



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

San Juan de Pasto, abril 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 – MARZO DE 2019	18
1.1	Red de Vigilancia	18
1.2	Sismología	23
1.3	Deformación	27
1.3.1	Inclinometría Electrónica	28
1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	35
1.3.3	Medición Electrónica de Distancias - EDM	36
1.4	Electromagnetismo	36
1.5	Geoquímica	43
1.5.1	Muestreo de Gases de Origen Volcánico en el Volcán Galeras	43
1.5.1.1	Concentración de gas radón difuso en el suelo	43
1.5.1.2	Estaciones Térmicas Paisita y Deformes.	45
1.5.1.3	Muestreo de aguas en fuentes termales-Volcán Galeras	47
1.5	Actividad Superficial	50
1.6	Conclusiones	54
2	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2019	56
2.1	Red de Vigilancia	56
2.2	Sismología	58
2.3	Deformación	62
2.4	Geoquímica	64
2.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales-volcán Cumbal.	64
2.5	Actividad Superficial	64
2.6	Conclusiones	68
3	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER – MARZO DE 2019.	69
3.1	Ubicación Geográfica	69
3.2	Red de Vigilancia	69
3.3	Sismología	72
3.4	Deformación	76
3.5	Geoquímica	77
3.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Chiles	77
3.5.2	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	85
3.6	Actividad Superficial	87
3.7	Conclusiones	87
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2019.	89
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juan y las Ánimas.	90
4.1.1	Red de Vigilancia	90

4.1.2	Sismología	92
4.1.3	Deformación	94
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	94
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	97
4.1.4	Geoquímica	97
4.1.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	97
4.1.5	Actividad Superficial	98
4.1.5	Conclusiones	98
4.2	Actividad del Volcán Azufral.	98
4.2.1	Red de Vigilancia	98
4.2.2	Sismología	100
4.2.3	Deformación	103
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	103
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	105
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	107
4.2.4	Electromagnetismo	107
4.2.5	Geoquímica	112
4.2.5.1	Estación Térmica Mallama Volcán Azufral	112
4.2.5.2	Estación Climatológica La Roca	114
4.2.6	Actividad Superficial	116
4.2.7	Conclusiones	118
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 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 marzo 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 marzo de 2019	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2019	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado	24
Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019	25
Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado	26
Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para marzo de 2019	26
Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo 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 marzo de 2019.	32
Figura 18. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Las líneas de color rojo indican entre que estaciones se determinó la solución en distancia cada 3 horas	33
Figura 19. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 y el 31 de marzo de 2019. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada	34
Figura 20. 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 marzo de 2019	35
Figura 21. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de marzo de 2019	36
Figura 22. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético en Galeras: Frailejón (verde) y Deformes (roja); la estación de referencia Kourou (negra) y al final el índice Kp; para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 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 el mes de marzo 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 del CMT-F, donde se identifican que las frecuencias dominantes son menores de 3.5 días, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, para el periodo de marzo de 2019	39
Figura 25. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en marzo, 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 marzo, 2019, comparado con la estación pluviométrica de la parte media del volcán galeras y con la intensidad de las tormentas magnéticas externas o índice Kp (roja). La escala de medición del CEH está en milivoltios mV y el pluviómetro en mm.	41
Figura 27. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras FRA y el índice Kp de tormentas magnéticas (rojo), para el mes de marzo, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltios (mV)	41
Figura 28. Frecuencias dominantes de los registros del CEH para la estación de FRA, correspondiente a marzo de 2019, en el volcán Galeras. Se identifican una franja de frecuencias dominantes menores a 3.5 días. La escala de las abscisas corresponde a la frecuencia en Hz y las ordenadas en amplitud espectral	42
Figura 29. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, FRA (negro), filtrando las variaciones seculares externas, para marzo, 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-marzo 2019	44
Figura 32. Temperatura fumarola El Paisita-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – marzo de 2019	45
Figura 33. Temperatura fumarola Deformes-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – marzo de 2019	46
Figura 34. Variación de pH FT- Volcán Galeras- marzo 2019	48
Figura 35. Variación conductividad eléctrica FT - Volcán Galeras-marzo 2019	48
Figura 36. Variación temperatura FT - Volcán Galeras-marzo 2019	49
Figura 37. Variación alcalinidad FT – Volcán Galeras -marzo 2019	49
Figura 38. Variación Potencial de óxido-reducción FT- Volcán Galeras-marzo 2019	50
Figura 39. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 1 de marzo de 2019 (izquierda) a las 07:45 a.m y 4 de marzo de 2019 (derecha) a las 08:38 a.m.	51
Figura 40. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 4 de marzo de 2019 (izquierda) a las 02:48 p.m y 7 de marzo de 2019 (derecha) a las 05:11 p.m.	51
Figura 41. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 5 de marzo de 2019 (izquierda) a las 09:26 a.m y 7 de marzo de 2019 (derecha) a las 06:23 p.m.	51

Figura 42. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 13 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 04: 32 p.m., y Barranco el día 15 de marzo de 2019 (derecha) a las 06: 37 p.m.	52
Figura 43. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 16 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 04: 30 p.m., y Barranco el día 18 de marzo de 2019 (derecha) a las 05: 44p.m.	52
Figura 44. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 20 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 07: 08 a.m., y Bruma (derecha) a las 06: 06 p.m.	52
Figura 45. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 21 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 03: 45 a.m., y Bruma (derecha) a las 06: 10 a.m.	53
Figura 46. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 24 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 06: 40 p.m., y Bruma (derecha) a las 06: 39 p.m.	53
Figura 47. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 25 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 05: 34 a.m., y Bruma (derecha) a las 03: 00 p.m.	53
Figura 48. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 06: 36 p.m., y Barranco el día 31 de marzo de 2019 (derecha) a las 06: 47 p.m.	54
Figura 49 . Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2019	57
Figura 50. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de marzo de 2019	57
Figura 51. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2019	58
Figura 52. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado	59
Figura 53. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019	59
Figura 54. Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de marzo de 2019 en la componente vertical de la estación Limones del CVC	60
Figura 55. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2019 en el CVC	61
Figura 56. 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 marzo de 2019.	62
Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019	63
Figura 58. 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 marzo de 2019	63
Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) 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 marzo de 2019	64
Figura 60. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 1 de marzo de 2019 a las 05 :22 p.m., (izquierda) y el 3 de marzo a las 06: 35 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	65
Figura 61. Imágenes de emision de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 4 de marzo de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 09:16 a.m	65
Figura 62. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 5 de marzo de 2019 a las 06 :06 a.m., (izquierda) y el 7 de marzo a las 06: 43 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	66
Figura 63. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 8 de marzo de 2019 a las 06 :47 p.m., (izquierda) y el 11 de marzo a las 06: 21 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 12 de marzo de 2019 a las 07 :23 a.m., (izquierda) y el 14 de marzo a las 06: 45 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	66
Figura 65. Imágenes de emision de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 16 de marzo de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 06:44 a.m	67
Figura 66. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 20 de marzo de 2019 a las 03 :16 p.m., (izquierda) y el 22 de marzo a las 06: 26 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	67

Figura 67. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 23 de marzo de 2019 a las 12 :23 a.m., (izquierda) y el 25 de marzo a las 07: 15 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	67
Figura 68. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 26 de marzo de 2019 a las 06 :13 a.m., (izquierda) y el 31 de marzo a las 06: 53 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	68
Figura 69 . Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	69
Figura 70. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de marzo de 2019	70
Figura 71. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2019	72
Figura 72. Número diario de sismos en febrero y marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado	73
Figura 73 . Energía diaria de sismos durante febrero y marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno azul resalta el periodo evaluado	73
Figura 74. Conteo horario de sismos VT para los días 22, 23 y 24 de marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno azul resalta la ocurrencia del enjambre	74
Figura 75. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2019	75
Figura 76. 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 marzo de 2019.	76
Figura 77. 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 marzo de 2019	77
Figura 78. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles	78
Figura 79. Variación del pH en las FT del Volcán Chiles-marzo de 2019	81
Figura 80. Variación de la temperatura en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019	83
Figura 81. Variación de la conductividad eléctrica en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019	84

Figura 82. Variación de la alcalinidad en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019	84
Figura 83. Mapa de localización de la estación térmica telemétrica Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles	86
Figura 84. Temperatura estación térmica Baño Grande-Volcán Chiles-marzo 2019	86
Figura 85. 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	89
Figura 86. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de marzo de 2019	91
Figura 87. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2019	92
Figura 88. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado	93
Figura 89, Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, marzo de 2019	93
Figura 90. Superior: Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) 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 31 de marzo de 2019. Inferior, en la izquierda se indica cómo se encontraron los tornillos nivelantes y en la derecha después de hacer el mantenimiento, donde se eliminó el óxido de los tornillos	95
Figura 91. Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2017 y el 31 de marzo de 2019. En la figura inferior se muestra un detalle en tiempo de la superior.	96
Figura 92. 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 31 de marzo de 2019.	97
Figura 93. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2019	99
Figura 94. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de marzo de 2019	99
Figura 95. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante marzo de 2019	100
Figura 96. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado	101

Figura 97. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019	102
Figura 98. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufraal, en marzo de 2019	102
Figura 99. 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 marzo de 2019.	104
Figura 100. 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 marzo de 2019	105
Figura 101. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 12 de marzo de 2019	106
Figura 102. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 12 de marzo de 2019	106
Figura 103. Registro de la componente total del Campo Magnético Terrestre Total (F), en la estación de monitoreo magnético en Azufraal, Lobo (naranja), Kourou (negra) y las variaciones del índice de tormentas magnéticas Kp; para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 2019. La escala de medición del CMT (F) está dada en nano Teslas (nT)	108
Figura 104. 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.	109
Figura 105. Frecuencias dominantes del registro de las estaciones LOB y KOU, en marzo, 2019. Se identifican frecuencias dominantes, menores a 3.5 días, y dominantes de un día, 1 horas y 8 horas	109
Figura 106. CMT-F, filtrando las frecuencias menores a 3.5 días y de un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de LOB y KOU, en marzo, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, Kp (rojo), emitidas por el SWPC, para el mismo periodo de tiempo	110
Figura 107. CEH, en la estación Lobo (naranja), para el periodo entre diciembre, 2018 a marzo, 2019, en comparación con el comportamiento de las lluvias en la zona del volcán Azufraal (Pluviómetro – azul) y con el índice Kp de tormentas magnéticas externas. La escala de medición de Lobo está en milivoltios (mV) y del pluviómetro en mm	111
Figura 108. Variaciones del CEH, en la estación de LOB, para el mes de marzo, 2019. La escala de medición está dada en milivoltio (mV), comparado con el índice de tormentas magnéticas externas (rojo).	111
Figura 109. Frecuencias dominantes del CEH en la estación LOB, del volcán Azufraal, para marzo, 2019	112

Figura 110. Variaciones propias del CEH, en las estaciones de monitoreo eléctrico Lobo, en el volcán Azufral, para marzo, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV).	112
Figura 111. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral	113
Figura 112. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral – marzo 2019	114
Figura 113. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – marzo 2019	115
Figura 114. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 1 de marzo de 2019 a las 02: 40 p.m., (Izquierda) y el día 4 de marzo de 2019 a las 08: 40 a.m. (Derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	116
Figura 115. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 5 de marzo de 2019 a las 12: 30 p.m., (izquierda) y el día 7 de marzo de 2019 a las 11: 11 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	116
Figura 116. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 12 de marzo de 2019 a las 02: 55 p.m., (izquierda) y el día 16 de marzo de 2019 a las 07: 05 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	117
Figura 117. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 21 de marzo de 2019 a las 06: 50 a.m., (izquierda) y el día 22 de marzo de 2019 a las 06: 30 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	117
Figura 118. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 29 de marzo de 2019 a las 06: 15 p.m., (izquierda) y el día 31 de marzo de 2019 a las 06: 30 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en de 2019	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2019.	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2019	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo 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, febrero y marzo de 2019, volcán Galeras	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, febrero y marzo de 2019, volcán Galeras	25
Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 1.4 grados, volcán Galeras, marzo de 2019	27
Tabla 10. Valores de concentración de radón en la estación Los Lirios –Volcán Galeras–marzo 2019	44
Tabla 11. Valores de temperatura en Fumarola El Paisita del área de influencia del volcán Galeras – marzo 2019	46
Tabla 12. Valores de temperatura en Fumarola Deformes del área de influencia del volcán Galeras – marzo 2019	46
Tabla 13. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras - marzo 2019	47
Tabla 14. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2019	56
Tabla 15. Número de sismos volcánicos por tipo, en el CVC, febrero y marzo de 2019	58
Tabla 16. Sismos con ML mayor o igual a 1.1 registrados en el CVC en marzo de 2019	61
Tabla 17 .Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	70
Tabla 18 .Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	71
Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo	72
Tabla 20. Energía de eventos VT, ocurridos en febrero y marzo de 2019	73
Tabla 21. Sismos VT sentidos en Chiles - Cerro Negro, marzo de 2019	75

Tabla 22. Ubicación geográfica fuentes termales del área de influencia del volcán Chiles	79
Tabla 23. Temperatura Fuentes Termales Volcán Chiles – marzo 2019	81
Tabla 24. Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles	85
Tabla 25. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – marzo 2019	87
Tabla 26. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2019	90
Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2019 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	92
Tabla 28. Sismos con ML 1.0, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, marzo de 2019	94
Tabla 29. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán AzufraI en el mes de marzo de 2019	100
Tabla 30. Número de eventos volcánicos por tipo, volcán AzufraI, febrero y marzo de 2019	101
Tabla 31. Sismos con ML mayor o igual a 1.4, volcán AzufraI, marzo de 2019	103
Tabla 32. Ubicación geográfica Estación Mallama del área de influencia del volcán AzufraI	113
Tabla 33. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Mallama–marzo 2019	114
Tabla 34. Datos parámetros estación climatológica La Roca - marzo 2019	115

RESUMEN

A lo largo del mes evaluado se mantuvieron los niveles de ocurrencia para Galeras, similares a los reportados en meses anteriores, con un total para marzo de 79 sismos, 75 asociados con fractura de roca, localizados de manera dispersa en la zona de influencia, en general las profundidades estuvieron entre 0.8 y 16 km y la magnitud local máxima fue de 1.6 en la escala de Richter.

La sismicidad en el complejo volcánico de Cumbal mostró un descenso del 7% en su ocurrencia pasando de 1359 a 11259 eventos en comparación con el mes de febrero. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical al interior del volcán con 643 eventos que representan el 51% del total. La mayoría se ubicaron en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico en sentido noroccidente – suroriente, en general con profundidades menores de 13 km, a distancias hasta de 5 km y ML máxima de 2.4 en la escala de Richter. 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 del 27% en la ocurrencia sísmica, pasando de 20028 a 14566 eventos, con respecto a febrero. Continúa el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán con 14562 sismos que representan el 99.9% del total de eventos, además, fue clasificado 1 sismo como LP, asociado a movimiento de fluidos. Se resalta la ocurrencia de un enjambre de sismos VT, el 23 de marzo entre las 02 y las 22 horas, el cual alcanzó un número de 4163 eventos, correspondiente al 29% de la sismicidad total de marzo. Los sismos de fractura se ubicaron principalmente en el cuadrante suroccidente, a distancias entre cero y 5 km, con profundidades menores de 7 km. El sismo más energético se presentó el día 23 de marzo a las 03:36 de la madrugada, se ubicó a 5.5 km al SSW de Chiles, con magnitud local de 3.5 en la escala de Richter, se reportó sentido en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer.

La ocurrencia sísmica en marzo para la región de influencia de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana muestra niveles bajos, tanto en ocurrencia como en la energía liberada, predominando la sismicidad asociada a fractura de material rocoso. Para Azufral, dentro de niveles bajos de actividad, se observó disminución del 25% en la ocurrencia sísmica, pasando de 28 a 21 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical.

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 – MARZO DE 2019

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de marzo 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 97 % (Figura 4).

