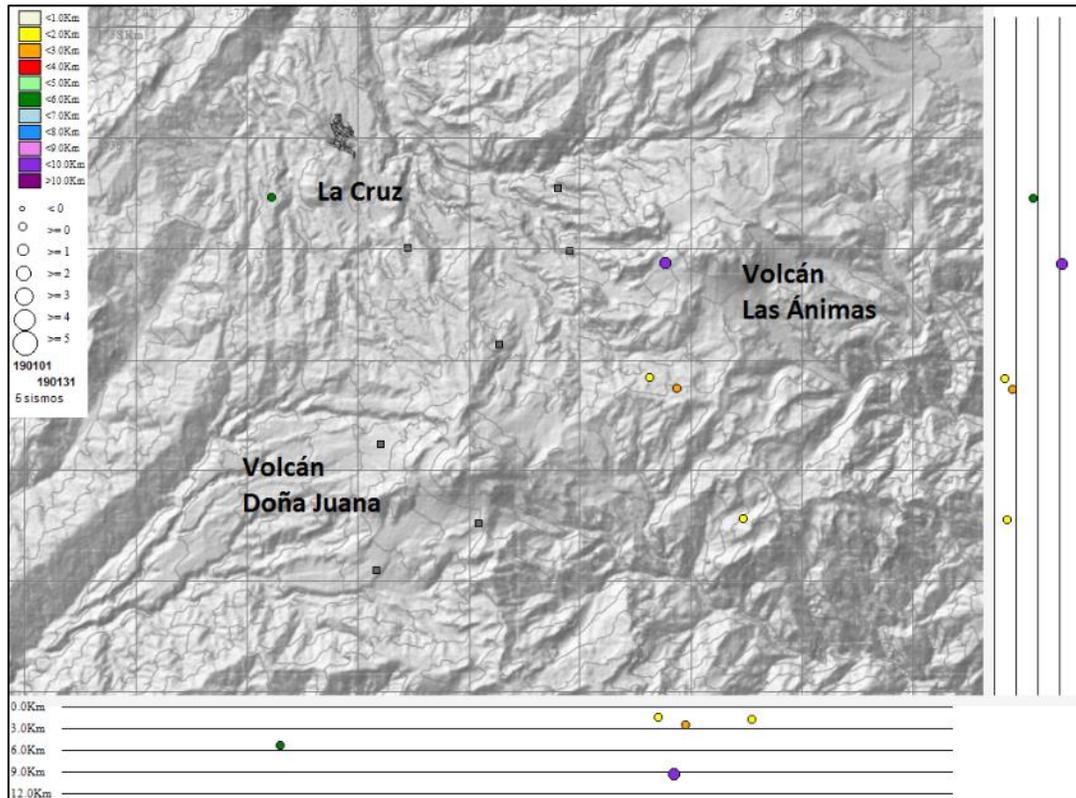


Figura 85. Sismos VT localizados en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, en enero de 2019

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

Las componentes del inclinómetro electrónico Altamira mantienen la tendencia estable para la Norte desde noviembre de 2016 y la Este, una tendencia levemente ascendente, con una variación menor de 20 urad (Figura 86). Para la estación Petroglifo, el inclinómetro electrónico en la componente Este presenta estabilidad desde finales de marzo de 2018, y la Norte desde noviembre de 2018, fecha en la que se niveló el equipo (Figura 87).

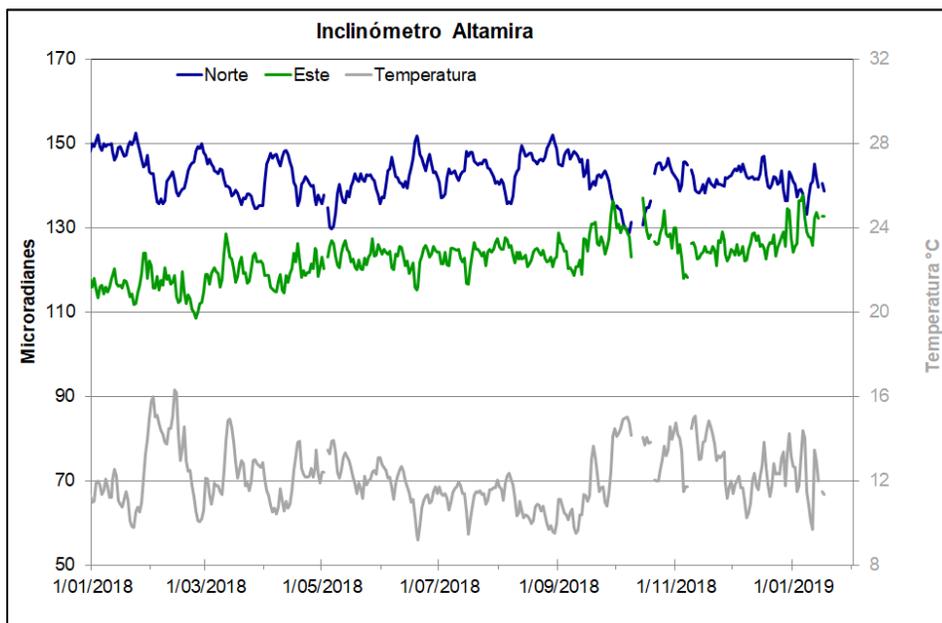


Figura 86. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

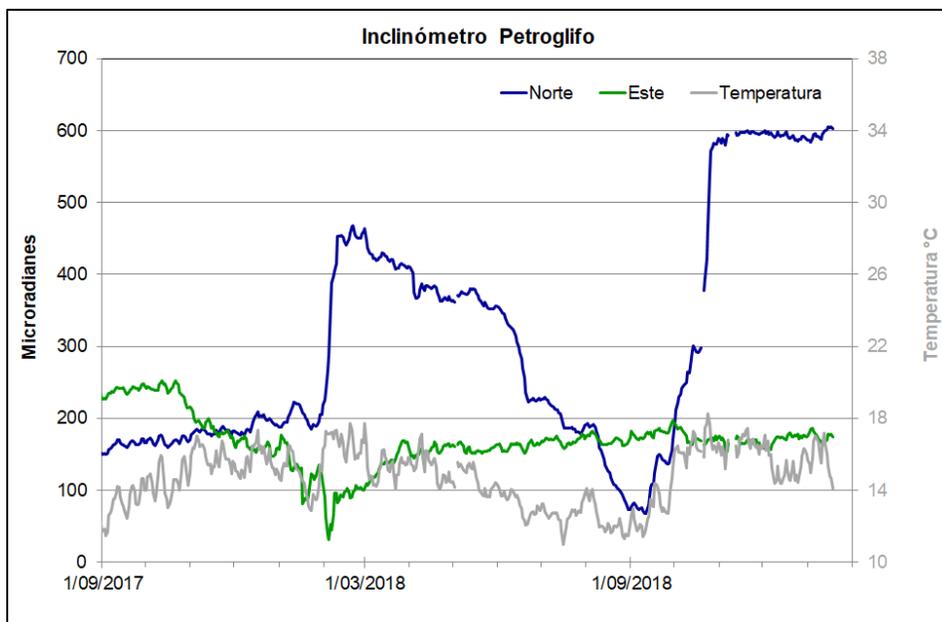


Figura 87. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2017 y el 31 de enero de 2019

En cuanto al volcán Doña Juana el inclinómetro Paramo (Figura 88), continúa mostrando cambios, que pueden obedecer a problemas electrónicos, ya que hasta la fecha no se han asociado a cambios en la actividad volcánica.

Debido a problemas de telemetría, para el periodo evaluado no se tiene información de la estación de Inclinometría Lavas, el último dato recibido fue en diciembre de 2018, por lo cual no se muestra en el presente informe.

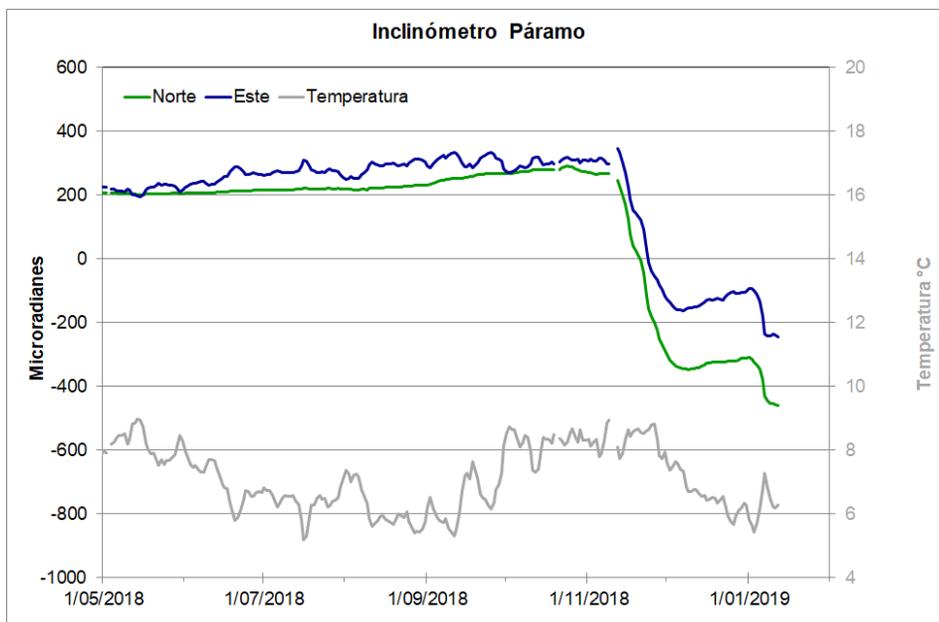


Figura 88. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de mayo de 2018 y el 12 de enero de 2019

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el volcán Doña Juana 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, correcciones que se deben hacer al dato de posición de los satélites, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figura 89, se indica el comportamiento del desplazamiento en las direcciones Este, Norte y Altura del GNSS La Palma, instalado en Doña Juana.