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

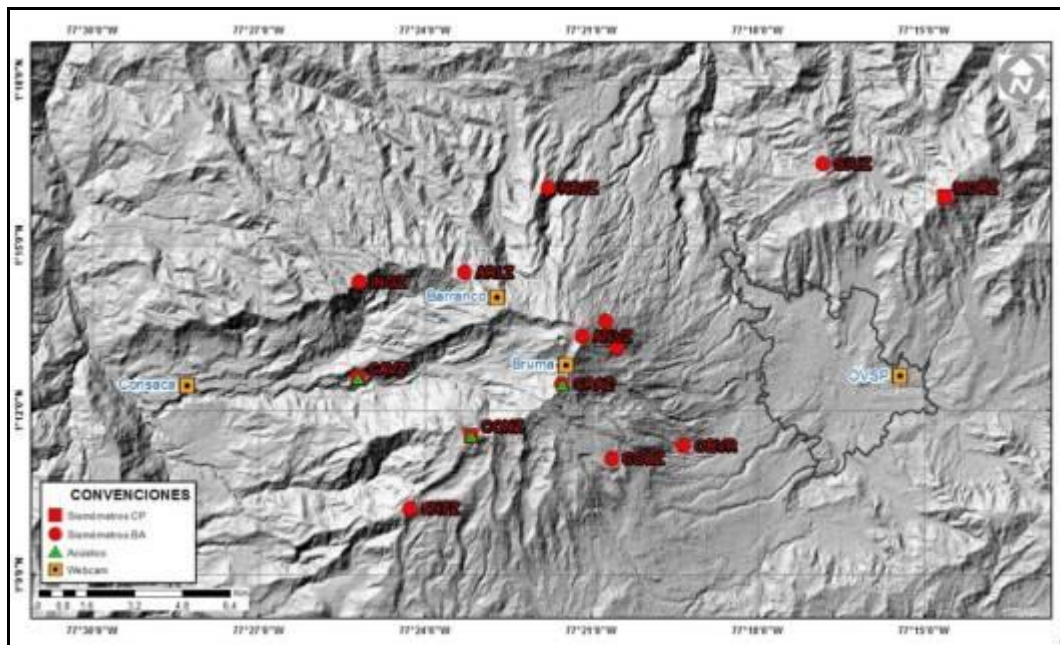


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2019

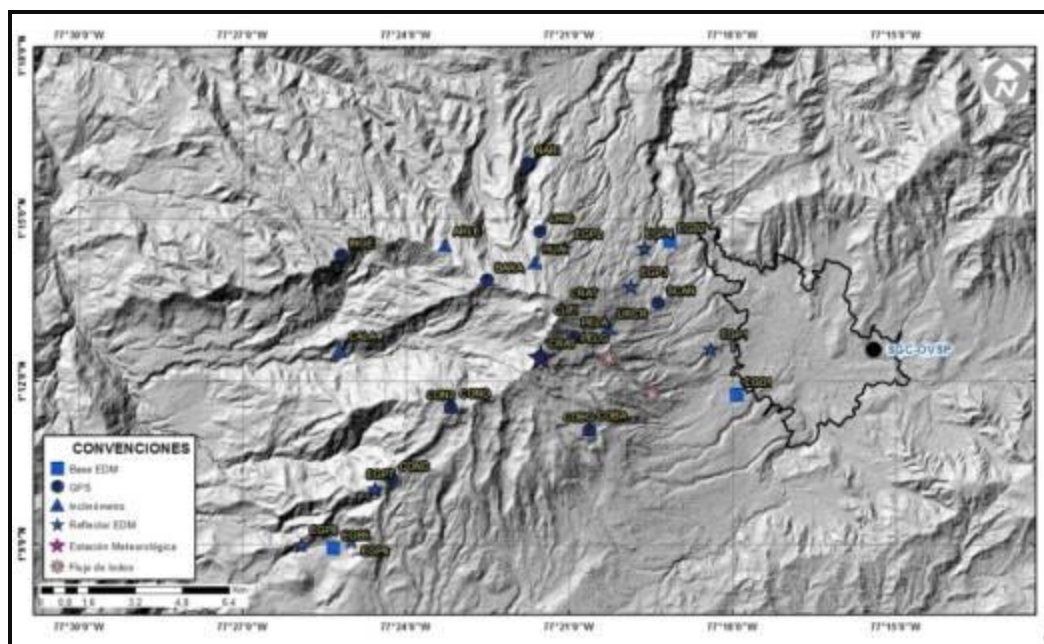


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2019

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

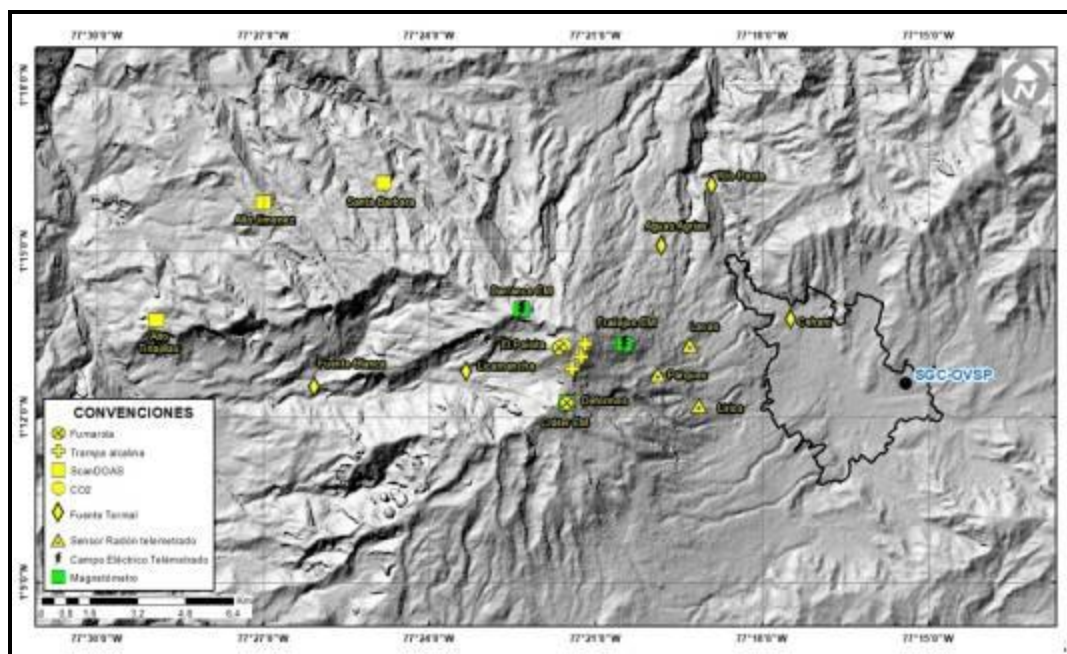


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia marzo de 2019

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

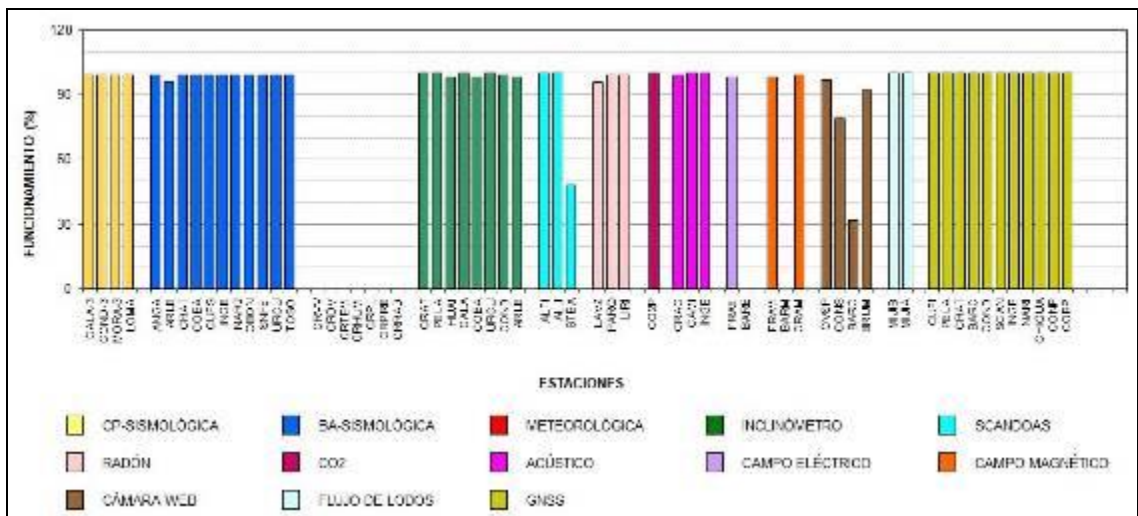


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2019

1.2 Sismología

Con respecto a febrero de 2019, la sismicidad de marzo mostró un ligero incremento del 7%, pasando de 74 a 79 eventos. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de material cortical al interior del volcán (VT) con 75 sismos que representan el 95% del total. También se registraron 4 sismos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) que representan el 5% de la ocurrencia. No se registraron eventos de fluidos de fuente permanente o episodios de tremor o (TRE), ni eventos que conjugan las características de fractura de roca seguida por el tránsito de fluidos, o de tipo híbrido (HIB). Los sismos de tipo VT incrementaron su número un 10%, pasando de 68 a 75 eventos; los sismos LP disminuyeron su número 20%, pasando de 5 a 4 eventos. El 2 de marzo se presentó el pico de ocurrencia sísmica con 11 eventos de tipo VT (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, febrero y marzo de 2019, volcán Galeras

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Febrero de 2019	68	5	0	0	74
Marzo de 2019	75	4	0	0	79

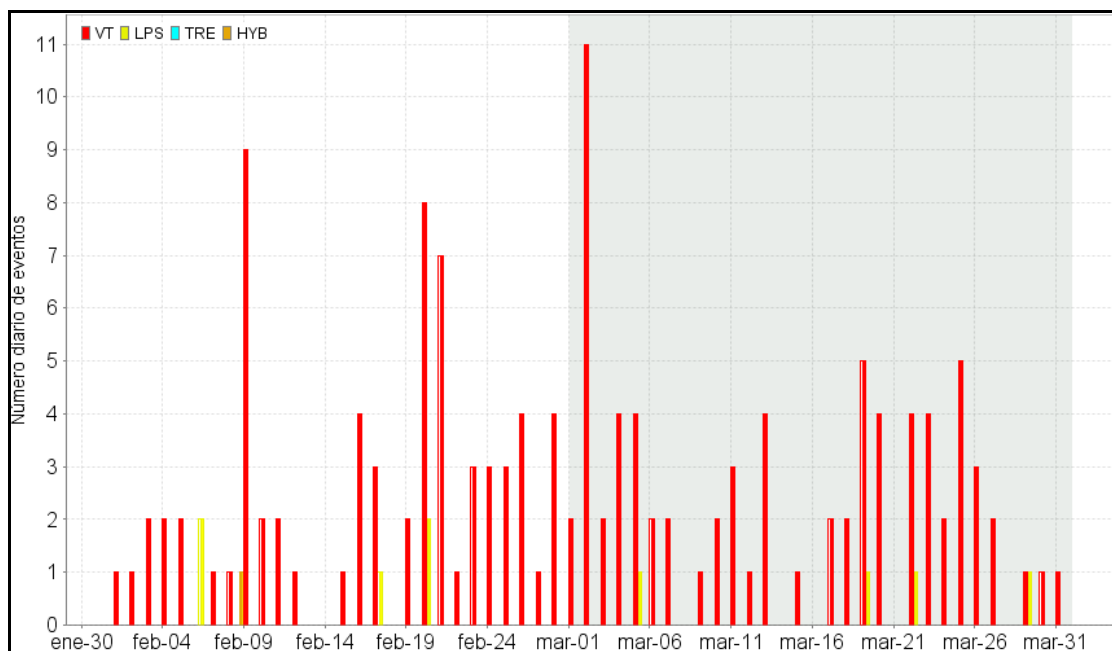


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado

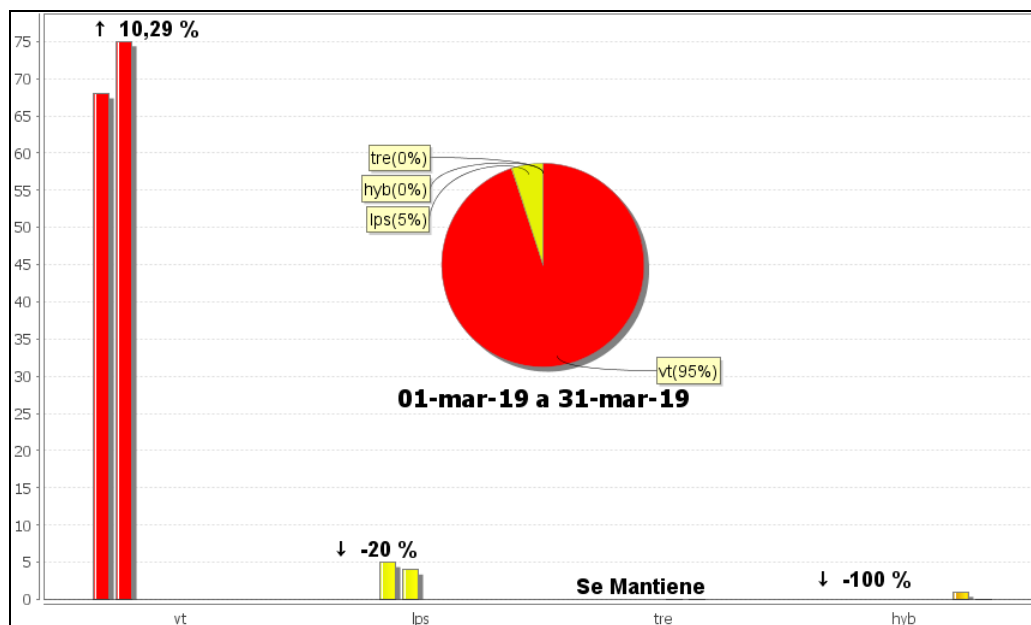


Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019

La energía sísmica disminuyó 83% su valor, pasando 4.52×10^{11} ergios a 7.50×10^{10} ergios. El mayor aporte energético también se debió a los eventos de tipo VT con el 99% de la energía sísmica calculada, correspondiente a 7.39×10^{10} ergios; la energía de los eventos LP, 1.10×10^9 ergios es equivalente al 1%. Los sismos de tipo VT disminuyeron el valor de su energía un 84%, pasando de a 4.51×10^{11} ergios a 7.39×10^{10} ergios; los sismos de tipo LP disminuyeron su energía un 28%, pasando de 1.52×10^9 ergios a 1.10×10^9 ergios. El pico energético del mes fue registrado el 23 de marzo con 2.20×10^{10} ergios, debida a 4 eventos VT (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, febrero y marzo de 2019, volcán Galeras

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo				TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	
Febrero de 2019	4.51E+11	1.52E+09	0	0	4.52E+11
Marzo de 2019	7.39E+10	1.10E+09	0	0	7.50E+10

Se localizaron 35 VT, ubicados de manera dispersa en la zona de influencia de Galeras. En general los eventos se localizaron a distancias entre 0.2 y 19 km, profundidades entre 0.8 y 16 km con respecto a su cima (4270 msnm) y su magnitud local máxima fue de 1.6 en la escala de Richter (Figura 9). La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan cuatro sismos VT, con

magnitud local igual o superior a 1.4 en la escala de Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características de localización.

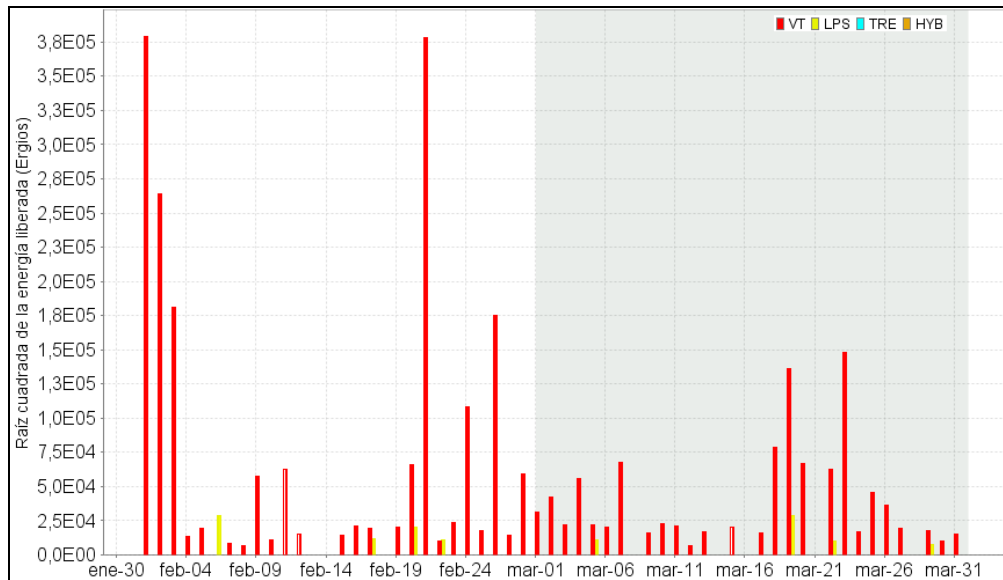


Figura 7. Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrada, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2019; el recuadro gris indica el periodo evaluado

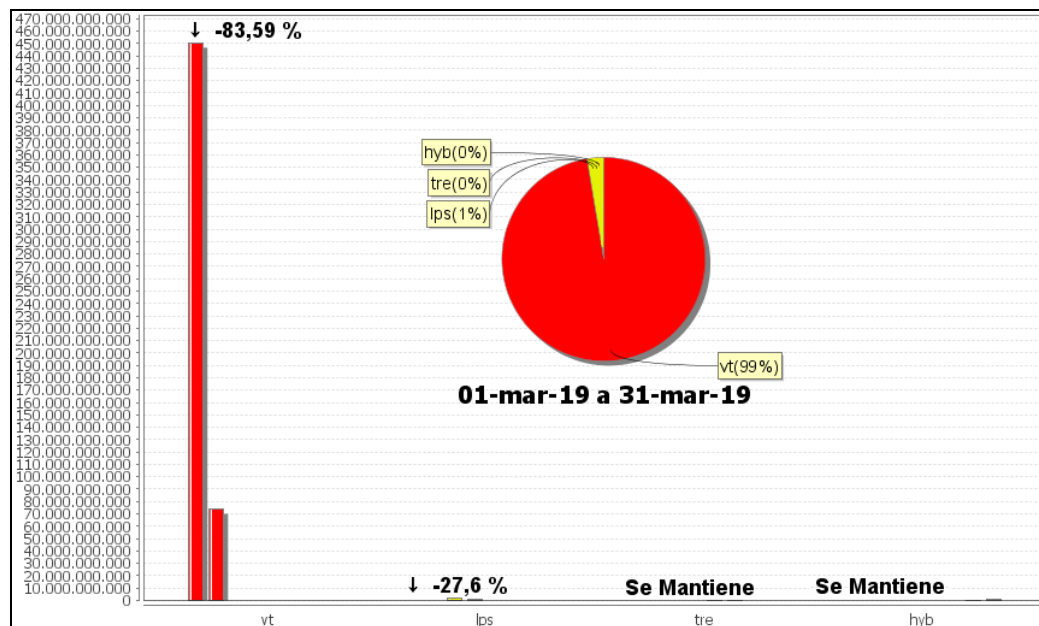


Figura 8. Comparación de la energía de los sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para marzo de 2019

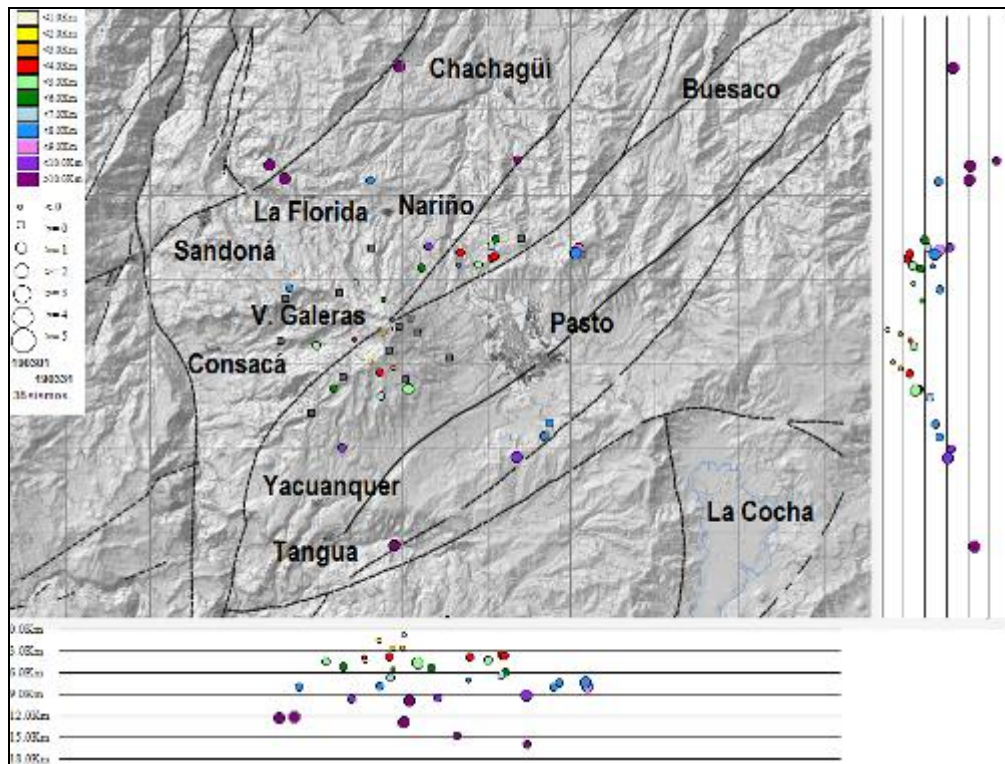


Figura 9. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, marzo de 2019

Tabla 9. Sismos con ML mayor o igual a 1.4 grados, volcán Galeras, marzo de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
07/03/2019	23:51	1-22.54	77-21.12	10	1.6
18/03/2019	14:08	1-16.06	77-14.74	8	1.4
22/03/2019	00:08	1-08.64	77-16.96	9	1.4
23/03/2019	10:15	1-15.94	77-14.82	7	1.5

1.3 Deformación

Durante el mes de marzo 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.