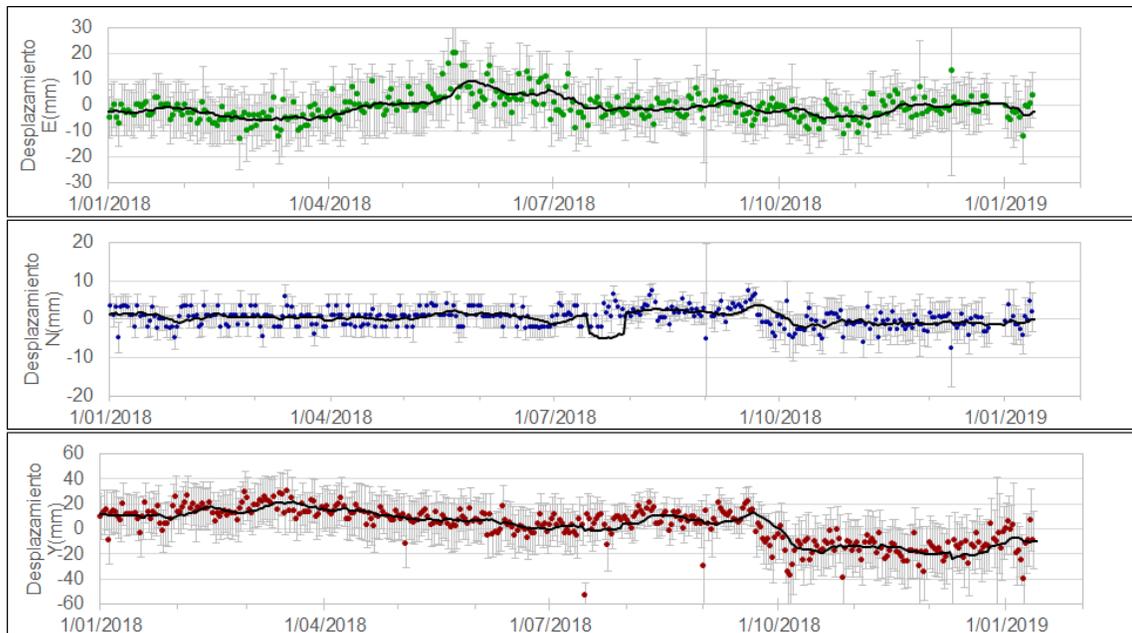


Figura 89. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 de 2017 y el 12 de enero de 2019

Es de resaltar que entre el 19 de septiembre y el 6 de octubre de 2018, se evidencia un cambio descendente en los desplazamientos Norte y vertical del GNSS Palma, en la Norte de 10 mm y en la Vertical de 59 mm, es muy coincidente con lo registrado por la componente Norte del inclinómetro Petroglifo (Figura 90), acumulando 647 urad entre el 11 de septiembre y el 7 de noviembre de 2018 (fecha en la cual se niveló el equipo).

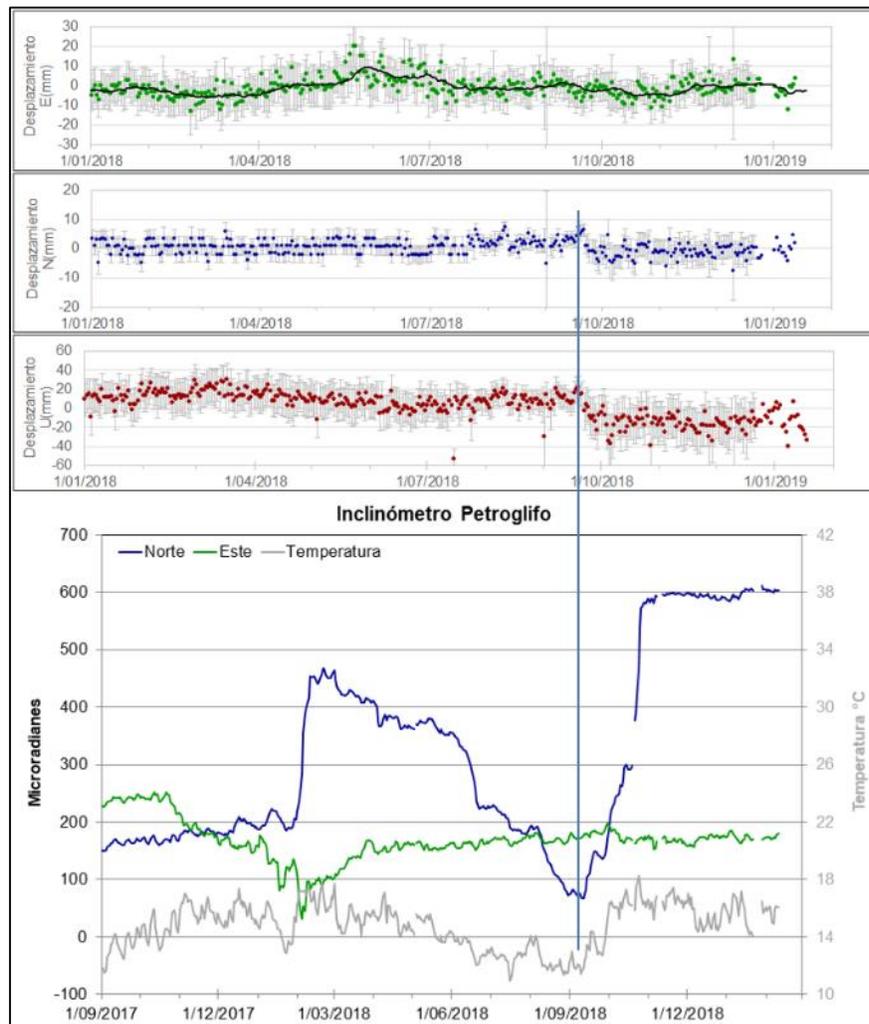


Figura 90. Registros del GNSS Palma (superior) e inclinómetro electrónico Petroglifo (inferior), donde se resalta el cambio en las componentes de las dos estaciones en septiembre de 2018

4.1.4 Geoquímica

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

El complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas cuenta con una red actual de monitoreo de 6 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Tajumbina (A), FT Animas I (B), FT Animas II (C), FT Animas III (D), FT La Vega (E), FT El Silencio (F) (Figura 82, Tabla 23 en red de vigilancia).

A continuación se presenta para las FT Tajumbina, Animas I, Animas III, El Silencio, La Vega variaciones de la concentración de los aniones bromuro, nitrato, cloruro, sulfato, fluoruro y fofato. Los datos corresponden a los recientes análisis de resultados enviados por el Laboratorio de Geoquímica, los cuales se dan a conocer en el informe mensual actual. El muestreo para las FT mencionadas se realizó en noviembre de 2018. No fue posible hacer el muestreo en la FT Ánimas II por intervención antrópica y consecuente contaminación del manantial.

Cabe destacar el incremento en la concentración del ión bromuro en las FT Tajumbina, Ánimas I, Ánimas III, además de los iones: cloruro, fluoruro y nitrato en estas mismas termales (Figuras 91, 92 y 93).

Puede observarse como tendencia en el FT Ánimas III, la disminución en la concentración del ión cloruro (Figura 93).

En la FT termal El silencio no se observan cambios relevantes en comparación con meses anteriores (Figura 94).

Para el caso de la FT La Vega, no es posible observar un comportamiento comparativo con respecto a los iones como el Fosfato y nitrato que indican un relativo aumento, debido a los pocos datos detectados en el tiempo, razón por la cual, no ha sido posible obtener una línea base que permita interpretar alguna relación con cambios internos del sistema volcánico (Figura 95), sin embargo se continuará con el seguimiento a estos valores de concentración.

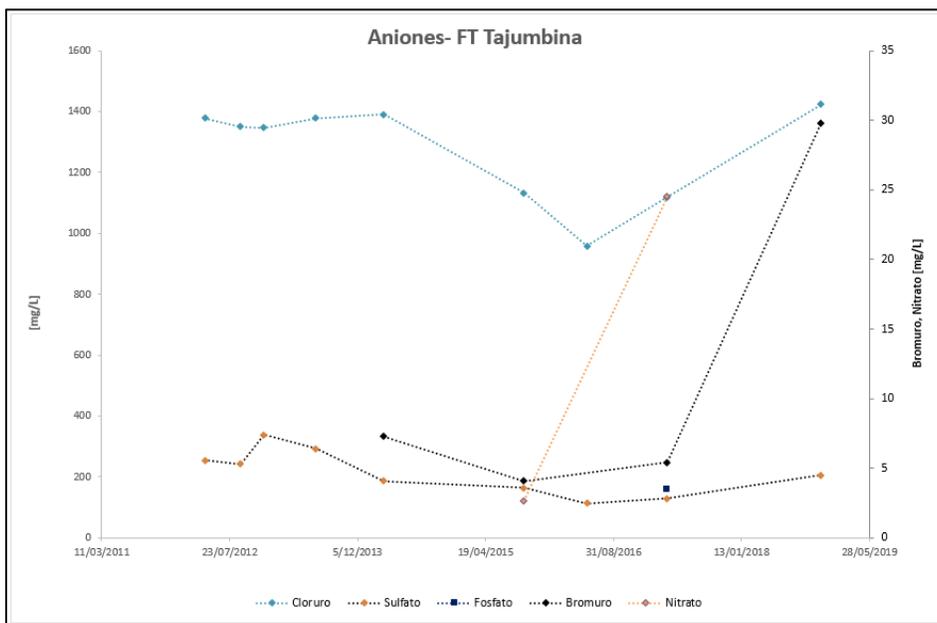


Figura 91. Variación concentración aniones FT Tajumbina - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

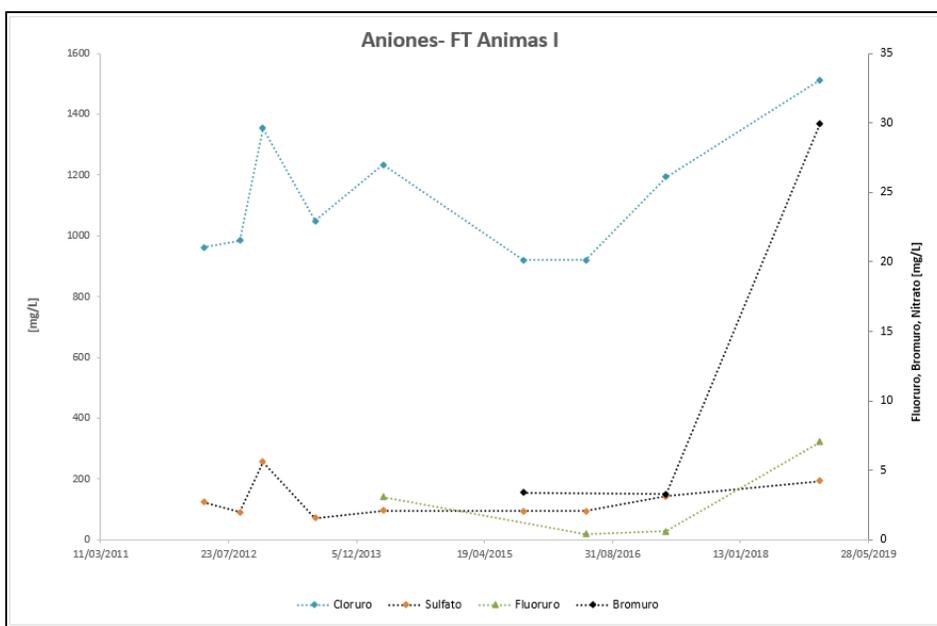


Figura 92. Variación concentración aniones FT Ánimas I - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