1.3.1 Inclínometría Electrónica

Se evidencian comportamientos estables en las componentes de inclinación de las estaciones Arlés, Urcunina, Cóndor, Cráter 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, con cerca de 80 urad, se decidió hacia finales del mes de noviembre nivelar el sensor. Una vez nivelado y hasta la fecha, se observa un cambio de tendencia (levemente ascendente en las dos componentes), acumulando cerca de 10 y 20 uradianes, para la componente Este y Norte, respectivamente.

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).

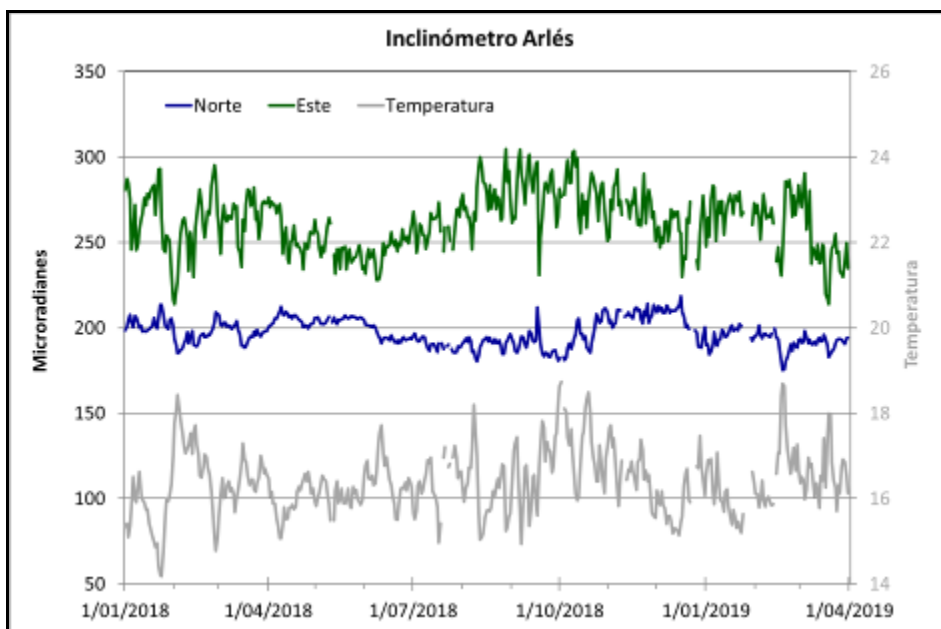


Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

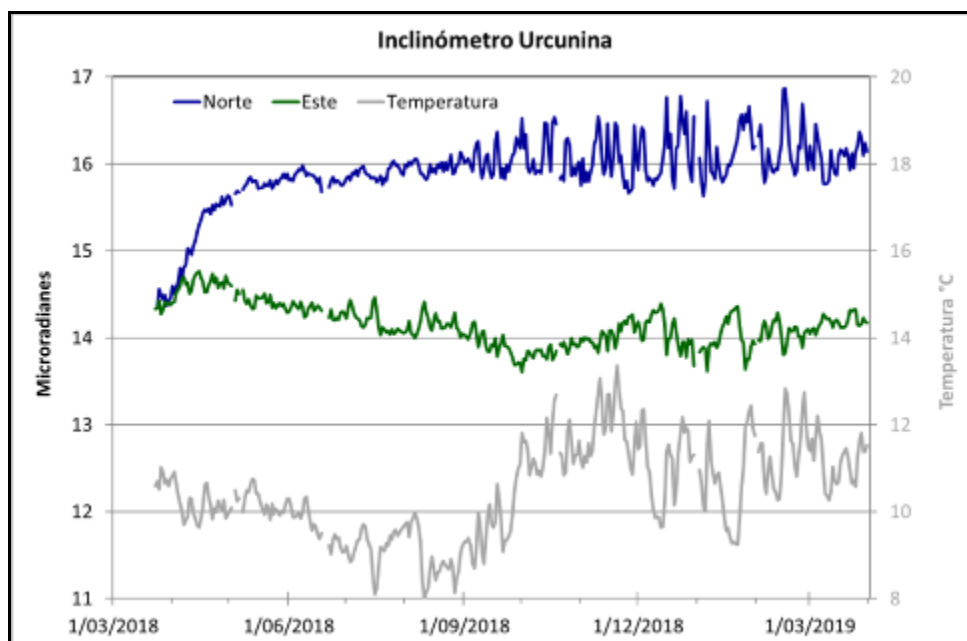


Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 31 de marzo de 2019

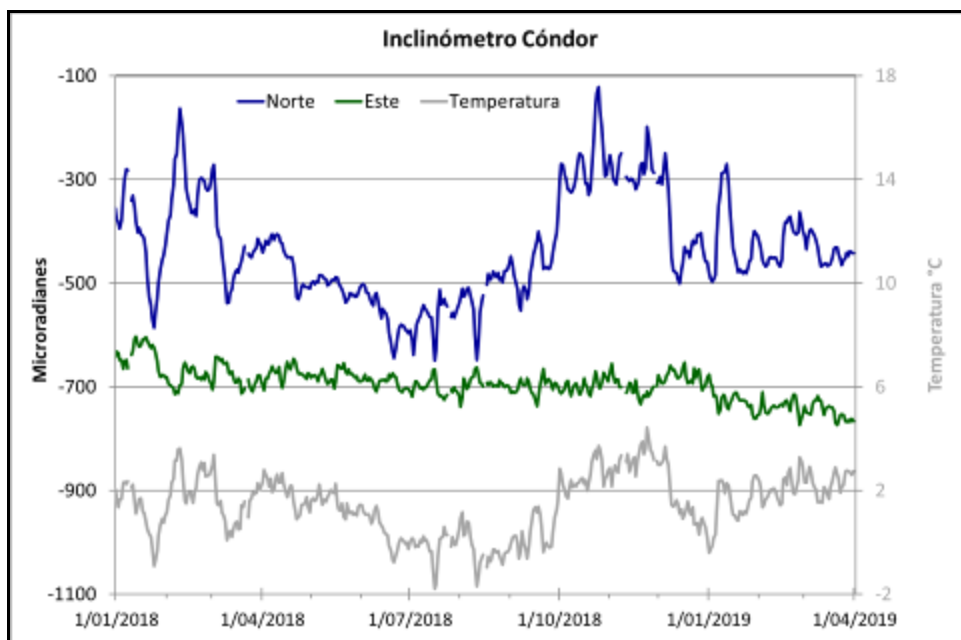


Figura 12. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

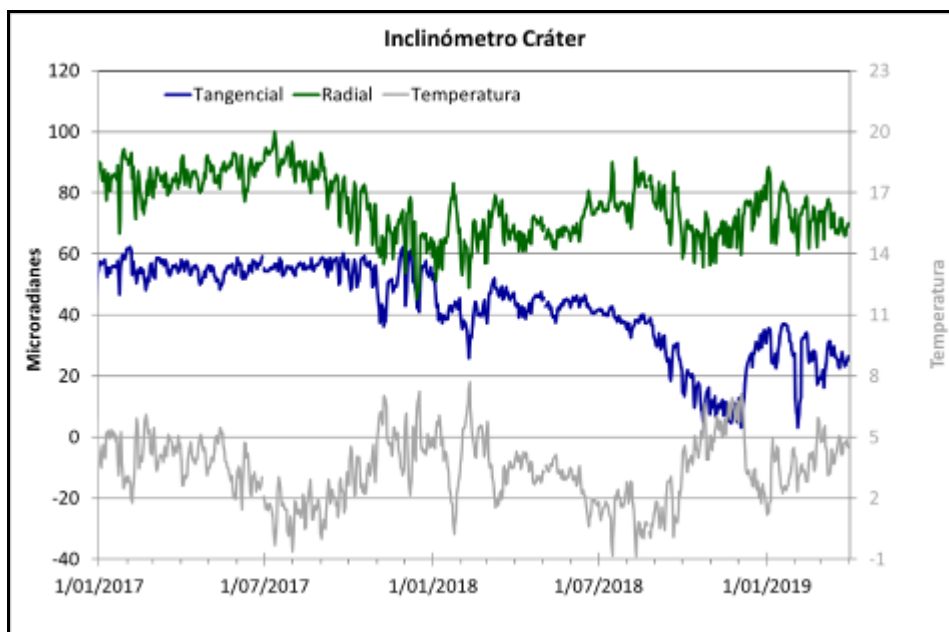


Figura 13. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de marzo de 2019

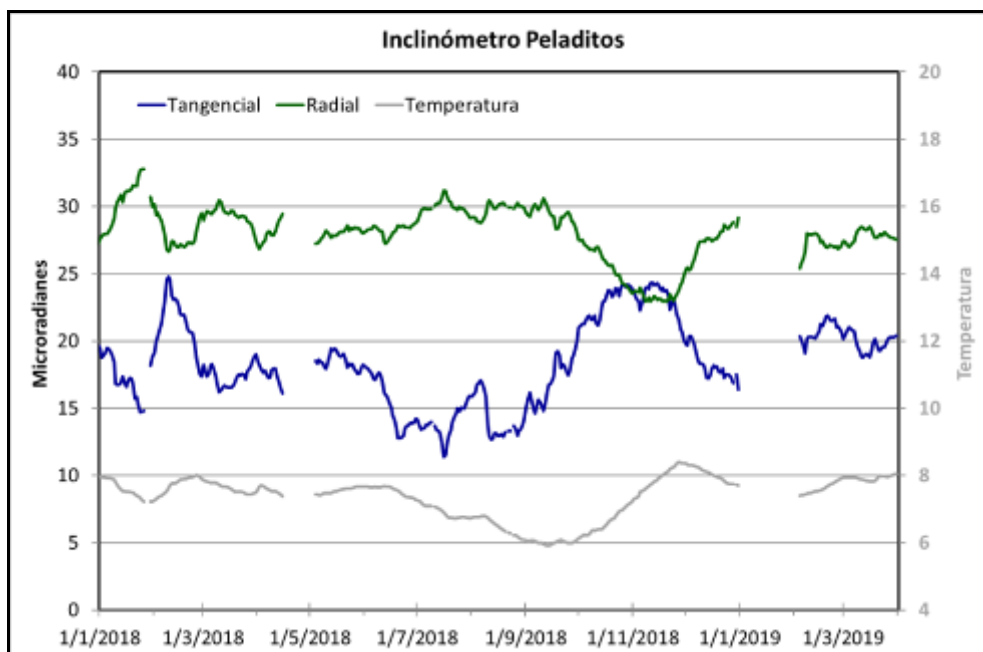


Figura 14. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 6 de marzo de 2019

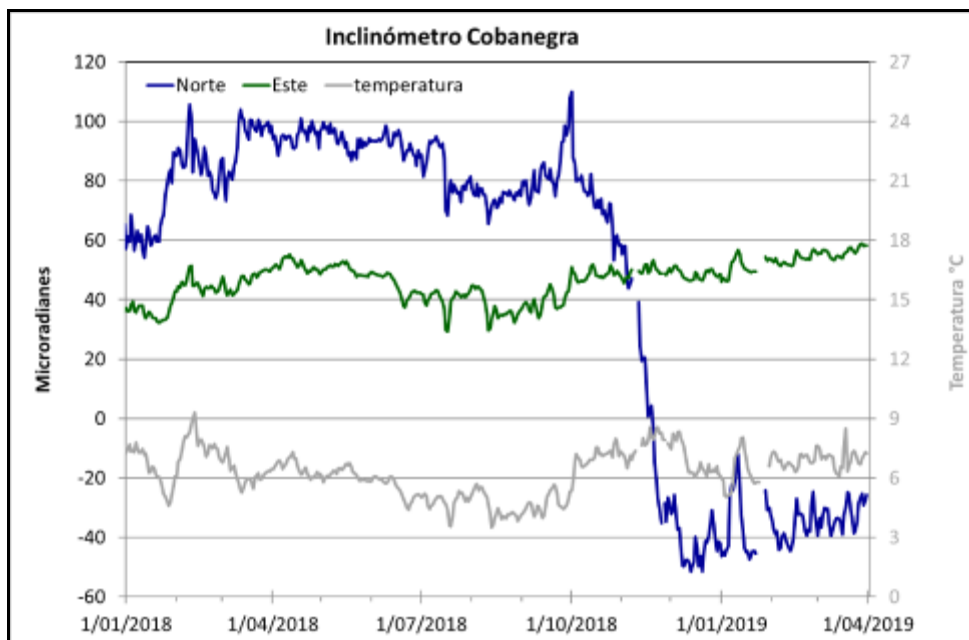


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

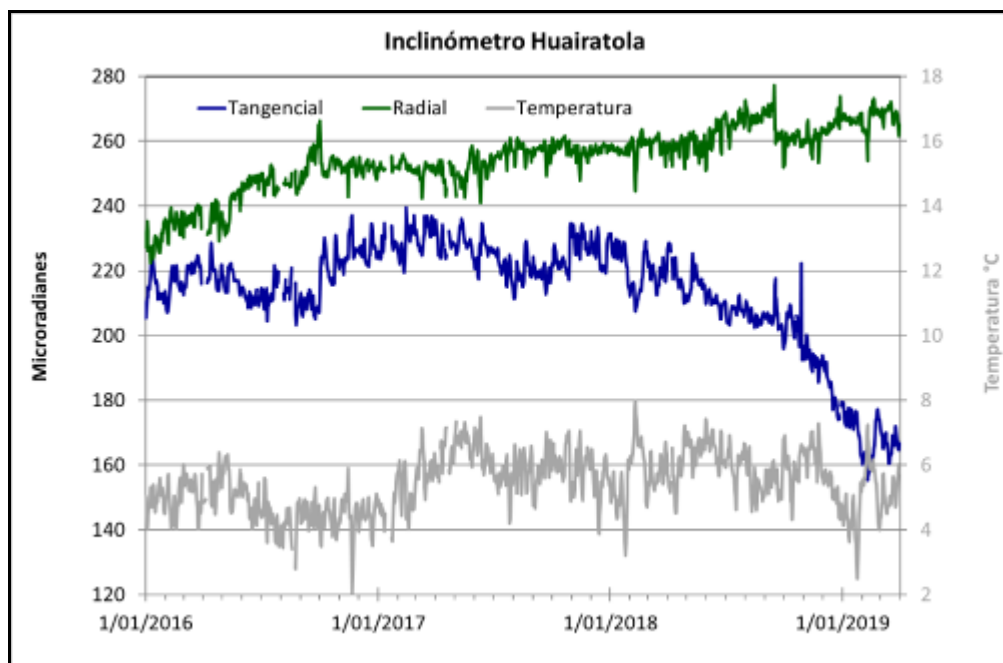


Figura 16. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de marzo de 2019

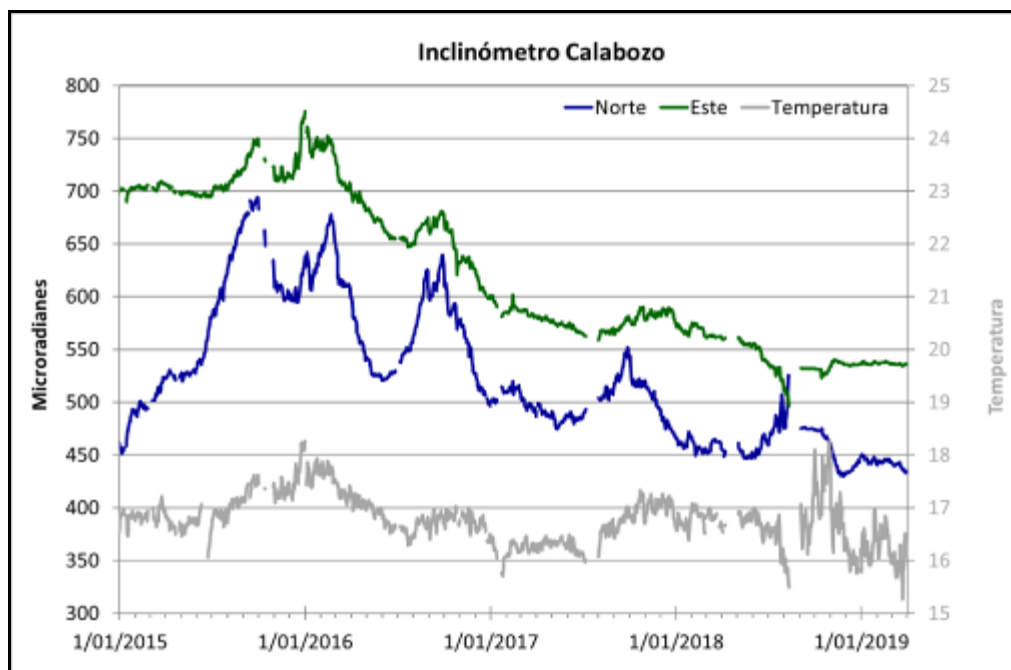


Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2019

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 18, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 19, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas.