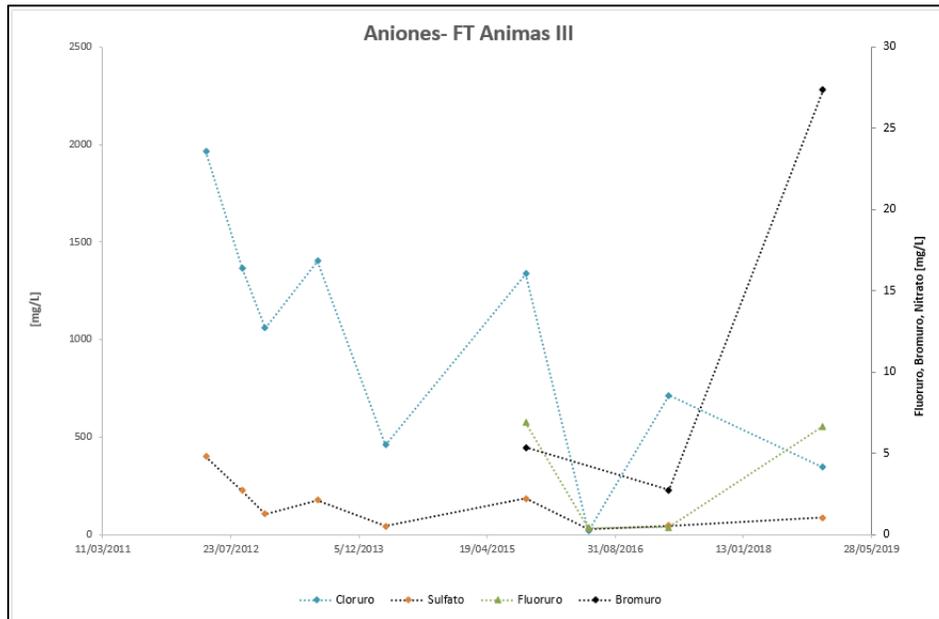


Figura 93. Variación concentración aniones FT Ánimas III - Volcán Las Ánimas (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

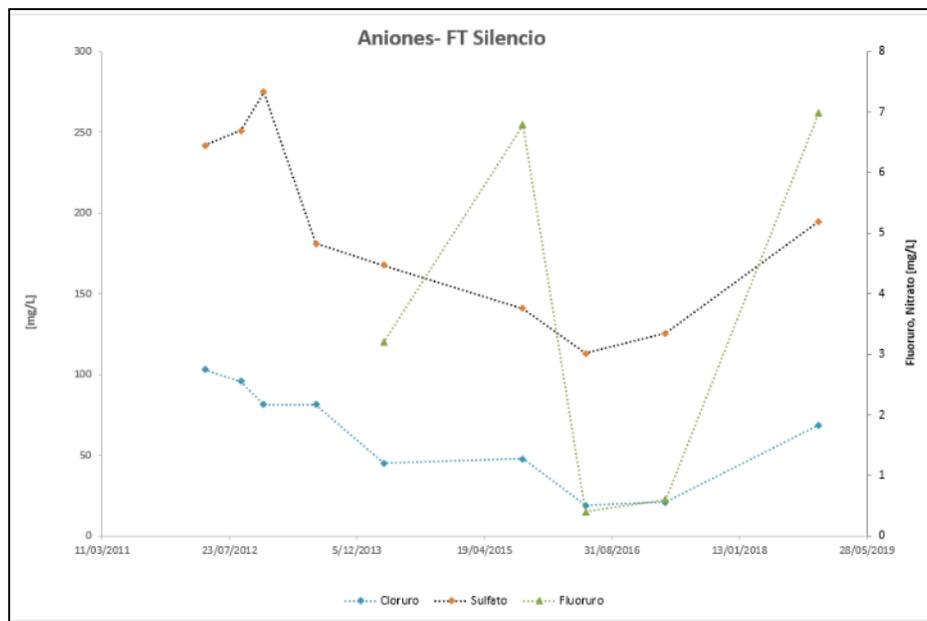


Figura 94. Variación concentración aniones FT El Silencio- Volcán Doña Juana (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

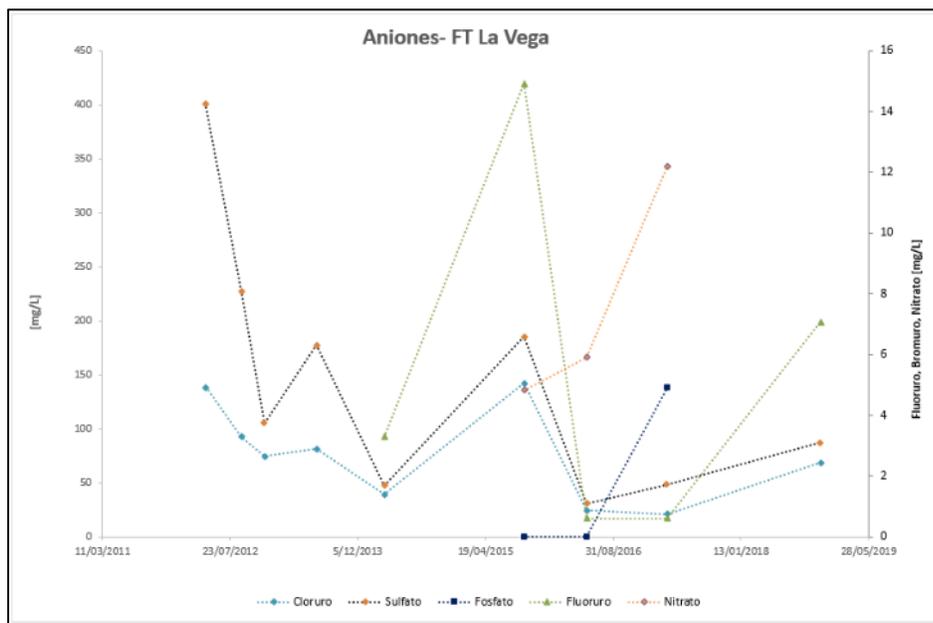


Figura 95. Variación concentración aniones FT La Vega - Volcán Doña Juana (noviembre 2018) en el presente informe-enero 2019

4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2019 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

4.1.6 Conclusiones

Se observó incremento en la concentración del ión bromuro en las FT Tajumbina, Ánimas I, Ánimas III, además de los iones: cloruro, fluoruro y nitrato en estas mismas termales.

Pudo apreciarse como tendencia en el FT Ánimas III, la disminución en la concentración del ión cloruro.

En la FT termal El silencio no se observan cambios relevantes en comparación con meses anteriores.

Para el caso de la FT La Vega, no es posible observar un comportamiento comparativo con respecto a los iones como el Fosfato y nitrato que indican un relativo aumento, lo

anterior, debido a los pocos datos detectados en el tiempo, razón por la cual, no ha sido posible obtener una línea base que permita interpretar alguna relación con cambios internos del sistema volcánico.

Las manifestaciones termales, están regidas por interacciones agua-roca, recorrido, tiempo de residencia de las mismas en profundidad, como también su interacción con los gases ácidos de origen volcánico, razón por la cual se hacen presentes las variaciones de estos iones.

En enero de 2019 se registró incremento en la ocurrencia sísmica, en su totalidad asociada con fractura de roca. Los eventos se localizaron de manera dispersa en la zona de influencia de los dos volcanes, con ML máxima de 1.0 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante enero de 2019 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 96 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 26 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. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

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 97).

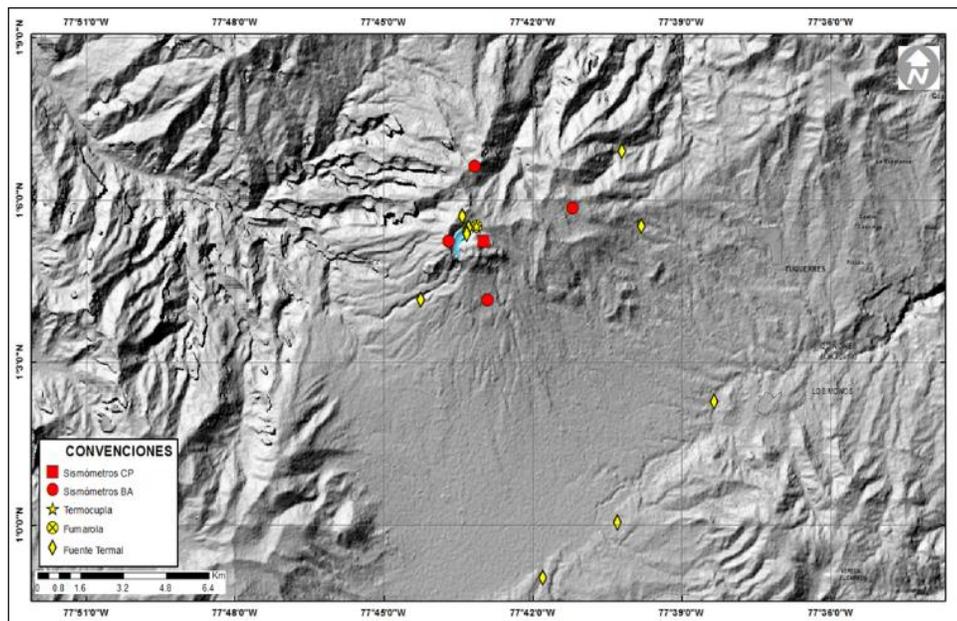


Figura 96. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2019

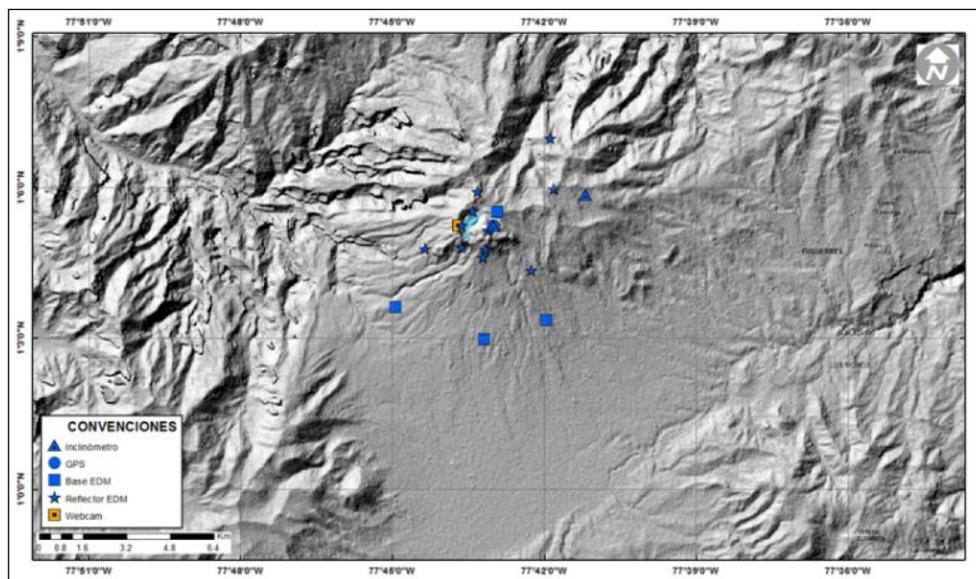


Figura 97. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de enero de 2019

Tabla 26. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azuftral en el mes de enero de 2019

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 Azuftral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 98 % para este mes (Figura 98).

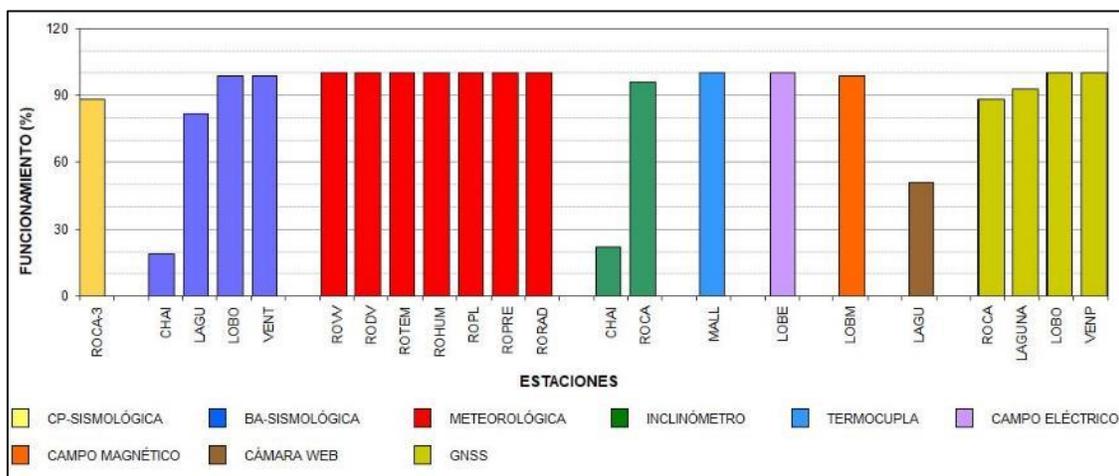


Figura 98. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azuftral durante enero de 2019

4.2.2 Sismología

En enero de 2019 la sismicidad de Azuftral disminuyó un 28% pasando de 25 a 18 eventos, con relación a lo registrado en diciembre de 2018. El mayor aporte en ocurrencia provino de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 17 eventos que corresponden al 94% y 1 evento de tipo híbrido (HIB) que corresponde al 6% del total de sismos (Tabla 27, Figura 99). El pico de sismicidad fue de 4 eventos VT, registrados el día 25 de enero. Se localizaron 5 VT, ubicados de manera dispersa, en distancias entre 0.5 y 10 km, profundidades entre 0.3 y 10 km con

respecto a la cima (4200 m) y con ML máxima de 1.6 en la escala de Richter (Figura 100). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 1.91×10^{15} ergios.

Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en diciembre de 2018 y enero de 2019 en Azufral

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Diciembre de 2018	24	1	0	0	0	25
Enero de 2019	17	0	0	1	0	18

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 2 sismos VT con magnitud local mayor o igual a 1.2 y en la Tabla 28 se consignan sus características de localización.

Tabla 28 .Sismos con ML mayor o igual a 1.2 registrados en enero de 2019 en la zona de influencia del volcán Azufral

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
11/01/2019	09:14	1-06.16	77-43.10	4.6	1.2
25/01/2019	07:38	1-04.39	77-43.37	10.1	1.6

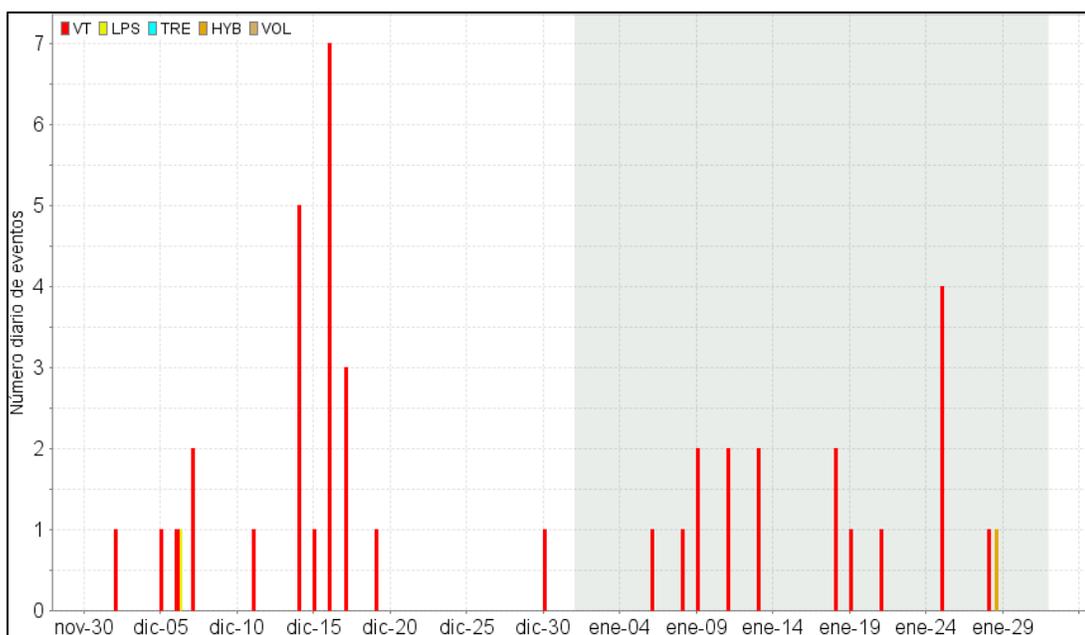


Figura 99. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, durante diciembre de 2018 y enero de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

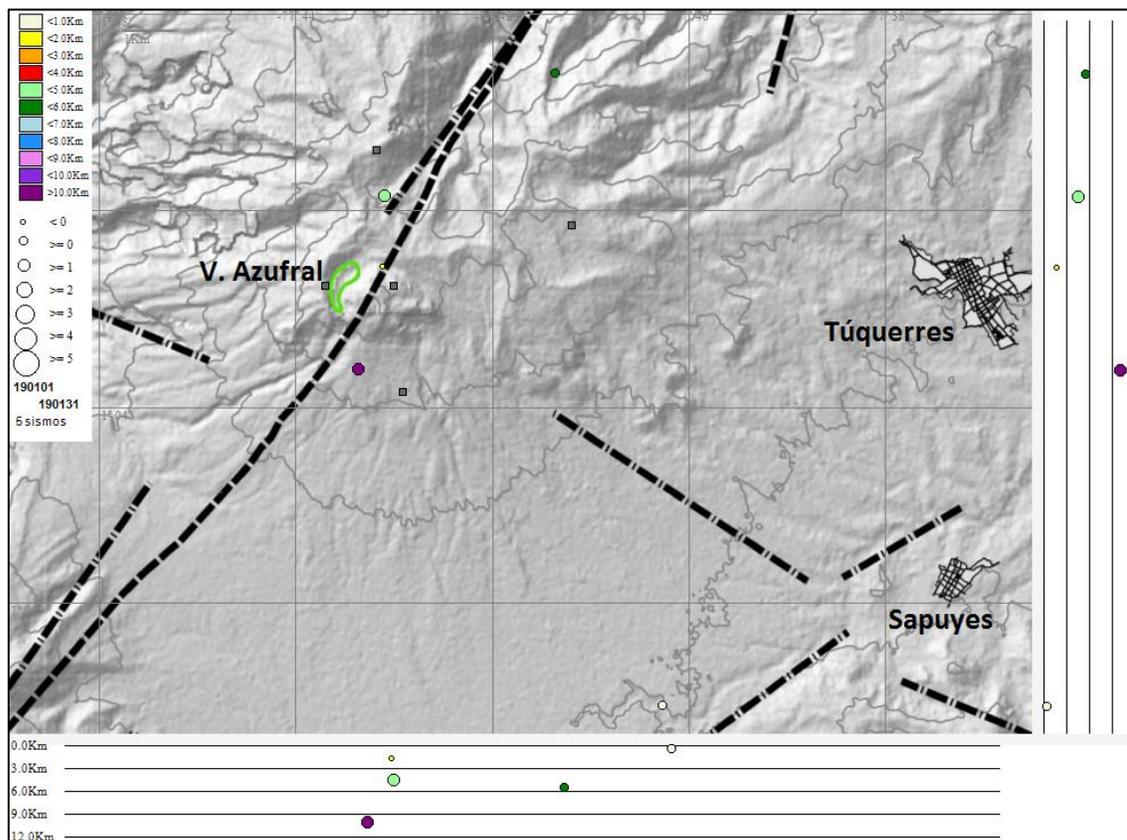


Figura 100. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral, en enero de 2019

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

En el inclinómetro La Roca se observó una ligera tendencia descendente en la componente Este, de unos 40 μrad , entre agosto y noviembre de 2018. Hacia finales de noviembre el inclinómetro se niveló y en las dos componentes se observó un cambio en la tendencia, de descendente a ascendente acumulando hasta la fecha cerca de 10 μrad y 20 μrad , en la componente Este y Norte, respectivamente (Figura 101), en la Norte se presenta este comportamiento desde el 12 de noviembre y en la Este desde el 26 de noviembre de 2018, de igual forma se observan cambios en las tendencias de los registros del inclinómetro electrónico Chaitán (Figura 102), en la componente Norte de ascendente a descendente, acumulando desde el 28 de noviembre de 2018 hasta el 7 de enero de 2019 cerca de 15 μrad y la Este, de descendente a ascendente, registrando 5 μrad entre el 7 de diciembre de 2018 y el 7 de enero de 2019 (fecha en que salió de funcionamiento).