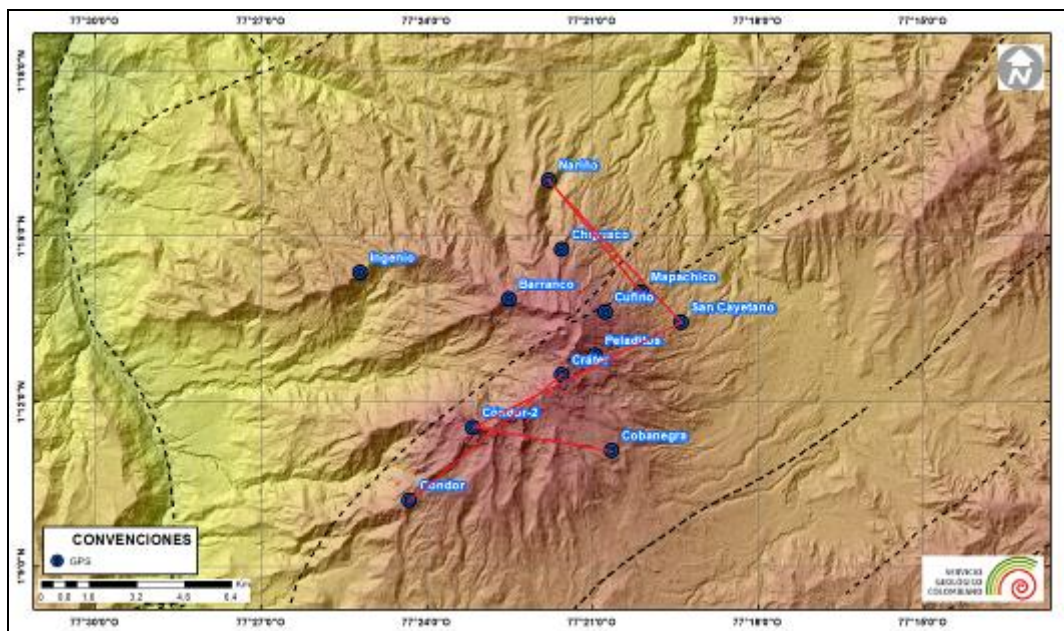


Figura 18. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Las líneas de color rojo indican entre que estaciones se determinó la solución en distancia cada 3 horas

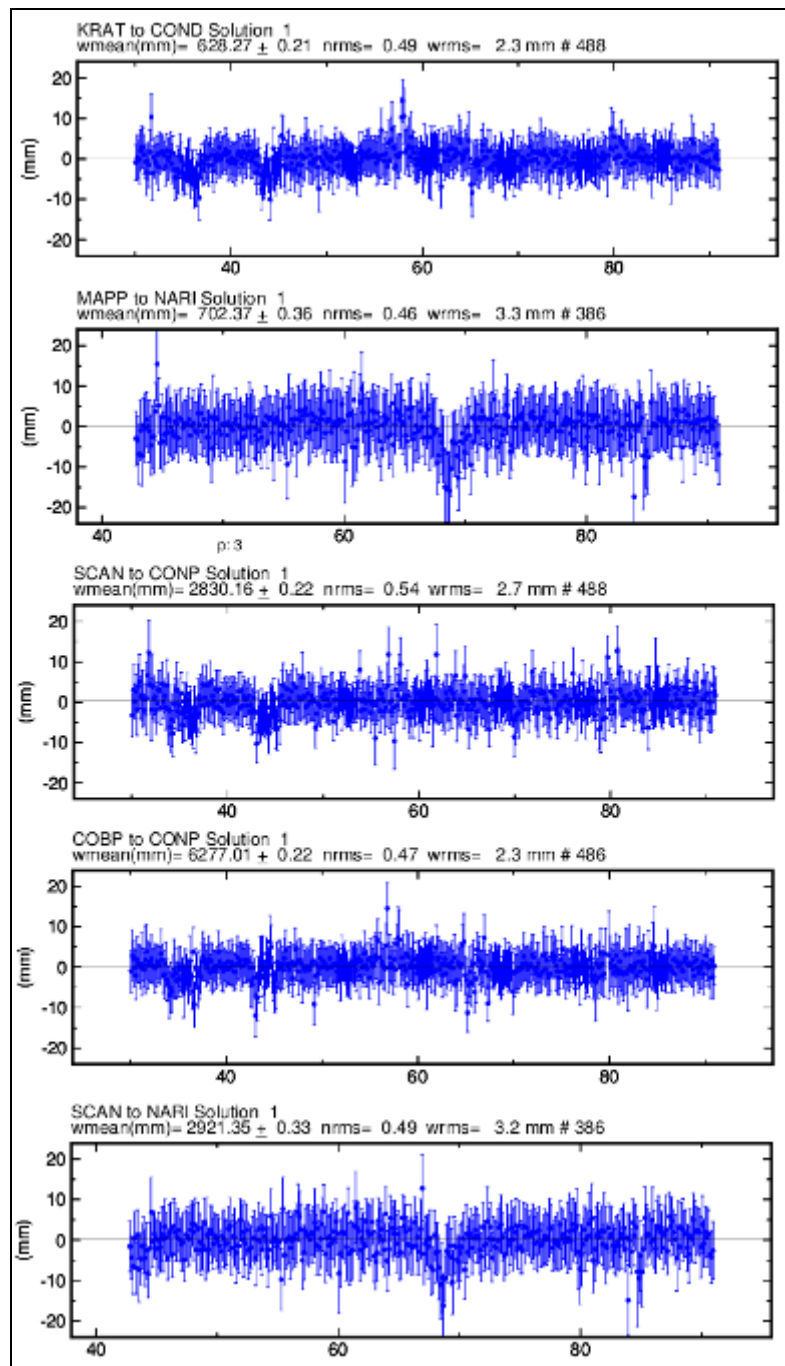


Figura 19. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 y el 31 de marzo de 2019. En la parte superior de cada serie, se tiene para las estaciones que fue determinada

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 20 y 21, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de los GNSS de San Cayetano y Cándor.

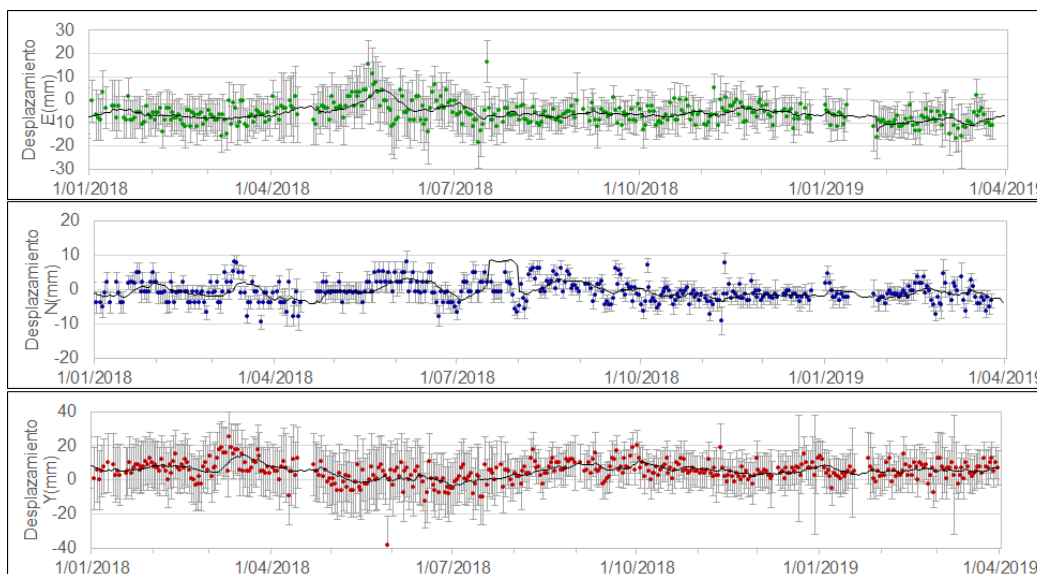


Figura 20. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de marzo de 2019

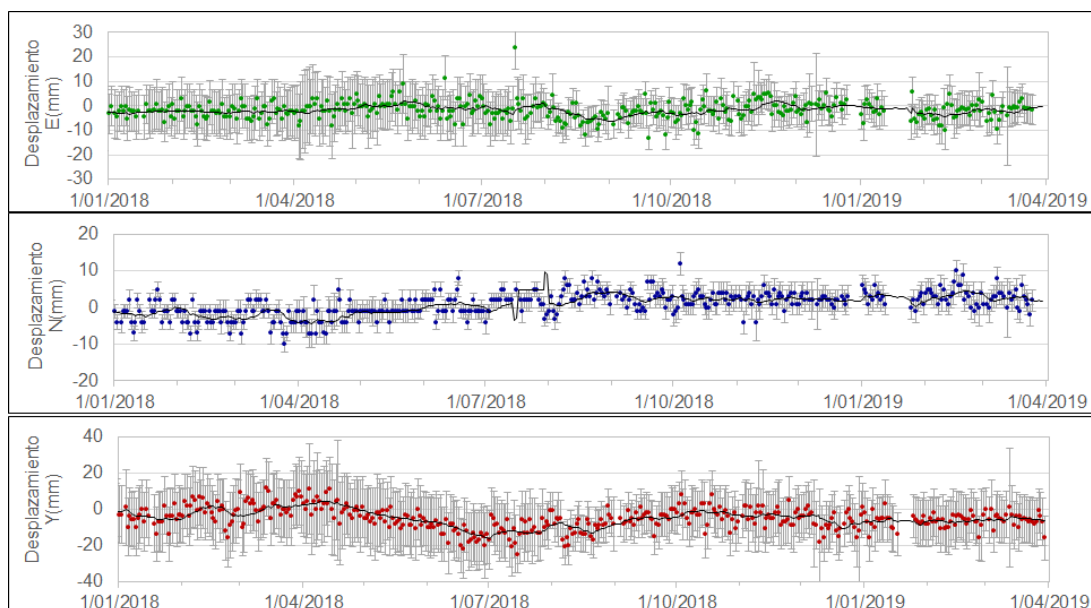


Figura 21. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Córcondor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 15 de marzo de 2019

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

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

1.4 Electromagnetismo

Para el mes de febrero de 2019, el análisis de la información de monitoreo electromagnético, en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con base en los datos colectados de las estaciones de registro continuo, Frailejón (FRA), y Deformes (DEF), que están equipadas con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Para el monitoreo del campo eléctrica en la zona de influencia de Galeras, se cuenta con dos dipolos eléctricos que hacen las veces de la componente NS y EW, de longitud 100 m, cada uno, en el sector de la estación FRA.

Entre diciembre de 2018 y marzo de 2019, la información del Campo Magnético Total (CMT) se registró en las estaciones de monitoreo del volcán Galeras (FRA y DEF), y por 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. Estas tres estaciones mostraron un comportamiento similar, que puede evaluarse como estable, donde se resaltan variaciones seculares día-noche, variaciones seculares de periodos mayores, así como la presencia de tormentas magnéticas de diferentes índices, que generan oscilaciones aleatorias en la intensidad del CMT (Figura 22).

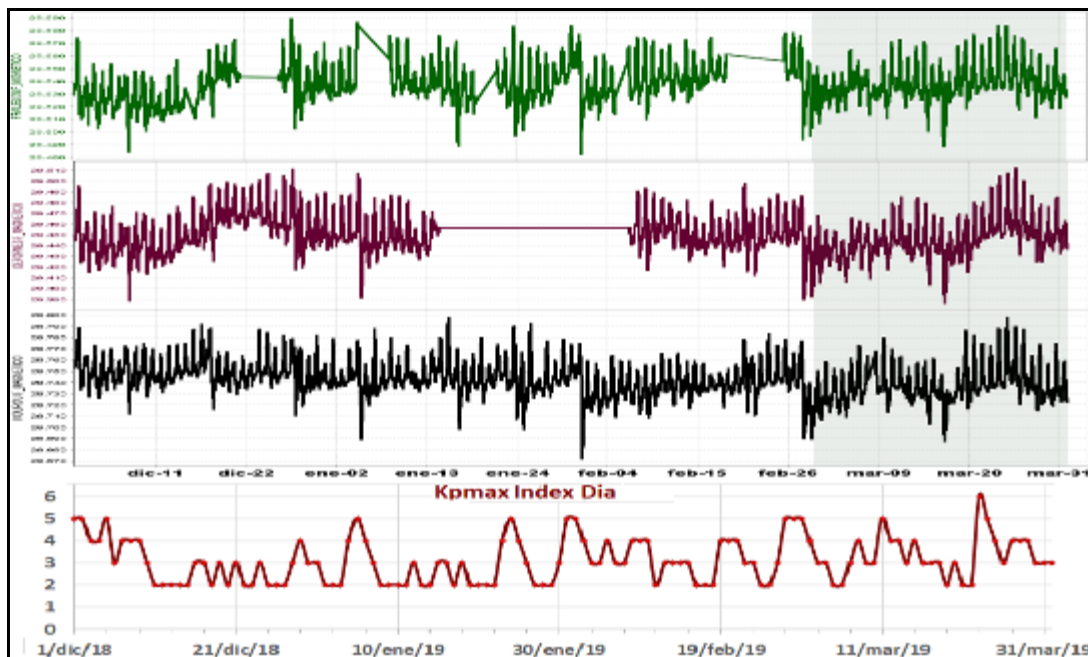


Figura 22. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético en Galeras: Frailejón (verde) y Deformes (roja); la estación de referencia Kourou (negra) y al final el índice Kp; para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 2019. La escala de medición del Campo Magnético, para las series de tiempo, está dada en nano Teslas (nT)

Tomando el periodo a evaluar, correspondiente al mes de marzo de 2019 (Figura 23), se identifican claramente las variaciones día-noche, que son concordantes entre las tres estaciones. Además, se adjunta a la gráfica el comportamiento de los índices de las tormentas magnéticas externas o índice Kp (Figura 23). 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) (Figuras 22 y 23).

El índice Kp muestra un máximo de valor 6 para el 23 de marzo, al parecer este valor afecta en el nivel de variación base de cada estación y en la tendencia levemente descendente del campo total y no se observa un incremento significativo en la amplitud del campo. En general, se puede decir que las estaciones tuvieron un Campo

Magnético Total estable de alrededor de 28.535 nT para FRA, 29.450 nT en DEF y 28.745 nT en KOU (Figura 23), en tanto que las variaciones diarias son de alrededor de 30 nT para FRA, 60 nT para DEF y 55 nT para KOU. Para los días 16 y 17 de marzo, cuando el índice de las tormentas magnéticas es de 3 unidades, se observan las mayores variaciones diarias del CMT en cada estación, con variaciones diarias de 70nT para FRA, 100 nT para DEF y 65nT para KOU

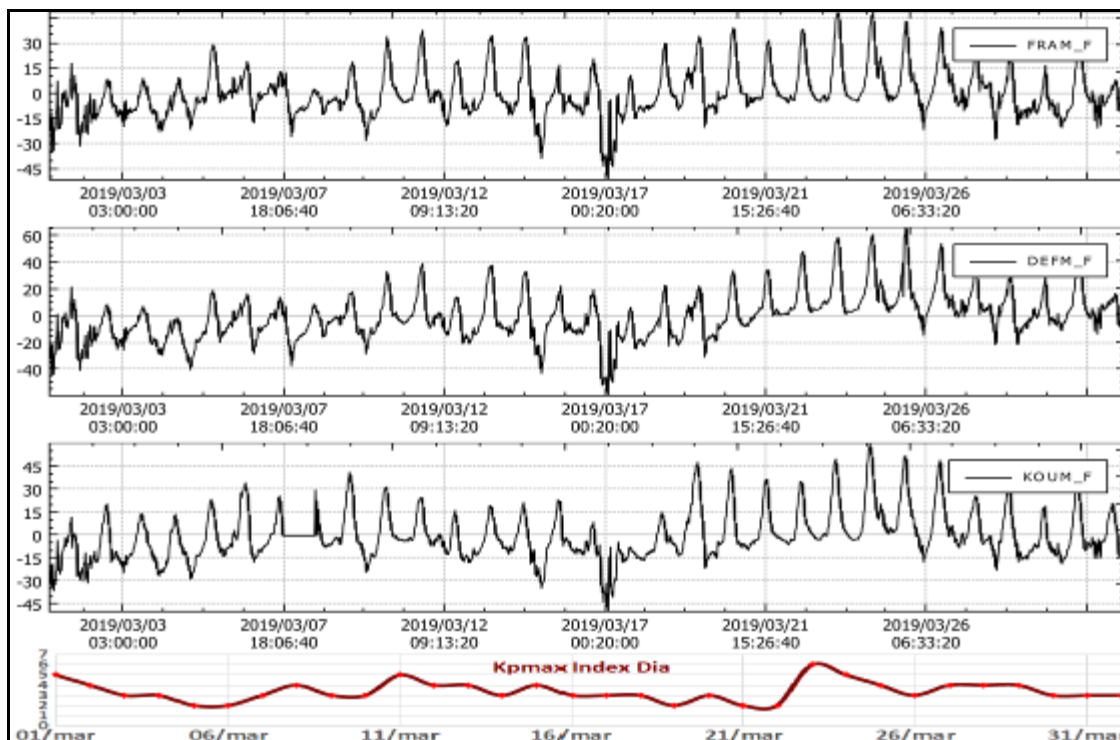


Figura 23. CMT-F, en las estaciones de Frailejón, Deformes y Kourou, para el mes de marzo de 2019, en comparación con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo

El análisis espectral de los registros magnéticos mostró que las variaciones seculares que se deben eliminar están en las frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas (Figura 24). Adicionalmente, se eliminaron también las frecuencias con ciclos menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes.

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.

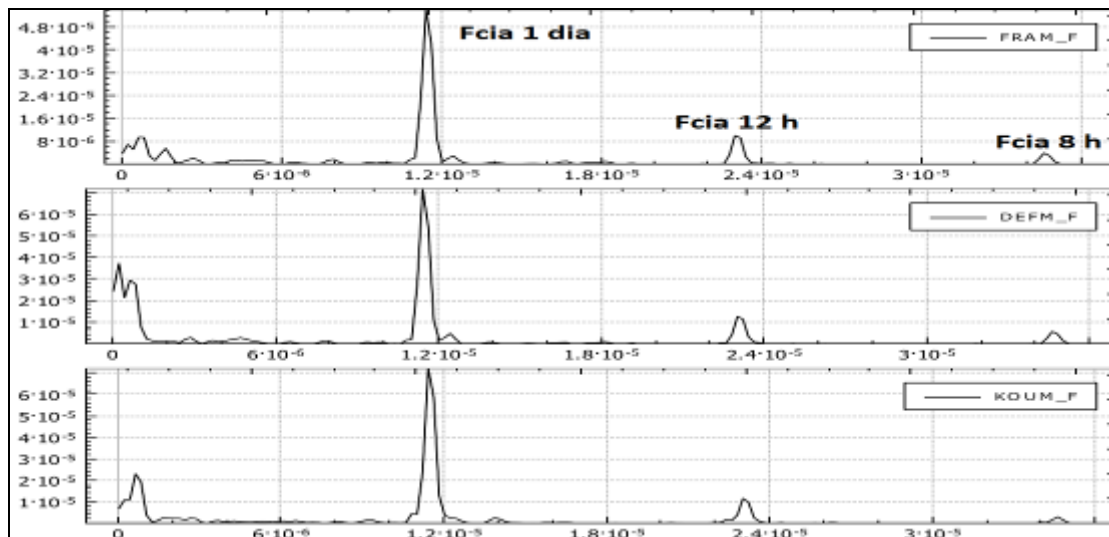


Figura 24. Frecuencias dominantes de los registros del CMT-F, donde se identifican que las frecuencias dominantes son menores de 3.5 días, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de FRA, DEF y KOU, para el periodo de marzo de 2019

Al eliminar las frecuencias de las variaciones periódicas seculares, debidas al 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 ± 10 nT en cada una de las estaciones, y eventualmente, cuando se presentan las tormentas magnéticas externas, estos valores incrementan su intensidad. Como conclusión a este análisis se puede decir que 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 volcánicas (Figura 25).