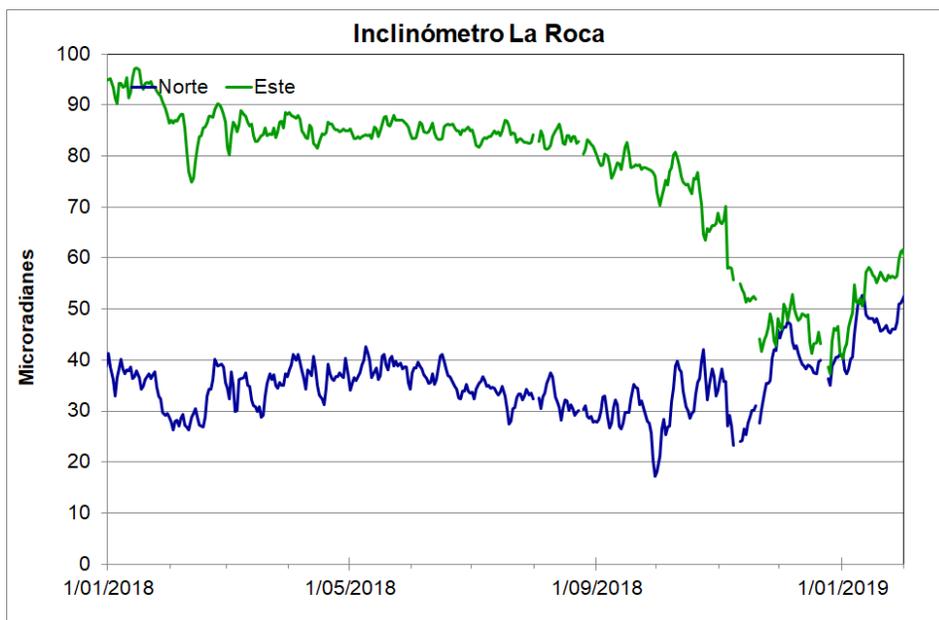


Figura 101. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2019

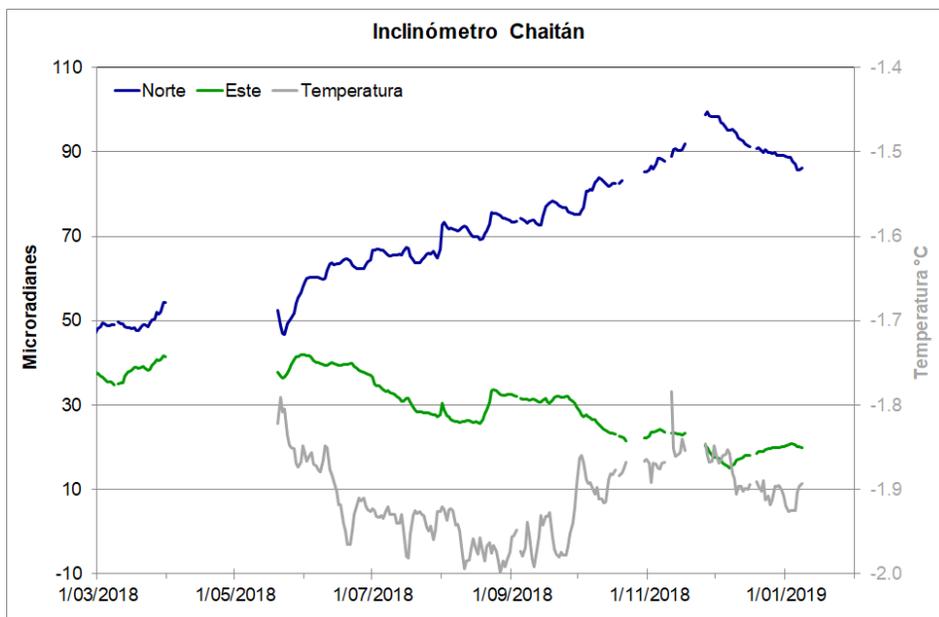


Figura 102. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2018 y el 7 de enero de 2019

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azuftral, 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, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 103 y 104, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Lobo y Ventana.

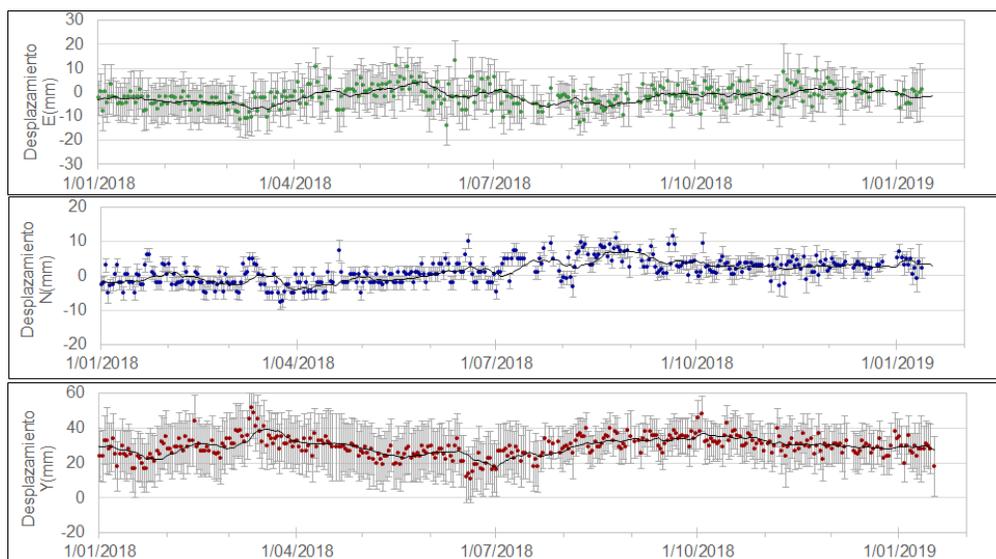


Figura 103. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 12 de enero de 2019

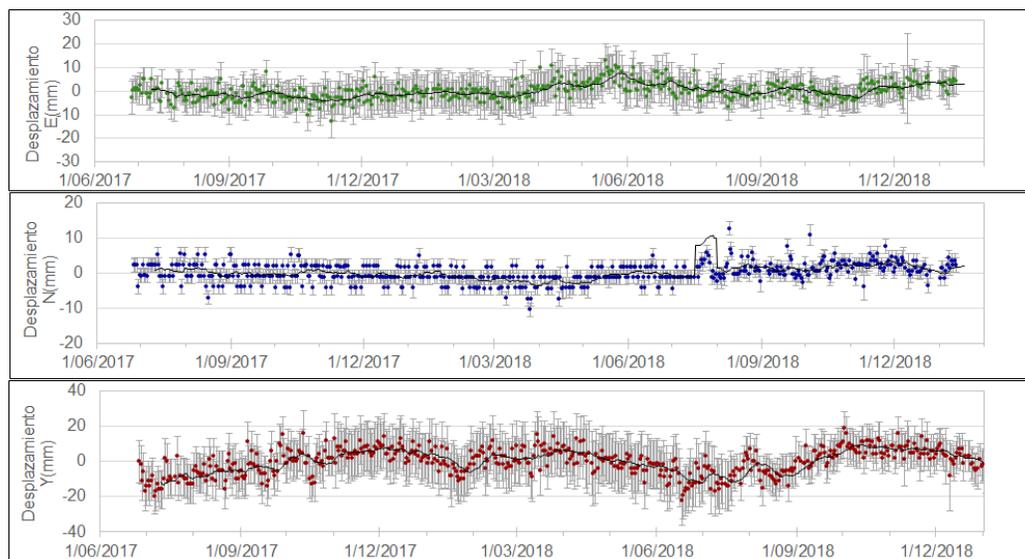


Figura 104. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalada en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 26 de junio de 2017 y el 12 de enero de 2019

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

El monitoreo electromagnético en el volcán Azuftral, en enero, 2019, se realizó con la estación de Lobo que está equipada con un sensor que registra el Campo Magnético de la Tierra, en sus tres componentes, por medio de un sensor tipo fluxgate y, una estación para el monitoreo de las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal de la Tierra, en sus dos componentes. Los registros para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019 muestran tendencia estable, mucho mayor al observado en diciembre, 2018, resaltando las variaciones seculares día-noche y variaciones más pronunciadas, asociadas con tormentas magnéticas externas. El valor promedio del CMT, en la estación Lobo es de alrededor de 25.840 nT (Figura 105). Su comportamiento es muy similar al observado por la estación de Kourou (Figura 105), ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia, estación tomada para el OVS-Pasto como

referencia, y para el mes de enero, 2019 tuvo un valor promedio de campo total de alrededor de los 28.740 nT.

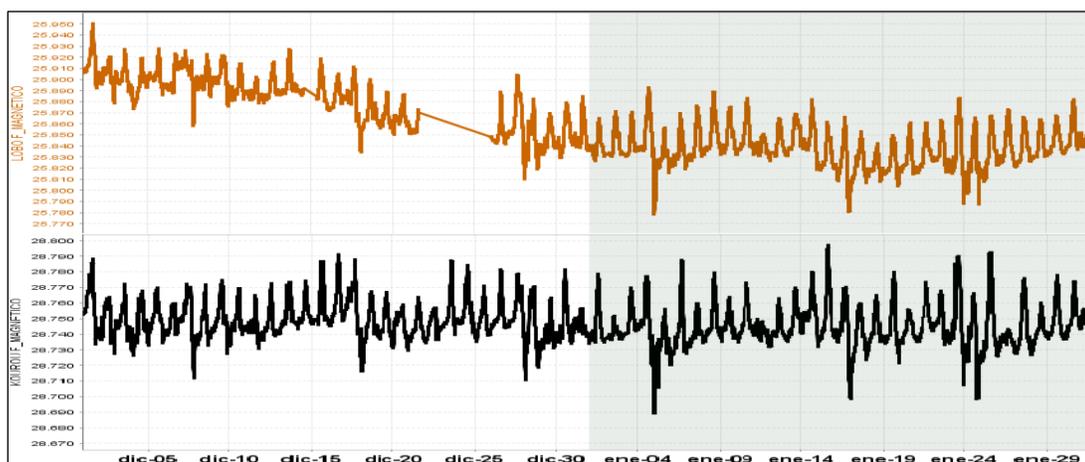


Figura 105. Registro de la componente total del Campo Magnético Terrestre Total (F), en la estación de monitoreo magnético en Azufral, Lobo (naranja) y Kourou (negra); para el periodo entre diciembre, 2018 y enero, 2019. La escala de medición del CMT (F) está dada en nano Teslas (nT)

El comportamiento del CMT-F de la estación de Lobo, en enero, 2019, mostró un comportamiento estable, muy comparable con la estación de referencia Kourou, mostrando variaciones del campo de +50 y – 60 nT, en las dos estaciones, se identificaron también variaciones mayores asociadas con las perturbaciones debidas a tormentas magnéticas externas, con máximos de intensidad de $K_p = 5$, los días 5, 24 y 31 de enero (Figura 106). Estas tormentas magnéticas generaron variaciones del CMT en cada estación, de alrededor de 100 nT. 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 106).