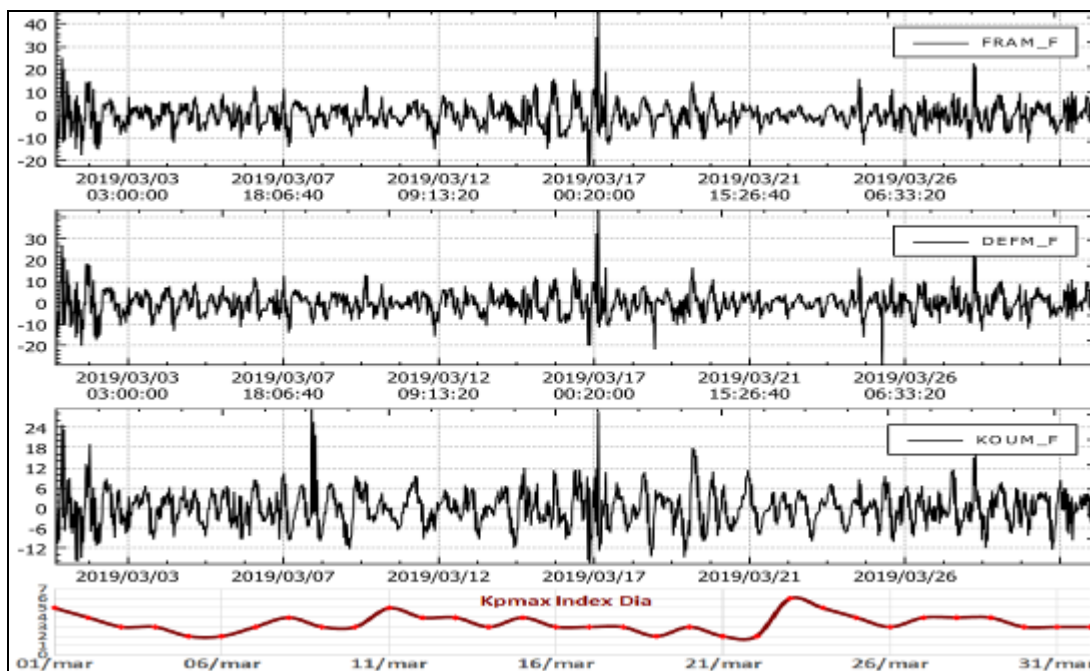


Figura 25. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, en marzo, 2019, comparados con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, llamados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo de tiempo

El registro de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), en la estación FRA, muestra, para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo 2019 (Figura 26), que luego de retirar los equipos correspondientes a una repetidora ubicada en el sector de FRA, el nivel de ruido reportado anteriormente disminuyó considerablemente, aun cuando se mantienen ciertos pulsos esporádicos. Los registros mostraron un comportamiento ascendente en la señal, para finales de febrero e inicios de marzo de 2019, que elevó el nivel del campo a un valor de 845 mV. La evaluación de este comportamiento se comparó con otras áreas del monitoreo, no muestran incremento en la sismicidad, lo que se observa es la ocurrencia de una tormenta externa de valor 5, por espacio de dos días (Figura 26). El efecto de estas tormentas podría ser la causa del incremento en la amplitud de los registros magnéticos, y en este caso también habría influido en los registros eléctricos. Posteriormente a este evento, la señal muestra un comportamiento estable.

El comportamiento de la componente horizontal del campo eléctrico se grafica conjuntamente con el régimen de lluvias del sector de la parte media del volcán

Galeras (Figura 26), donde se evidencia que el régimen de lluvias en esta temporada ha sido bajo y que no han afectado los registros de las componentes del campo eléctrico.

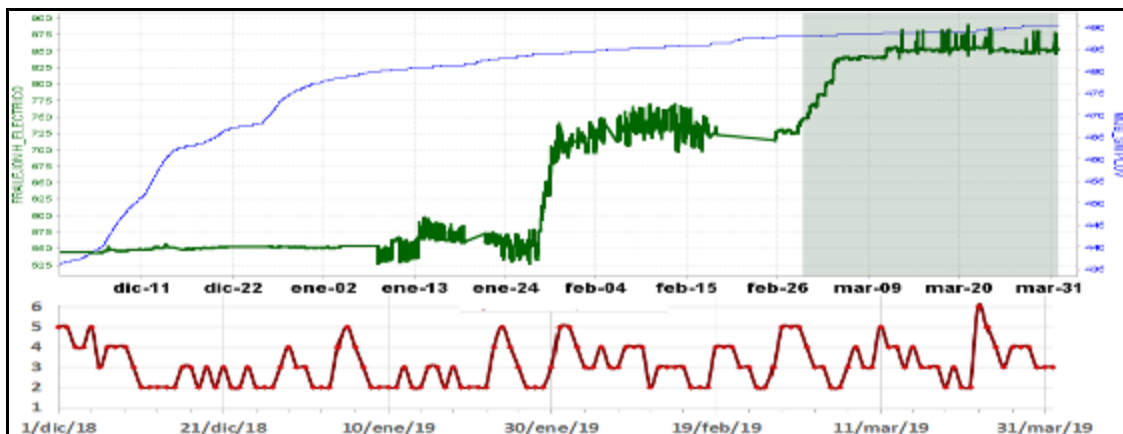


Figura 26. CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, Frailejón (verde), para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 2019, comparado con la estación pluviométrica de la parte media del volcán Galeras y con la intensidad de las tormentas magnéticas externas o índice Kp (roja). La escala de medición del CEH está en milivoltios mV y el pluviómetro en mm

Específicamente, para el mes de marzo, 2019 evaluado en este reporte; además de lo antes mencionado, asociado con el incremento en el valor del campo, para inicios de marzo, que se ha asociado con la ocurrencia de tormenta magnética de índice 5; se observa para el día 11 del mes un nuevo salto, de menor amplitud, que se asocia también con la ocurrencia de tormenta magnética (Figura 27). Posteriormente a esos eventos, el nivel del Campo Eléctrico se mantiene estable, en un valor de alrededor de 845 mV, con variaciones día-noche menores a ± 10 mV.

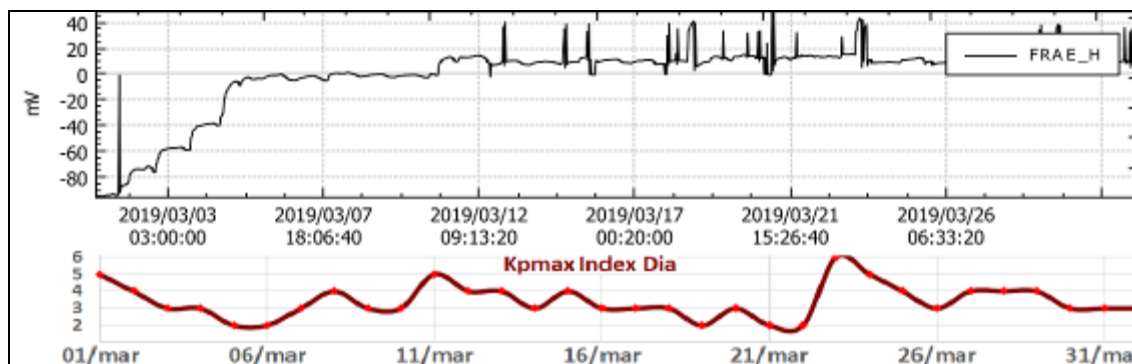


Figura 27. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras FRA y el índice Kp de tormentas magnéticas (rojo), para el mes de marzo, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltios (mV)

El análisis espectral de la CEH muestra que los registros tienen una franja dominante de menos de 3.5 días (Figura 28). Al eliminar esta banda de frecuencias se resaltan también las frecuencias dominantes de las variaciones seculares de 1 día y 12 horas. Todas estas frecuencias fueron eliminadas para resaltar las frecuencias propias de las variaciones eléctricas.

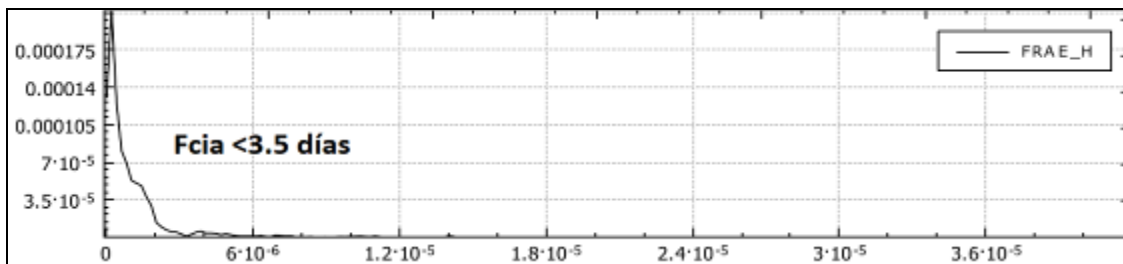


Figura 28. Frecuencias dominantes de los registros del CEH para la estación de FRA, correspondiente a marzo de 2019, en el volcán Galeras. Se identifican una franja de frecuencias dominantes menores a 3.5 días. La escala de las abscisas corresponde a la frecuencia en Hz y las ordenadas en amplitud espectral

Analizando la señal del CEH, cuando se eliminaron las frecuencias de variaciones externas, se identifican variaciones del campo menores a ± 5 mV; variaciones mayores a esta amplitud están asociadas con efectos generados por tormentas magnéticas externas que distorsionan la señal. En general, la tendencia de los datos es estable y asociada con valores de variaciones del campo eléctrico de zonas con actividad volcánica baja (Figura 29).

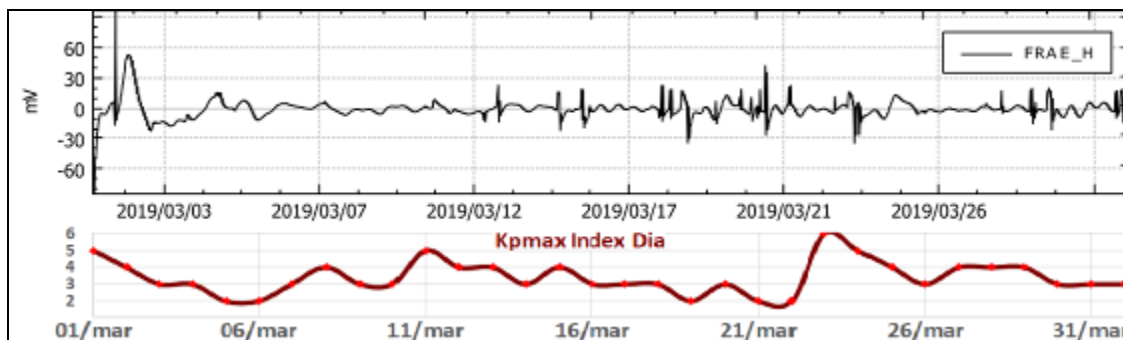


Figura 29. Variaciones del CEH, en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras, FRA (negro), filtrando las variaciones seculares externas, para marzo, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)

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).

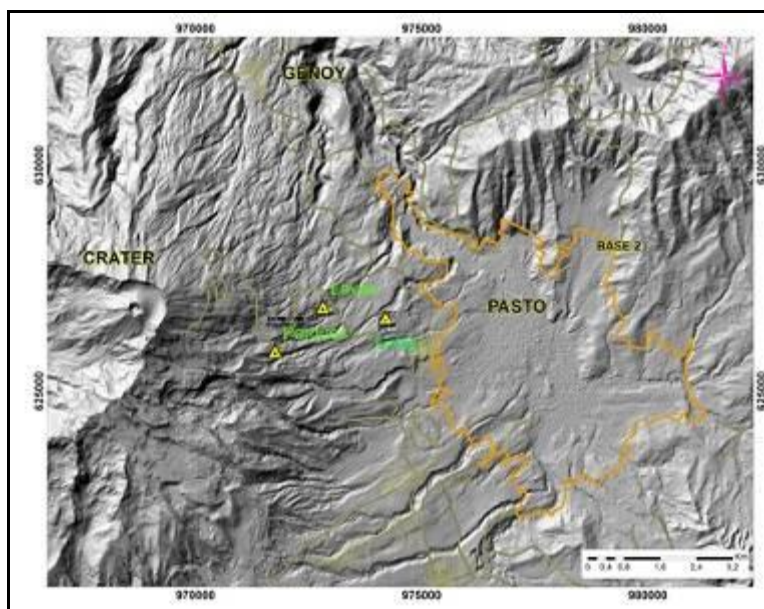


Figura 30 . Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras

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 y Parques (Tabla 10).

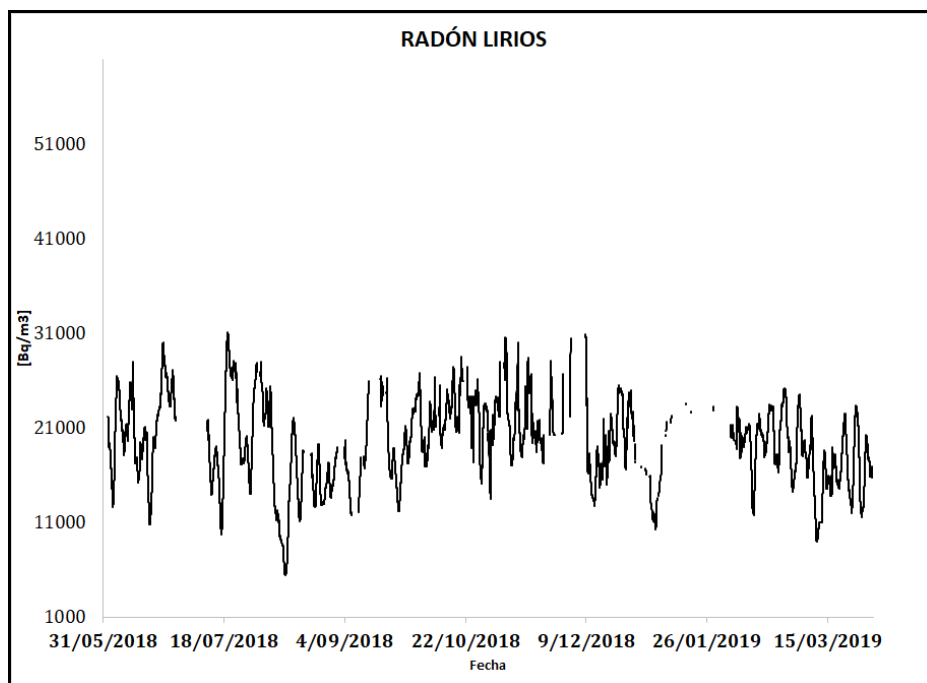


Figura 31. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estaciones Lirios-marzo 2019

Se puede observar que el radón emitido y registrado en marzo de 2019 desde la estación Lirios, mantiene un nivel de concentración similar a semanas anteriores (Tabla 10). 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–marzo 2019

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Promedio	16999
Máximo	57386
Mínimo	1264

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 en agosto de 2018 (Figura 3, en red de vigilancia).

En las Figuras 32 y 33 se registra el comportamiento de la temperatura hasta marzo de 2019, registrando valores máximos de 185.4°C y 85.7°C en Paisita y Deformes respectivamente (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 32) se observa desde el 22 de marzo un decremento en el valor de temperatura, el cual se mantiene en valores de temperatura entre 80 a 90°C.

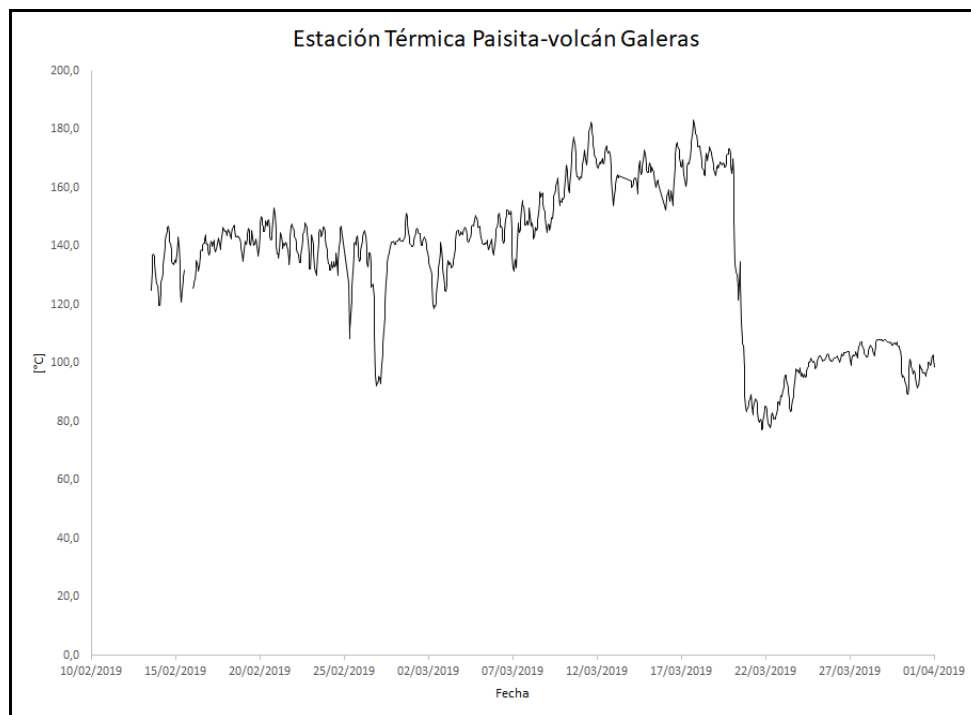


Figura 32. Temperatura fumarola El Paisita-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – marzo de 2019

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

Temperatura [°C]	
Promedio	132.8
Máximo	185.4
Mínimo	67.2

Para el periodo evaluado en la estación Deformes, se evidencia disminución en el valor de temperatura en comparación con semanas anteriores. Sin embargo estos datos hacen parte de la línea base de comportamiento.

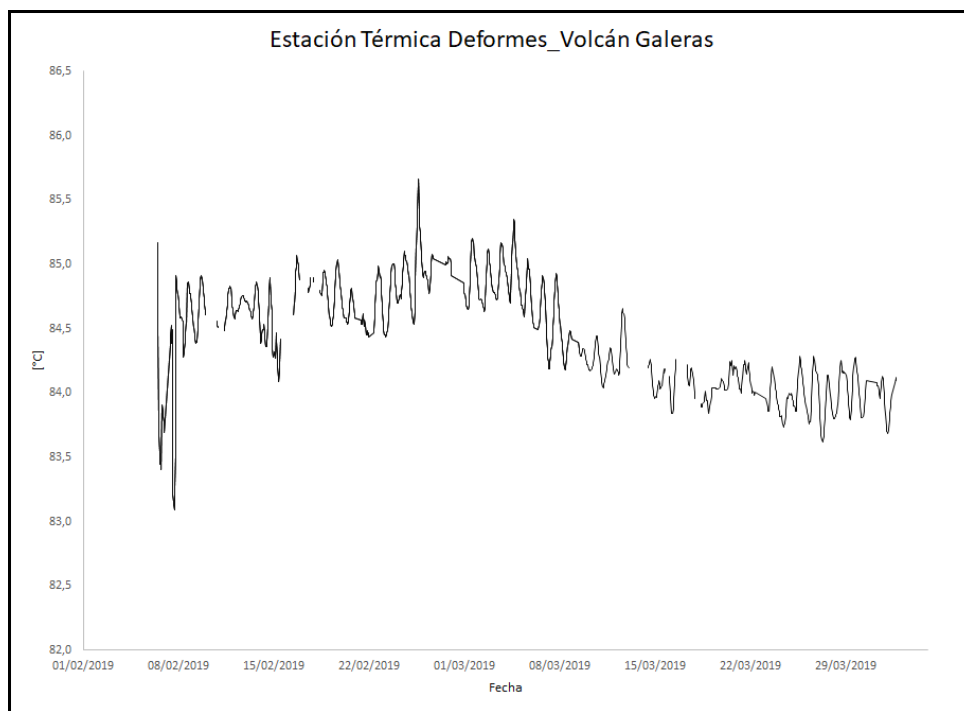


Figura 33. Temperatura fumarola Deformes-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras – marzo de 2019

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

Temperatura	[°C]
Promedio	84.3
Máximo	85.7
Mínimo	83.6

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, en red de vigilancia).

Tabla 13. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras - marzo 2019



A continuación se presenta para las FT Río Pasto, Cehani y Aguas Agrías, las variaciones de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ*. Los datos corresponden al muestreo realizado el 14 de marzo de 2019 (Tabla 13), los cuales se dan a conocer en el informe mensual actual.

Se puede observar en las tres FT, que el pH no presenta variaciones importantes en comparación con semanas anteriores, la conductividad eléctrica sigue presentando un leve comportamiento ascendente en la FT Cehani, los demás manantiales continúan con valores similares a los anteriores. La temperatura no presenta cambios relevantes en ninguna de los tres manantiales, la alcalinidad y el ORP se mantienen dentro de la línea base de información (Figuras 34, 35, 36, 37 y 38).

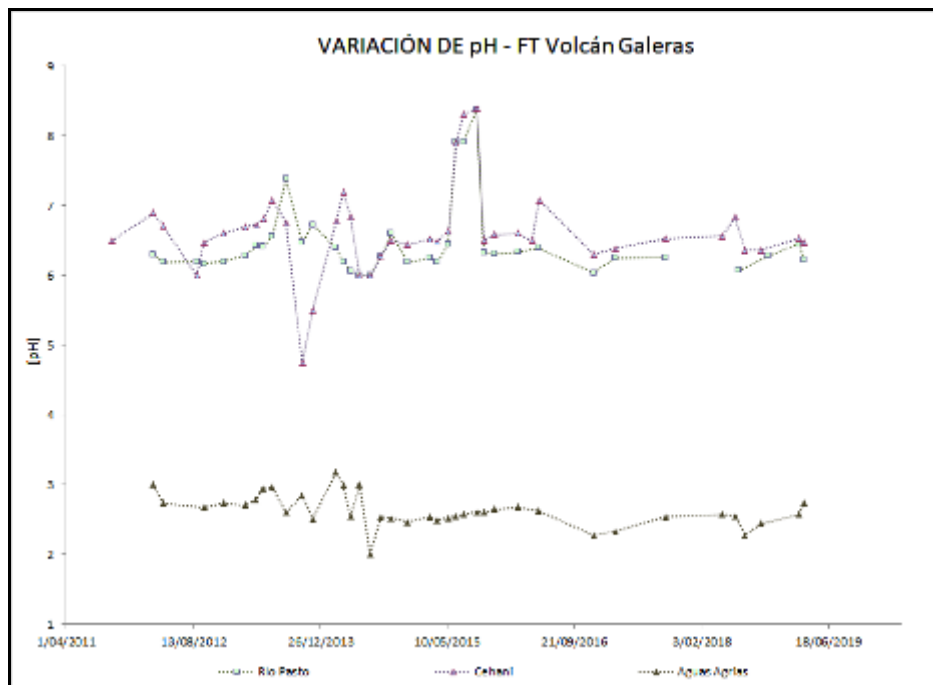


Figura 34. Variación de pH FT- Volcán Galeras- marzo 2019

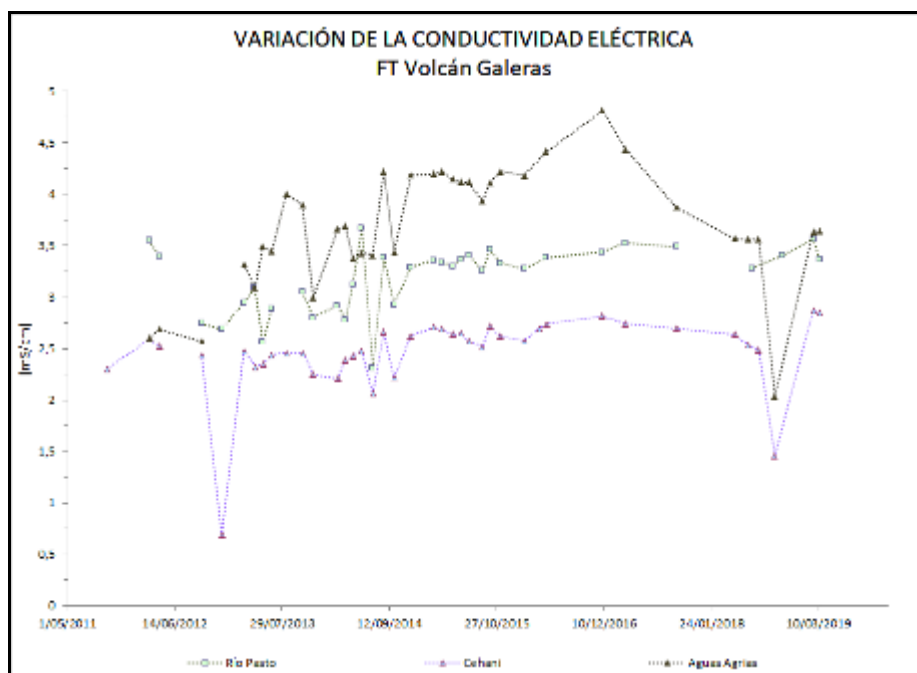


Figura 35. Variación conductividad eléctrica FT - Volcán Galeras-marzo 2019

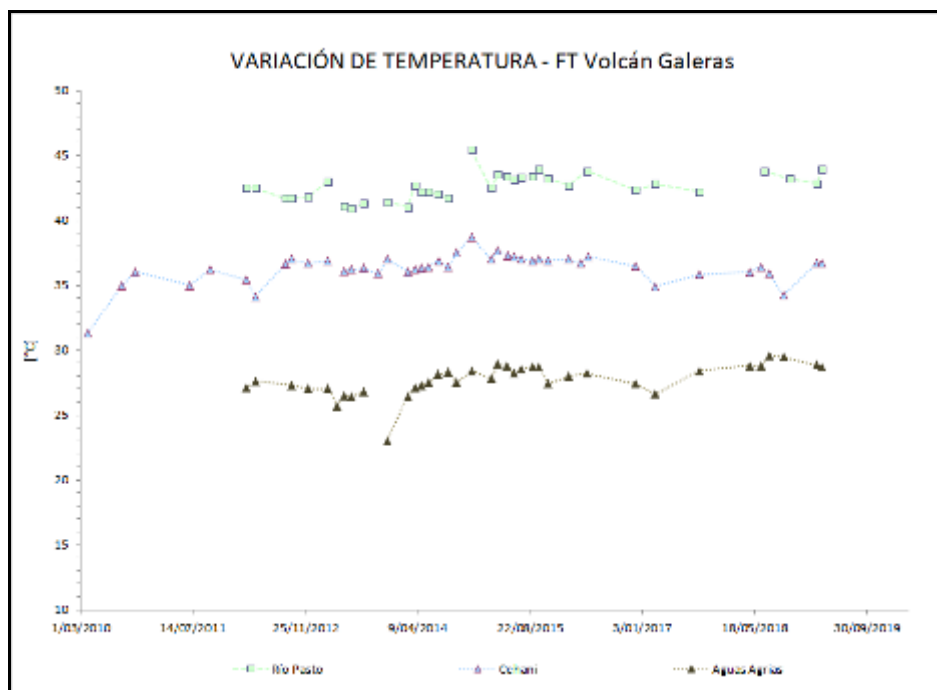


Figura 36. Variación temperatura FT - Volcán Galeras-marzo 2019

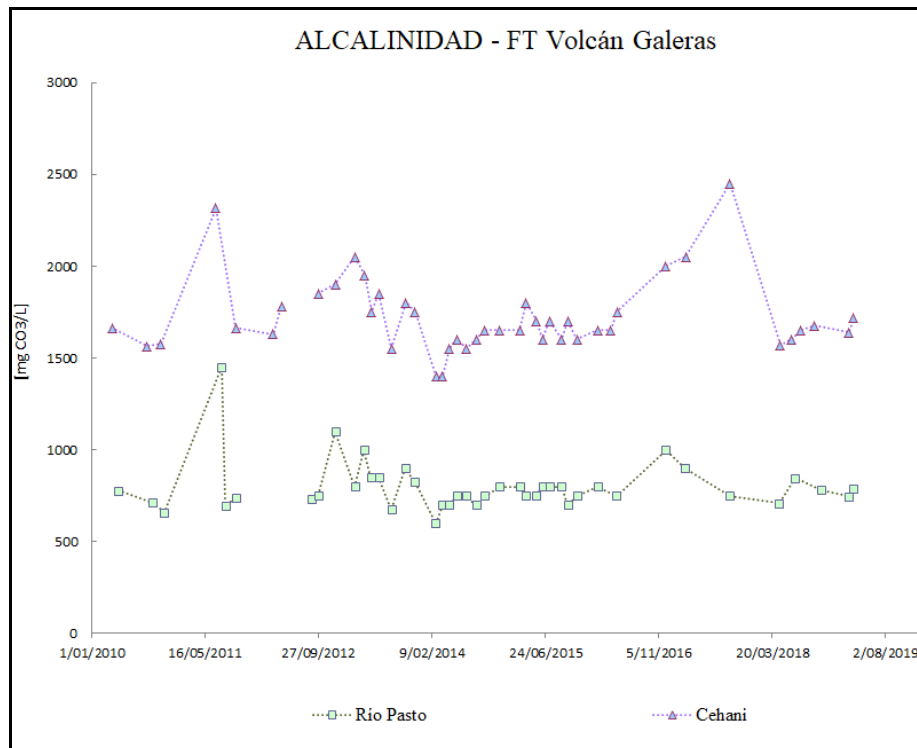


Figura 37. Variación alcalinidad FT – Volcán Galeras -marzo 2019

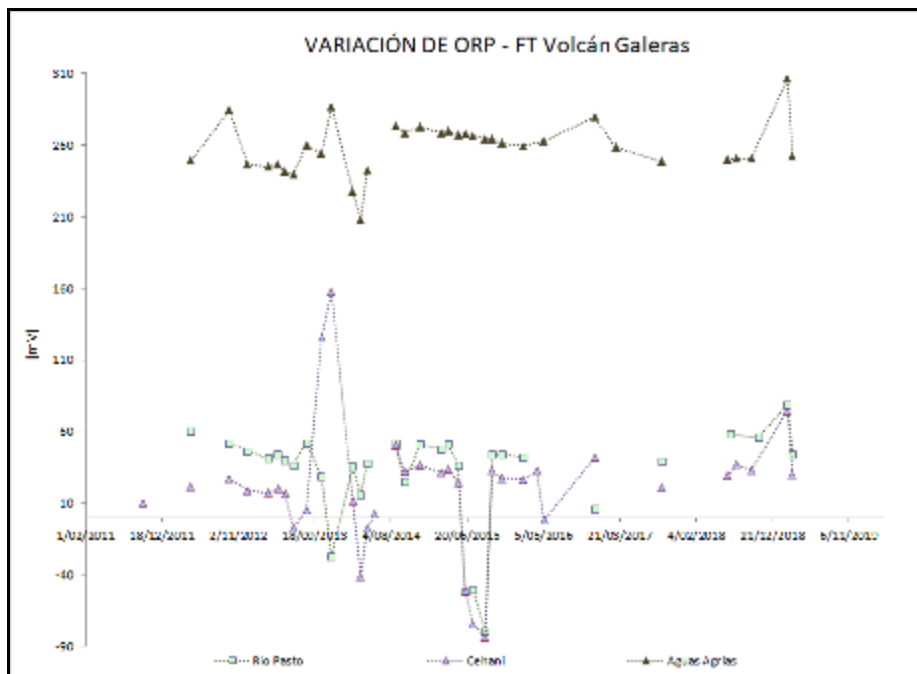


Figura 38. Variación Potencial de óxido-reducción FT- Volcán Galeras-marzo 2019

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 marzo del 2019, 1, 4, 5, 7, 13, 15, 16, 18, 20, 21, 24, 25, 26 y 31 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 39 a 48 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 39. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 1 de marzo de 2019 (izquierda) a las 07:45 a.m y 4 de marzo de 2019 (derecha) a las 08:38 a.m.



Figura 40. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 4 de marzo de 2019 (izquierda) a las 02:48 p.m y 7 de marzo de 2019 (derecha) a las 05:11 p.m.



Figura 41. Registro fotogrametrico de emisiones de gases desde el crater principal y algunas fumarolas de la periferia del cono activo registrado desde Bruma, durante los dias 5 de marzo de 2019 (izquierda) a las 09:26 a.m y 7 de marzo de 2019 (derecha) a las 06:23 p.m.



Figura 42. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 13 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 04: 32 p.m., y Barranco el día 15 de marzo de 2019 (derecha) a las 06: 37 p.m.



Figura 43. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 16 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 04: 30 p.m., y Barranco el día 18 de marzo de 2019 (derecha) a las 05: 44p.m.



Figura 44. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 20 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 07: 08 a.m., y Bruma (derecha) a las 06: 06 p.m.

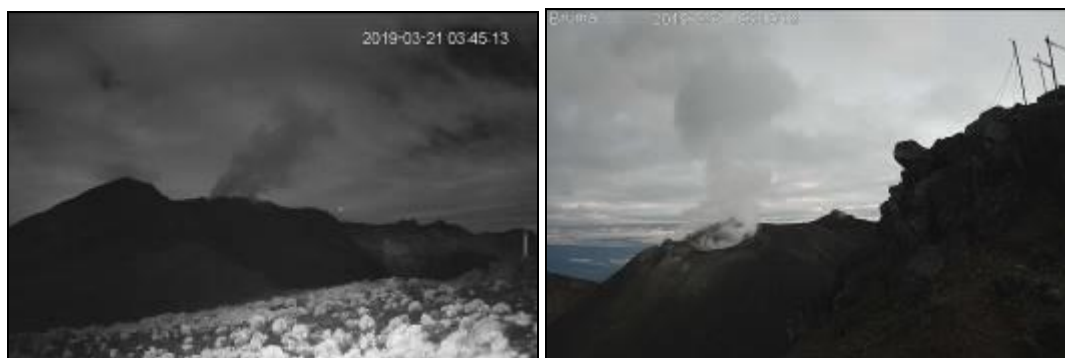


Figura 45. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 21 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 03: 45 a.m., y Bruma (derecha) a las 06: 10 a.m.



Figura 46. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 24 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 06: 40 p.m., y Bruma (derecha) a las 06: 39 p.m.



Figura 47. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 25 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco (izquierda) a las 05: 34 a.m., y Bruma (derecha) a las 03: 00 p.m.

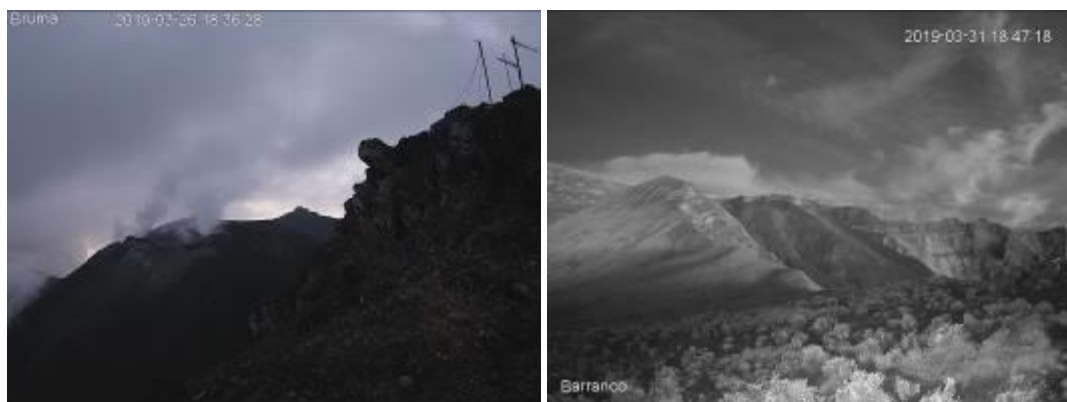


Figura 48. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de marzo de 2019 desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma (izquierda) a las 06: 36 p.m., y Barranco el día 31 de marzo de 2019 (derecha) a las 06: 47 p.m.

1.6 Conclusiones


El radón emitido y registrado en marzo de 2019 desde la estación mantiene un nivel de concentración similar a semanas anteriores.

Se registraron valores máximos de 185.4°C y 85.7°C en Paisita y Deformes respectivamente, las fluctuaciones presentes en las gráficas corresponden a variaciones día-noche. En la estación térmica Paisita se observa desde el 22 de marzo un decremento en el valor de temperatura, el cual se mantiene en valores de temperatura entre 80 a 90°C. La temperatura en Deformes, disminuye el valor de temperatura en el periodo evaluado, en comparación con semanas anteriores. Sin embargo estos datos hacen parte de la línea base de comportamiento.