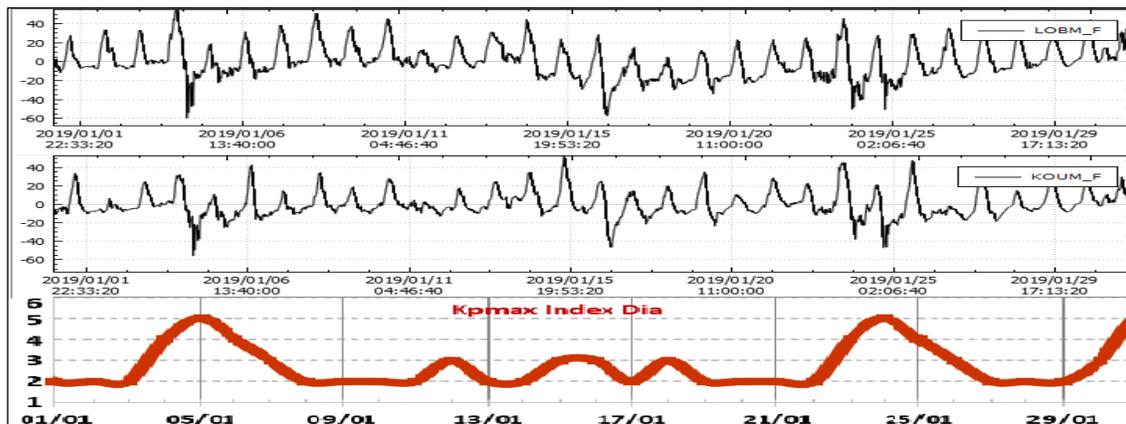


Figura 106. CMT-F, en las estaciones Lobo y Kourou, en enero, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo

Realizando análisis espectral de los registros magnéticos se identificaron frecuencias dominantes con periodo máximo mayor a 4 días, y dominantes de un día, 12 horas y 8 horas (Figura 107). Estos máximos de frecuencia se identificaron tanto en la estación de Lobo como en la estación de referencia Kourou, por lo cual se concluye que corresponden a variaciones externas y que se deben filtrar de los registros.

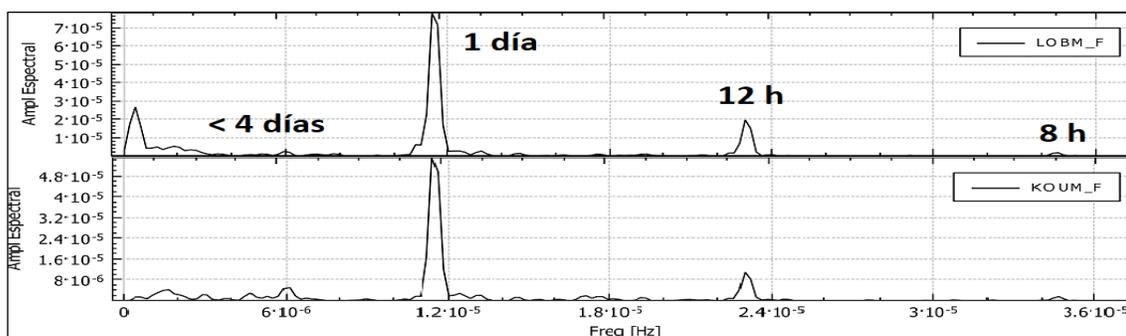


Figura 107. Frecuencias dominantes de los registros magnéticos, donde se identifican las frecuencias del CMT-F, menores a 4.5 días, y dominantes de un día, 1 horas y 8 horas, en las estaciones de Lobo y Kourou

Eliminando estas frecuencias asociadas a las variaciones seculares externas, se obtuvieron los registros de las variaciones propias del campo en la zona, dando como resultado variaciones de ± 20 nT tanto en Lobo como en Kourou, que corresponden a variaciones dentro del rango bajo, para zonas volcánicas con baja actividad (Figura 108). Estas variaciones se incrementaron en las fechas donde se presentaron las tormentas solares.

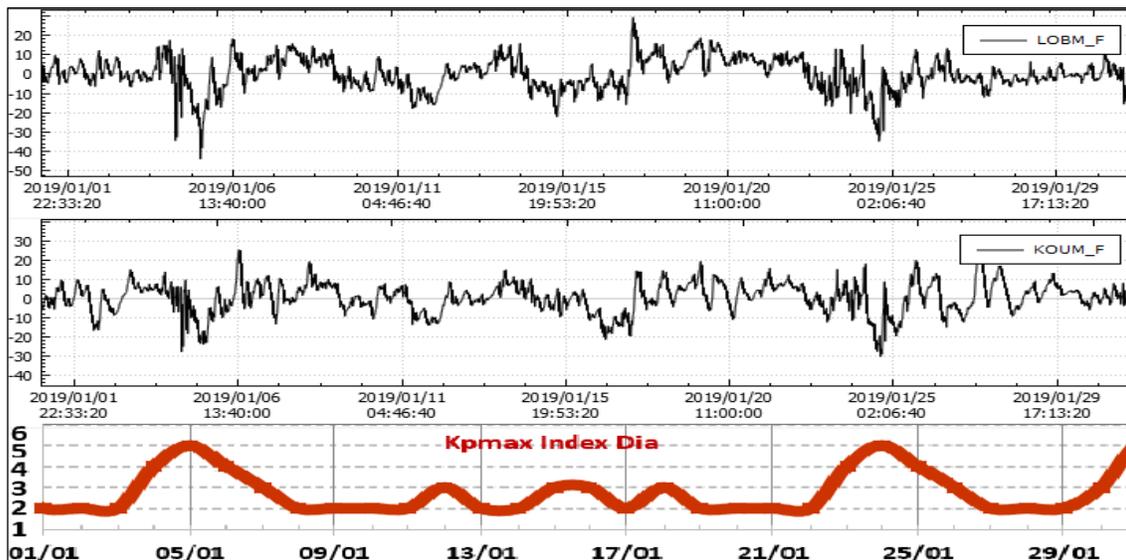


Figura 108. CMT-F, filtrando las frecuencias menores a 4.5 días y de un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de Lobo y Kourou, en enero, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, Kp (rojo), emitidas por el SWPC, para el mismo periodo

En cuanto a las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH), tomando el periodo entre diciembre, 2018 a enero, 2019, se observa un comportamiento ligeramente descendente a inicios de enero y posteriormente tiende a estabilizarse. El valor de CEH para la estación de Lobo es de alrededor de los 110 mV (Figura 109), mientras que las variaciones del campo tienen un valor promedio de 50 mV (Figura 110). Al comparar el comportamiento de la estación de Lobo con la tendencia del régimen de lluvias en la zona, al parecer existe relación en los periodos de incremento de las lluvias con el comportamiento un poco errático del CEH (Figura 109).

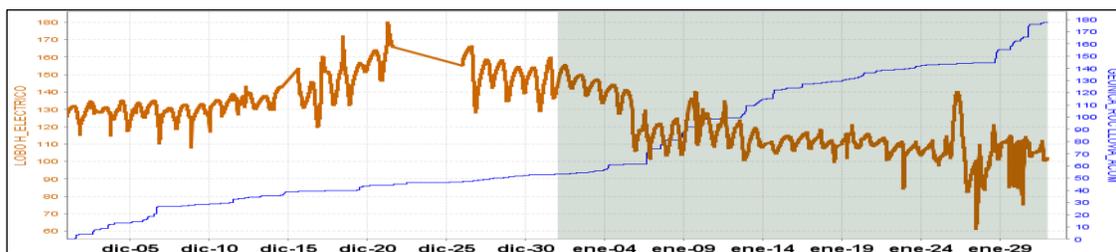


Figura 109. CEH, en la estación Lobo (naranja), para el periodo entre diciembre, 2018 a enero, 2019, en comparación con el comportamiento de las lluvias en la zona del volcán AzufraI (Pluviómetro – azul). La escala de medición de Lobo está en milivoltios (mV) y del pluviómetro en mm

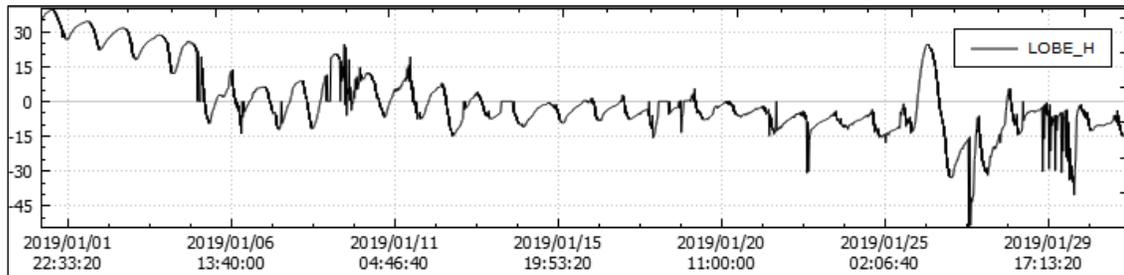


Figura 110. Variaciones del CEH, en la estación de Lobo, para el mes de enero, 2019. La escala de medición está dada en milivoltio (mV)

El análisis espectral mostro que el registro eléctrico de Lobo tiene frecuencias dominantes menores a 6 días y de alrededor de un día (Figura 111). Eliminando estas frecuencias dominantes, asociadas con variaciones seculares, se obtuvo las variaciones eléctricas propias de la estación Lobo, que corresponden al valor entre ± 15 mV, en los periodos donde no se presentaron interferencias externas (Figura 112). Estos valores son bajos, y usualmente se asocian con niveles de actividad volcánica estable.