En las FT de la zona de influencia del volcán Galeras, el pH no presenta variaciones importantes en comparación con semanas anteriores, la conductividad eléctrica sigue presentando un leve comportamiento ascendente en la FT Cehani, los demás manantiales continúan con valores similares a los anteriores y con respecto a la temperatura, ésta no presenta cambios relevantes en ninguna de los tres manantiales, la alcalinidad y el ORP se mantienen dentro de la línea base de información.

Las variaciones descritas no corresponden a cambios en el sistema volcánico del Galeras, sin embargo el área de geoquímica estará atento a posibles cambios relacionados.

En marzo de 2019, en el volcán Galeras se registró un leve incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de los sismos. Se mantuvo el predominio en ocurrencia y energía de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán. La magnitud local máxima fue de 1.6 en la escala de Richter.

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

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2019

2.1 Red de Vigilancia

En marzo 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 49, Tabla 14).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 49).
- 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 49).
- Un pluviómetro y un anemómetro instalados en el sitio donde se ubica la estación La Nieve (Figura 49).
- Cuatro inclinómetros electrónicos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 50, Tabla 14).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 97 % (Figura 51).

Tabla 14. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo 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

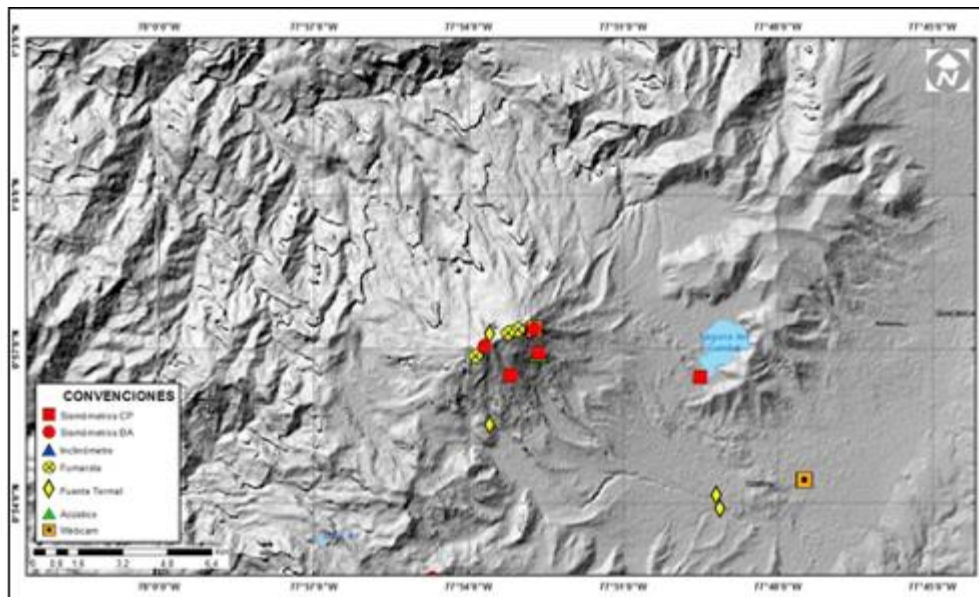


Figura 49. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2019

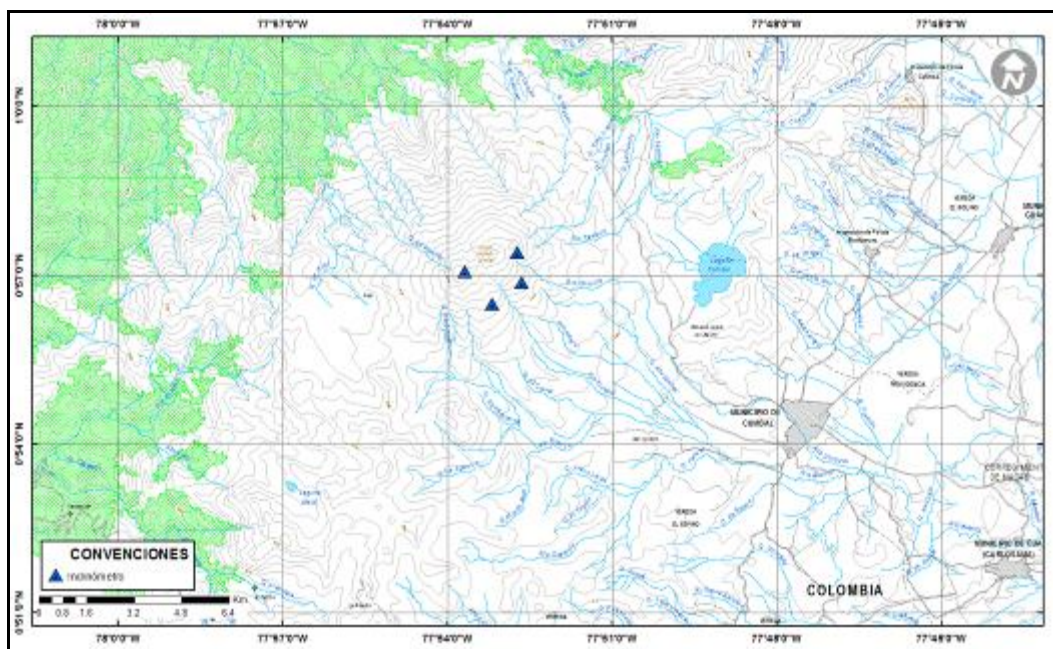


Figura 50. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de marzo de 2019

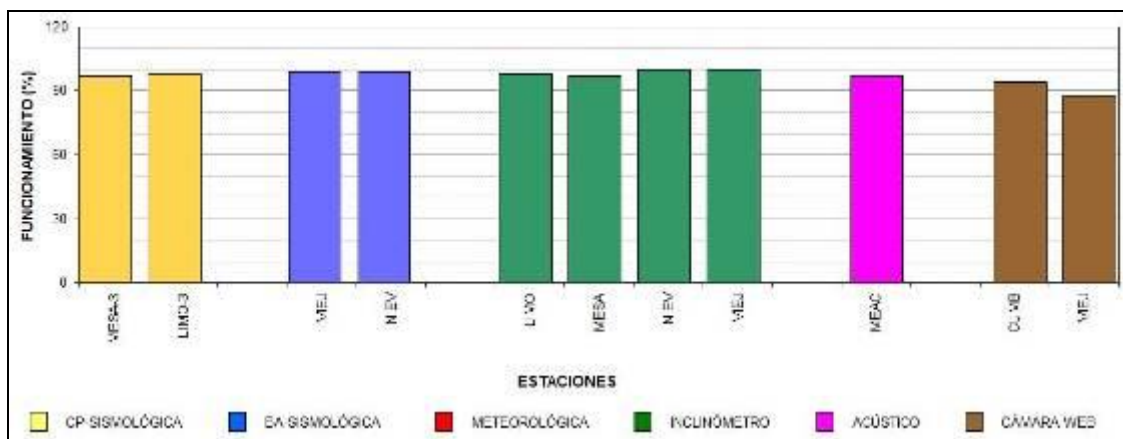


Figura 51. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2019

2.2 Sismología

La sismicidad de marzo de 2019 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) mostró disminución del 7% en su ocurrencia pasando de 1359 a 1259 eventos en comparación con febrero. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical (VT) con 643 eventos, que equivalen al 51% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán (LP), con 519 eventos que representan el 41%, también se registraron 97 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 8%. No se registraron episodios de tremor ni eventos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos) (Tabla 15, Figura 52 y 53). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el día 20 de marzo con 101 sismos (44 VT, 53 LP y 4 HIB).

Tabla 15. Número de sismos volcánicos por tipo, en el CVC, febrero y marzo de 2019

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2019	597	670	1	91	0	1359
Marzo de 2019	643	519	0	97	0	1259

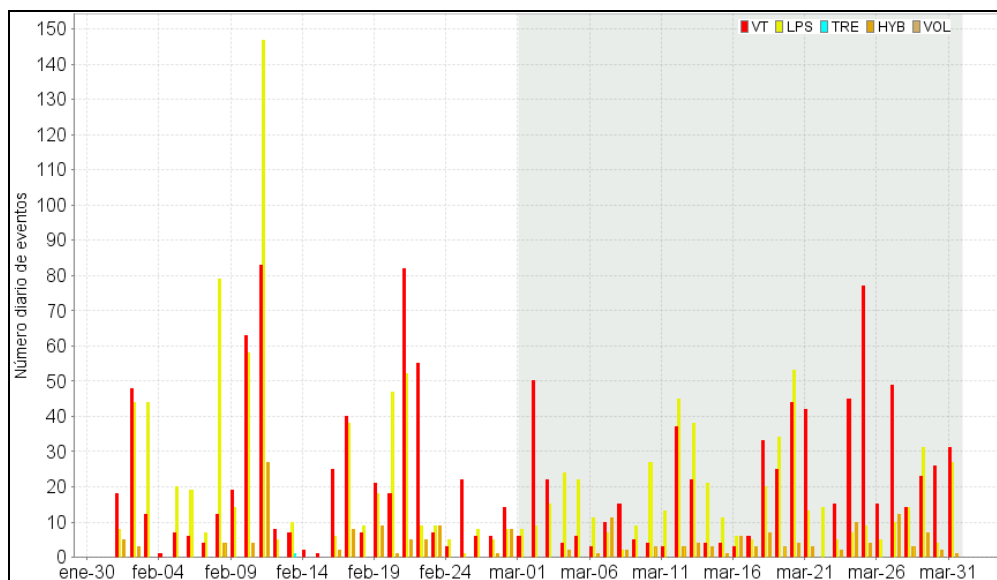


Figura 52. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT incrementaron su ocurrencia un 8% pasando de 597 a 643 eventos, los LP disminuyeron un 22% pasando de 670 a 519 eventos y los HIB se incrementaron un 7% pasando de 91 a 97 eventos (Tabla 15, Figura 52 y Figura 53).

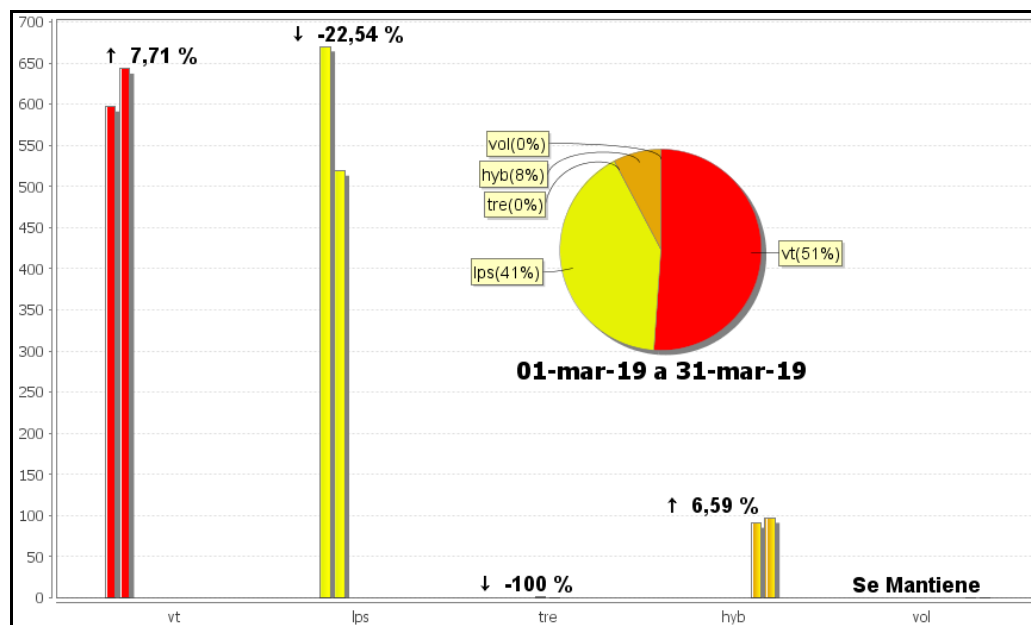


Figura 53. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019

Se registraron 2 eventos de tipo Tornillo (TOR), que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 54 se muestran los sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de marzo de 2019 en la componente vertical de la estación Limones del CVC. Los eventos de marzo presentaron picos dominantes en las frecuencias de 1.4 – 1.5 Hz y 2.7 Hz, el evento del 8 de marzo presenta adicionalmente otros picos de menor amplitud en las frecuencias de 4.5 Hz y 6.1 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal volcánico. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros una correlación con procesos de presurización del sistema.

Se localizaron 35 sismos VT, la mayoría de baja energía y ubicados en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico en sentido noroccidente – suroriente, con profundidades menores de 2 km. Otros sismos se ubicaron dispersos en la zona de influencia del CVC, a distancias entre 0.5 y 5 km, profundidades menores de 13 km con respecto al cráter La Plazuela (4700 m) y ML máxima de 2.4 en la escala de Richter. La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 1.08×10^{15} ergios.

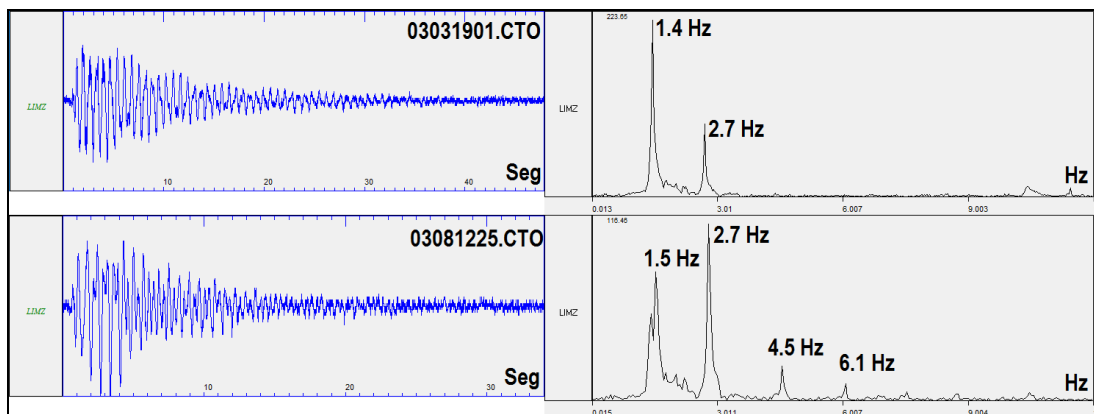


Figura 54. Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos TOR de marzo de 2019 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

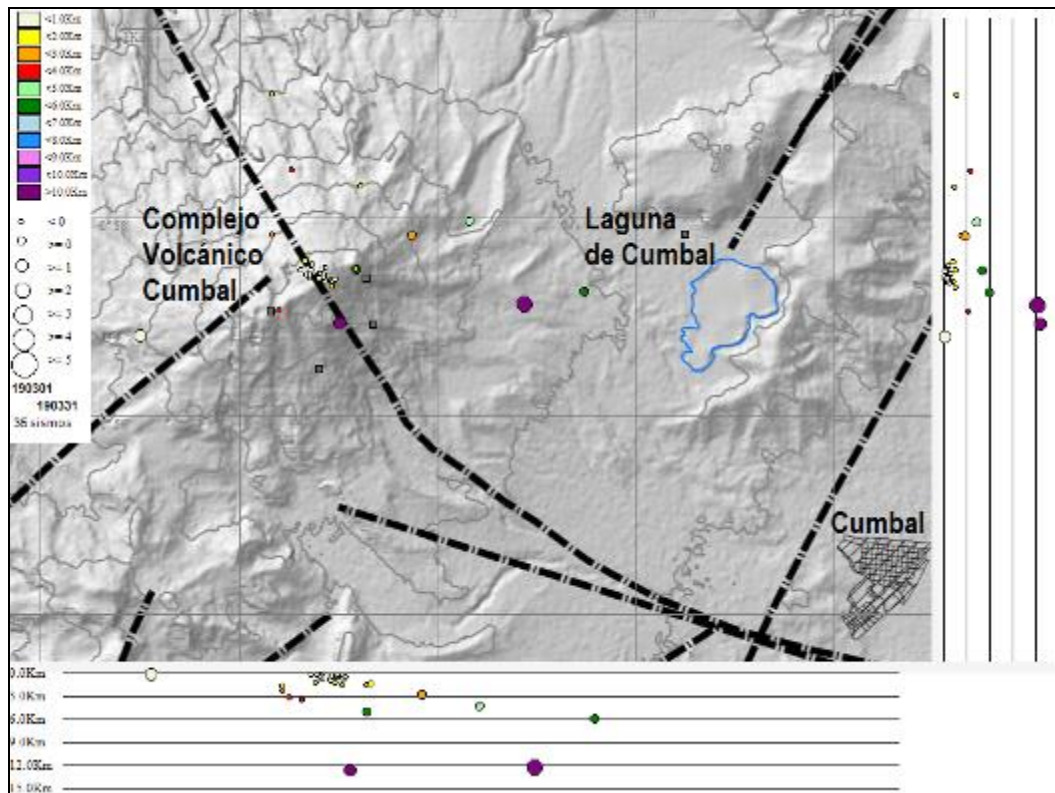


Figura 55. Localizaciones de VT registrados en marzo de 2019 en el CVC

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 1.1 en la escala de Richter y en la Tabla 16 se consignan sus características de localización.

Tabla 16. Sismos con ML mayor o igual a 1.1 registrados en el CVC en marzo de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
17/03/2019	21:28	0-57.14	77-51.14	12	2.4
17/03/2019	22:01	0-56.95	77-52.99	13	1.3
23/03/2019	16:59	0-56.82	77-55.00	0.2	1.1

2.3 Deformación

Las componentes de inclinación de las estaciones Punta Vieja y Limones muestran asociadas con temperatura imperante en la zona (Figura 56 y 57).

La componente Este del inclinómetro La Mesa, mantiene la tendencia ascendente que trae desde principios del 2017, acumulando hasta la fecha cerca de 120 uradianes. Y para el mismo periodo en la componente Norte se tiene un cambio de 235 uradianes, marcados principalmente entre diciembre del 2017 y septiembre de 2018. Este sensor se ha nivelado en diferentes oportunidades para verificar los cambios observados (abril 19 y octubre 19 de 2018, y marzo 21 de 2019) (Figura 58).

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, sin embargo en el último mantenimiento realizado el 19 de marzo de 2019, se encontró que el sistema estaba inundado, aunque el equipo se encontró en perfecto estado, sin embargo los cambios mencionados anteriormente pueden estar asociados a la acumulación de agua en el sistema de protección. En este mantenimiento fue necesario nuevamente nivelar el sensor (Figura 59).