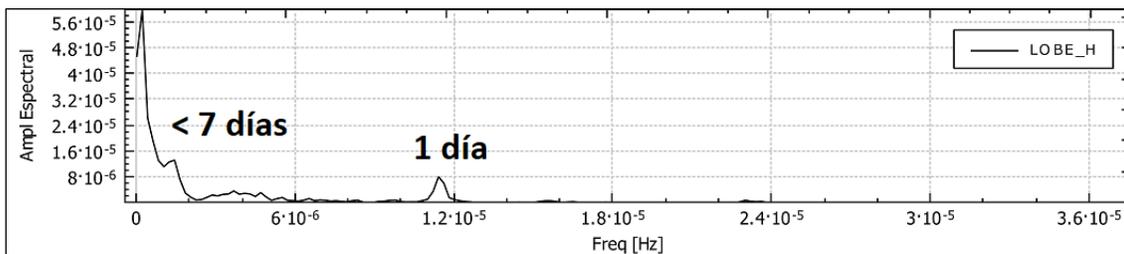


Figura 111. Frecuencias dominantes del registro eléctrico de la estación Lobo, en el volcán Azufral

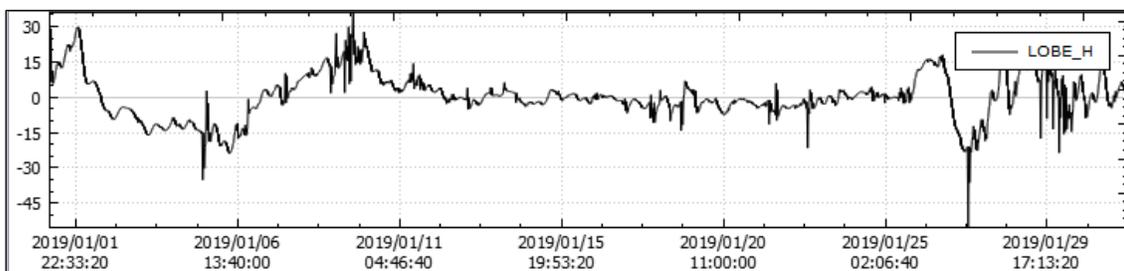


Figura 112. Variaciones propias del CEH, en las estaciones de monitoreo eléctrico Lobo, en el volcán Azufral, para enero, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Estación Térmica Mallama Volcán AzufraI

Los datos sobre la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán AzufraI, se obtienen a partir de una estación telemétrica (Figura 113, Tabla 29 en red de vigilancia).

En la figura 114 se registra el comportamiento de la temperatura en el tiempo que corresponden a variaciones día-noche, sin cambios relevantes en comparación con meses anteriores. En el periodo evaluado se registra un valor máximo de 86.6°C (Tabla 30). El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación.

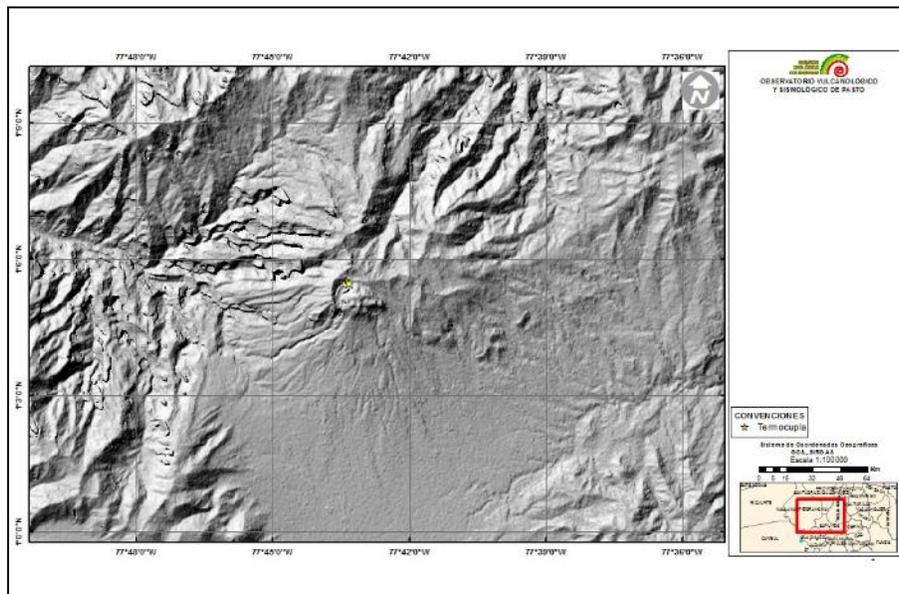


Figura 113. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán AzufraI

Tabla 29. Ubicación geográfica Estación Mallama del área de influencia del volcán AzufraI

CAMPO FUMARÓLICO	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
DOMO MALLAMA		1.213555556	77.3575278	4155

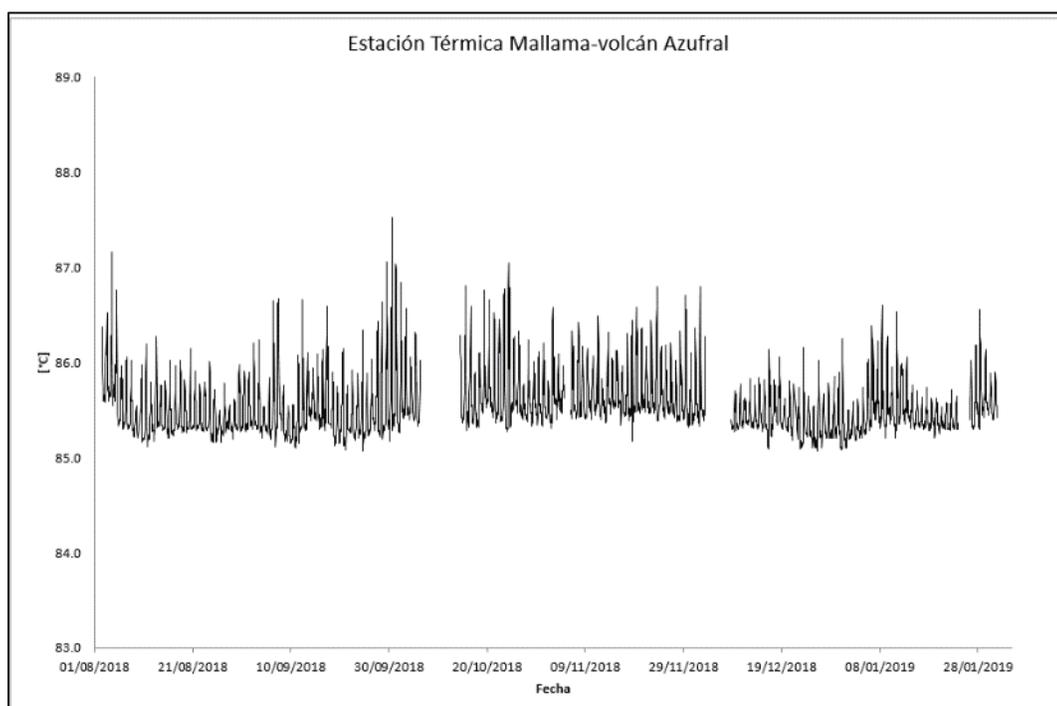


Figura 114. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán AzufraI – enero 2019

Tabla 30. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – enero 2019

Temperatura [°C]	
Promedio	85.5
Máximo	86.6
Mínimo	85.1

4.2.5.2 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 del aire, humedad relativa, punto de rocío, presión atmosférica, radiación solar y precipitación (Figura 113, Tabla 29 en red de vigilancia).

Para el periodo evaluado se observan en varios de los parámetros, dos incrementos importantes en el mes (enero 7 y 29) tales como: dirección del viento, alcanzando valores cercanos a los 350° en azimut, temperatura de aire con valores aproximados a los 10°C, humedad relativa cerca al 65%, punto de rocío con un valor máximo de 8.1°C, radiación solar aproximado a los 1000 W/m² y valores de precipitación de hasta 3.2 mm.

El comportamiento de la presión atmosférica es similar en comparación con meses anteriores. La gráfica temporal y los datos pueden observarse en la Figura 115, Tabla 31.

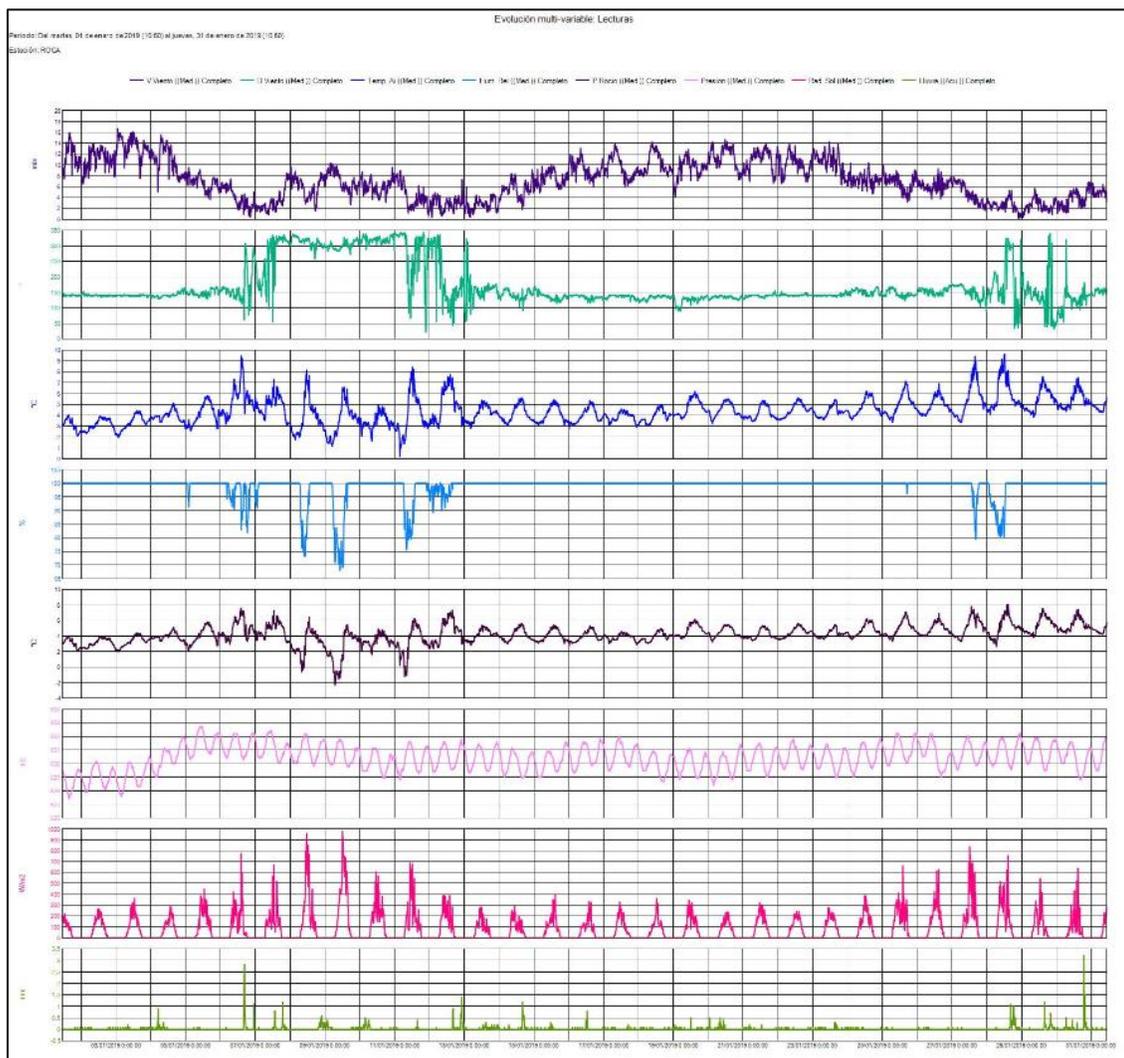


Figura 115. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – enero 2019

Tabla 31. Datos parámetros estación climatológica La Roca - enero 2019

	V.Viento (Med.) (m/s)	D.Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Hum. Rel (Med.) (%)	P.Rocio (Med.) (°C)	Presion (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (Acu.) (mm)
Med.	7.2	140.0	4.4	99.0	5.5	631.0	82.0	--
Máx.	16.5	345.0	9.6	100.0	8.1	632.5	977.4	3.2
Acu.	--	--	--	--	--	--	--	124.4

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 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 25 y 28 de enero de 2019.

En la Figura 122 Se ilustra imagen WorldView 1/2/3/4 de alta resolución espacial (50 cm por pixel) de la Laguna Verde del Volcán Azufral, región norte, tomada por la empresa DigitalGlobe, tomada el 1 de octubre de 2018.

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 116 a 122 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



Figura 116. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 8 de enero de 2019 a las 09: 45 a.m., (izquierda) y el 9 de enero de 2019 a las 12: 05 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

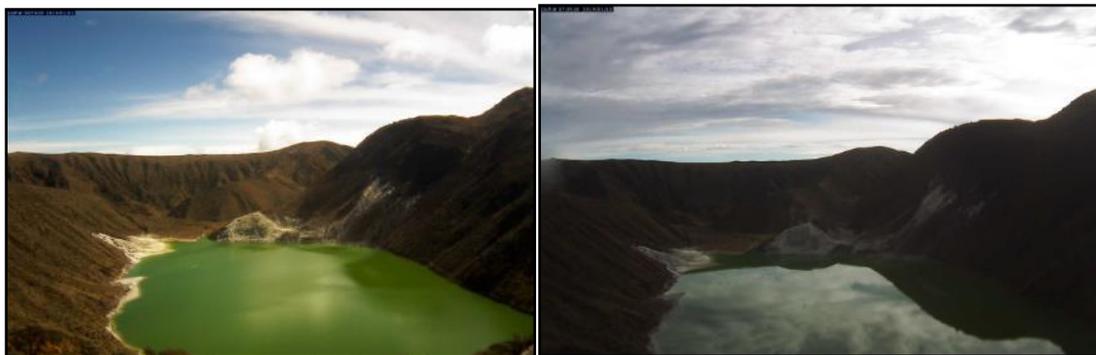


Figura 117. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 11 de enero de 2019 a las 09: 50 a.m., (izquierda) y el 12 de enero de 2019 a las 07: 35 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

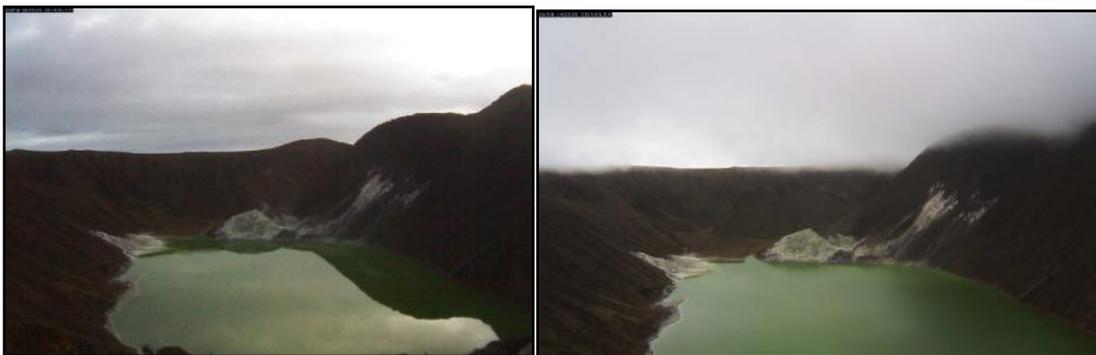


Figura 118. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 13 de enero de 2019 a las 06: 05 a.m., (izquierda) y el 14 de enero de 2019 a las 02: 25 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

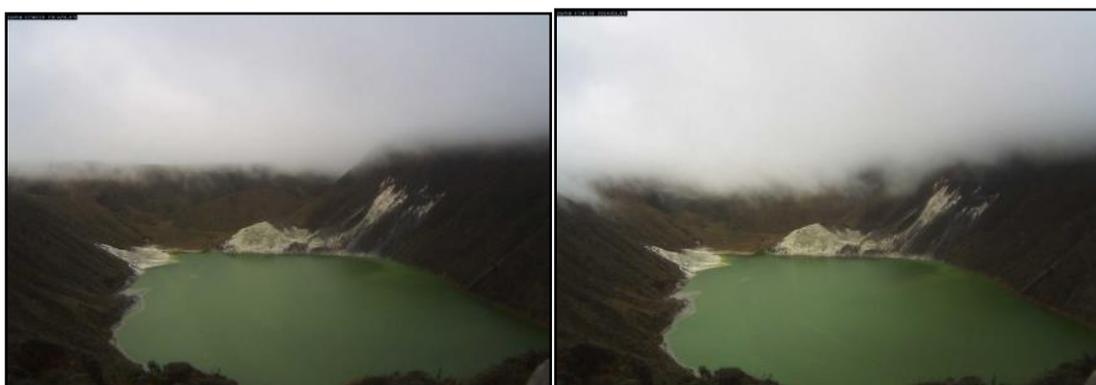


Figura 119. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 15 de enero de 2019 a las 04: 40 p.m., (izquierda) y a las 05: 45 p.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 120. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 25 de enero de 2019 a las 01: 40 p.m., (izquierda) y el día 28 de enero de 2019 a las 08: 20 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 121. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 28 de enero de 2019 a las 08: 15 a.m., (izquierda) y a las 08: 25 a.m (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

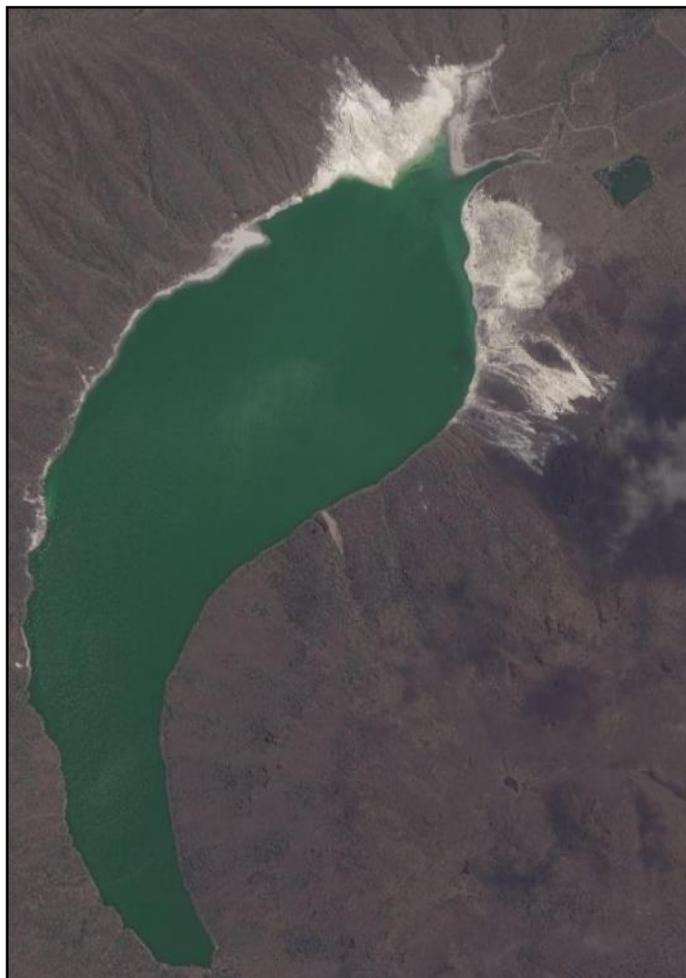


Figura 122. Imagen de la zona norte del volcán Azufraal, tomada el 1 de octubre de 2018 por el sensor WorldView 2

4.2.7 Conclusiones

En la térmica Mallama las variaciones de temperatura en el tiempo que corresponden a día-noche, sin cambios relevantes. En el periodo evaluado se registra un valor máximo de 86.8°C.

En la estación térmica la Roca el comportamiento de la temperatura en el tiempo que corresponden a variaciones día-noche, sin cambios relevantes en comparación con meses anteriores. En el periodo evaluado se registra un valor máximo de 86.6°C.

Para el periodo evaluado se observan en varios de los parámetros, dos incrementos importantes en el mes, en la dirección del viento, se alcanzan valores cercanos a los 350° en azimut, temperatura de aire con valores aproximados a los 10°C, humedad relativa cerca al 65%, punto de rocío con un valor máximo de 8.1°C, radiación solar aproximado a los 1000 W/m² y valores de precipitación de hasta 3.2 mm. El comportamiento de la presión atmosférica es similar en comparación con meses anteriores.

En enero de 2019 la sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán Azufral disminuyó su ocurrencia. La sismicidad mayoritariamente está asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 1.6 en la escala abierta de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante enero de 2019 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2019). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de diciembre de 2018 y enero de 2019. 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>