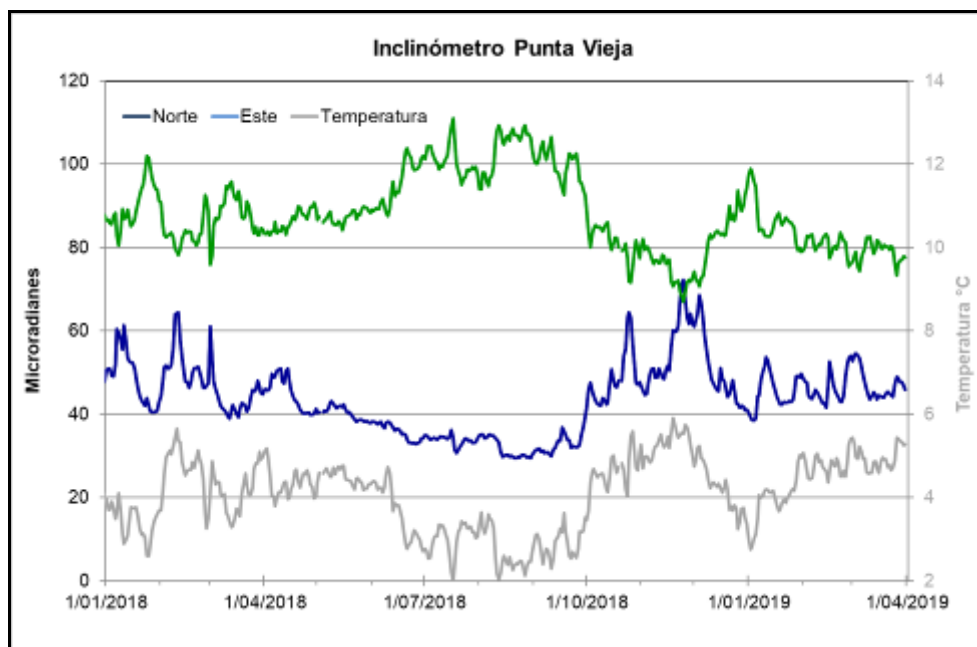


Figura 56. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

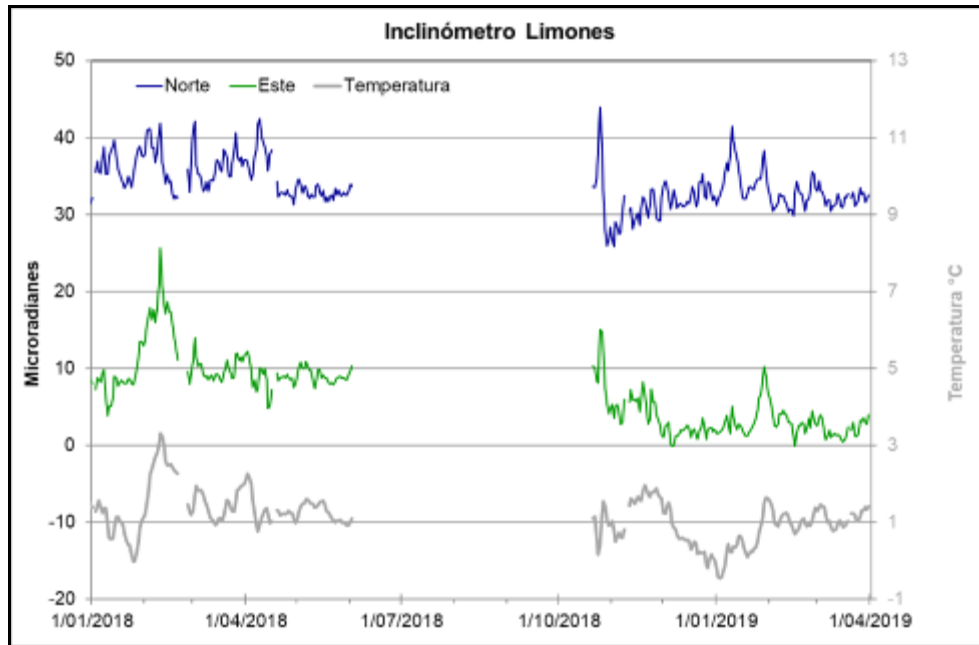


Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

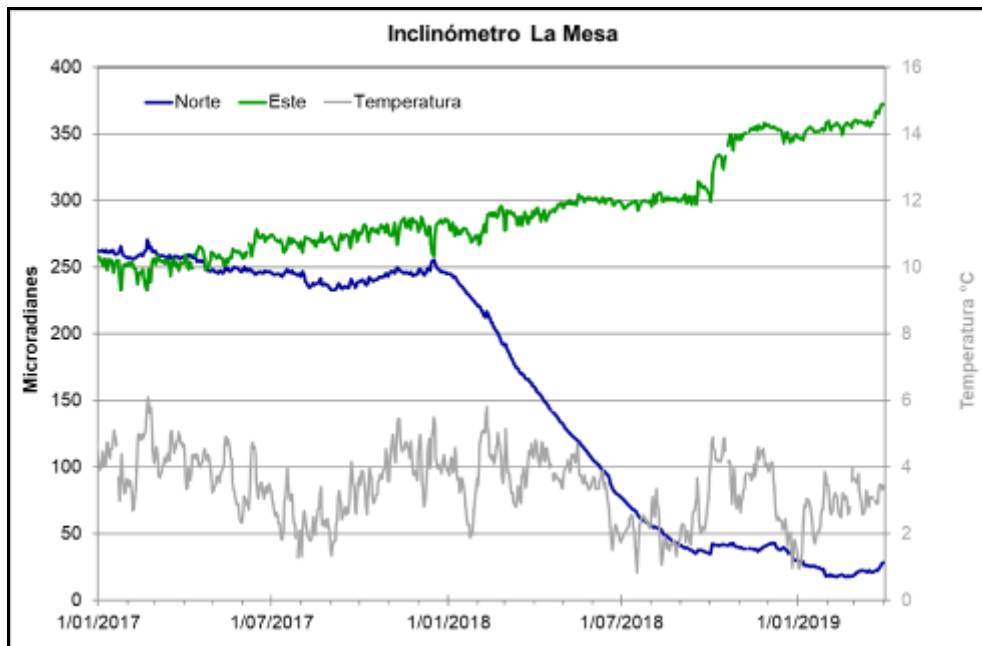


Figura 58. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de marzo de 2019

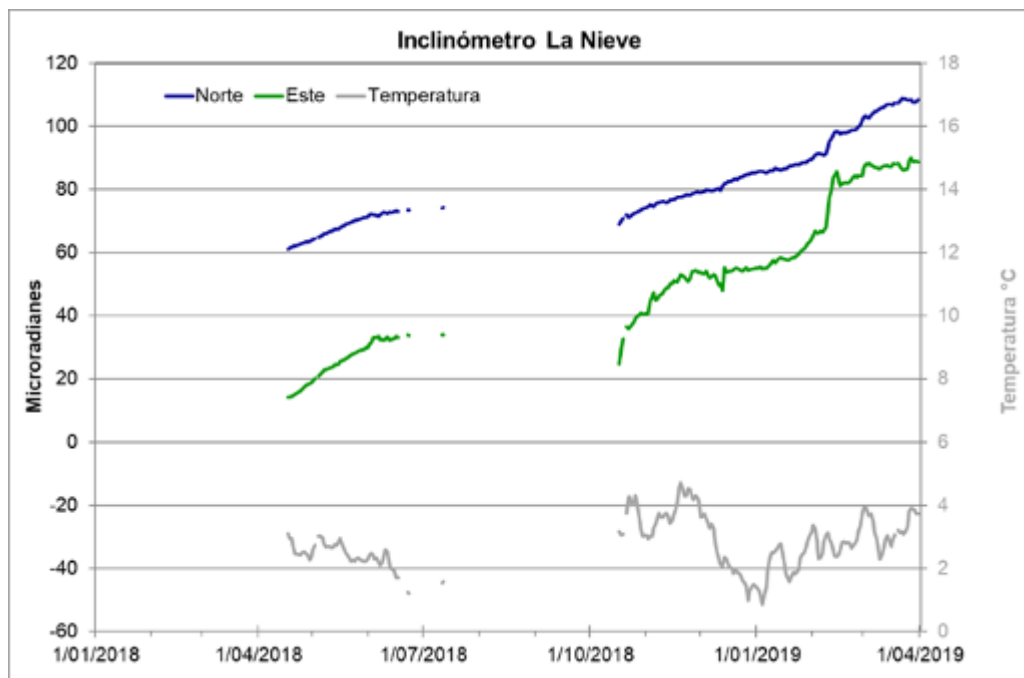


Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre abril de 2018 y el 31 de marzo de 2019

2.4 Geoquímica

2.4.1 Muestreo de aguas en fuentes termales-volcán Cumbal.

No se llevaron a cabo muestreo geoquímico en este volcán.

2.5 Actividad Superficial

Los días 1, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 23, 25, 26 y 31 de marzo 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 60 a 68 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



Figura 60. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 1 de marzo de 2019 a las 05 :22 p.m., (izquierda) y el 3 de marzo a las 06:35 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 61. Imágenes de emisión de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 4 de marzo de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 09:16 a.m



Figura 62. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 5 de marzo de 2019 a las 06 :06 a.m., (izquierda) y el 7 de marzo a las 06: 43 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

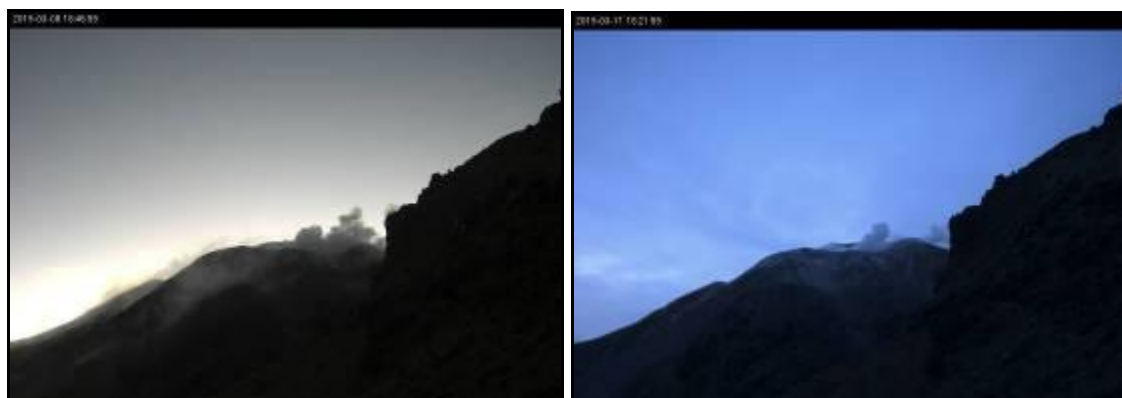


Figura 63. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 8 de marzo de 2019 a las 06 :47 p.m., (izquierda) y el 11 de marzo a las 06: 21 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 64. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 12 de marzo de 2019 a las 07 :23 a.m., (izquierda) y el 14 de marzo a las 06: 45 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 65. Imágenes de emisión de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 16 de marzo de 2019, capturadas desde el casco urbano de Cumbal a las 06:44 a.m



Figura 66. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 20 de marzo de 2019 a las 03 :16 p.m., (izquierda) y el 22 de marzo a las 06: 26 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 67. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 23 de marzo de 2019 a las 12 :23 a.m., (izquierda) y el 25 de marzo a las 07: 15 a.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja



Figura 68. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 26 de marzo de 2019 a las 06 :13 a.m., (izquierda) y el 31 de marzo a las 06: 53 p.m. (derecha), capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja

2.6 Conclusiones

En el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), en marzo de 2019 la sismicidad registró disminución en su ocurrencia e incremento en su energía, localizándose en distancias hasta de 5 km, en profundidades menores de 13 km y con ML máxima de 2.4 en la escala de Richter. Los sismos de tipo TOR no evidencian presurización dentro del sistema.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en marzo de 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 – MARZO 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 69).

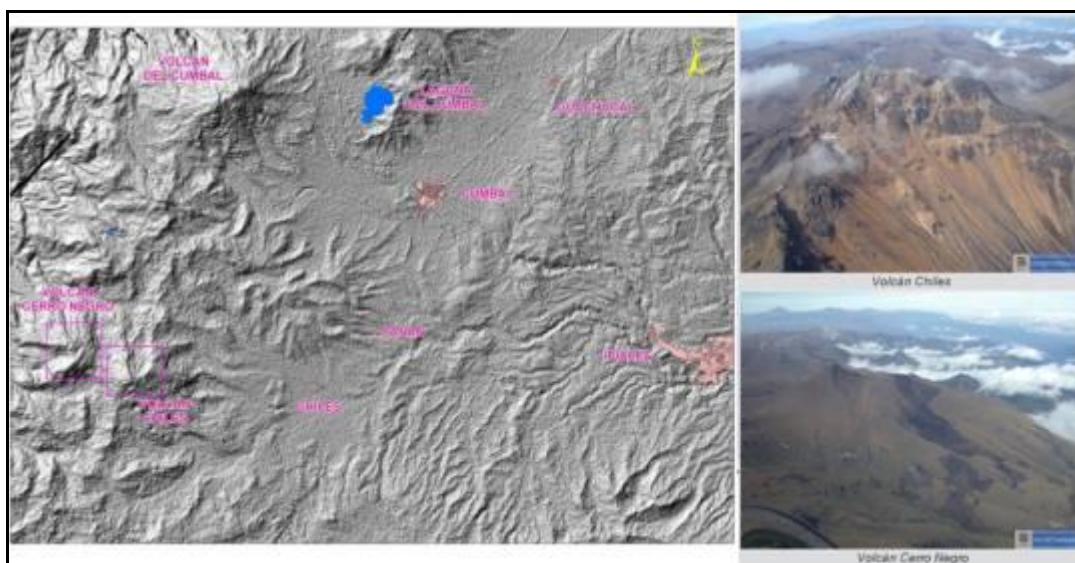


Figura 69. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

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 Panam, 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 termocupla en fuente termal), ubicada en el sector de Baño Grande. Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 70, Tablas 17 y 18).

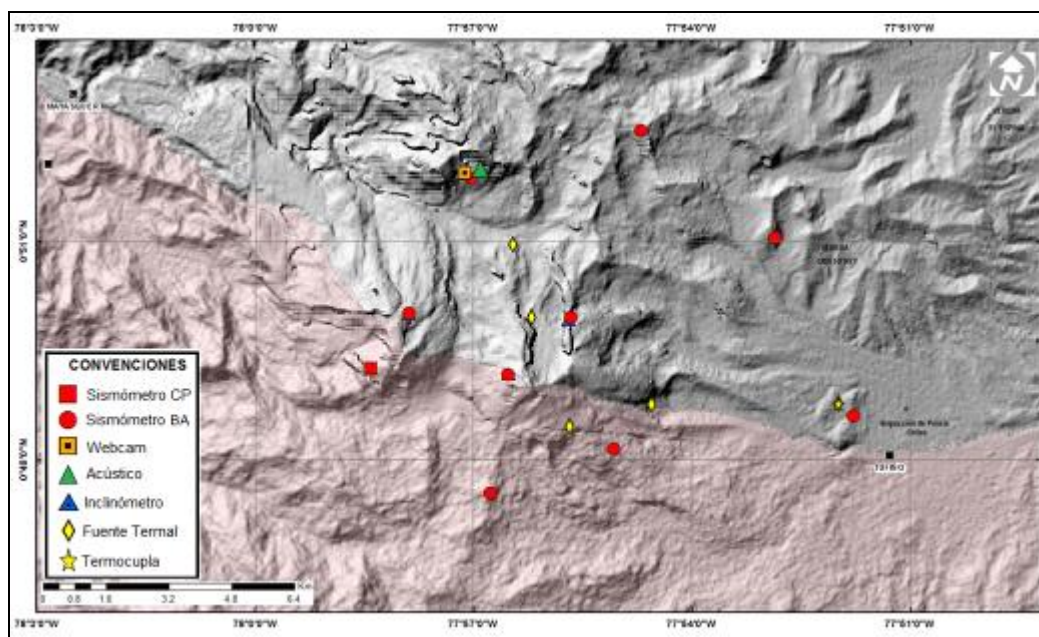







Figura 70. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de marzo de 2019

Tabla 17. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro

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

Tabla 18 .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 96 % (Figura 71).

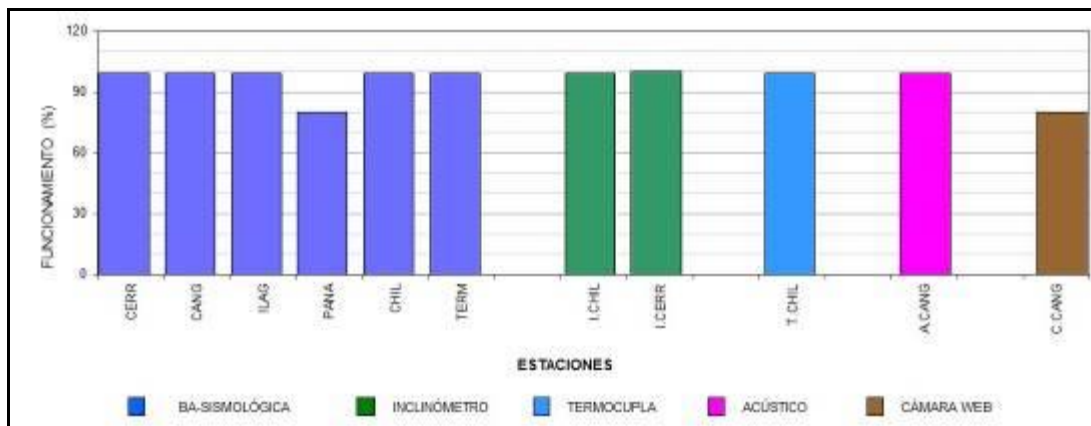


Figura 71. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2019

3.3 Sismología

En marzo se registró disminución del 27% en la ocurrencia sísmica de los volcanes Chiles y Cerro Negro, pasando de 20028 a 14566 eventos. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 14562 eventos, que representan el 99.9% de los sismos; también se registraron 1 evento LP y 3 HIB que en conjunto representan el 0.1% de la sismicidad total. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 22 y 23 de marzo con 1142 y 4163 eventos VT, respectivamente (Tabla 19, Figura 72). La sismicidad VT también disminuyó su ocurrencia un 27%, pasando de 19992 a 14562 eventos. Los sismos LP e HIB disminuyeron 94% y 84% al pasar de 17 eventos a 1 y de 19 a 3 eventos, respectivamente.

Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo 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
Febrero de 2019	19992	17	0	19	0	20028
Marzo de 2019	14562	1	0	3	0	14566

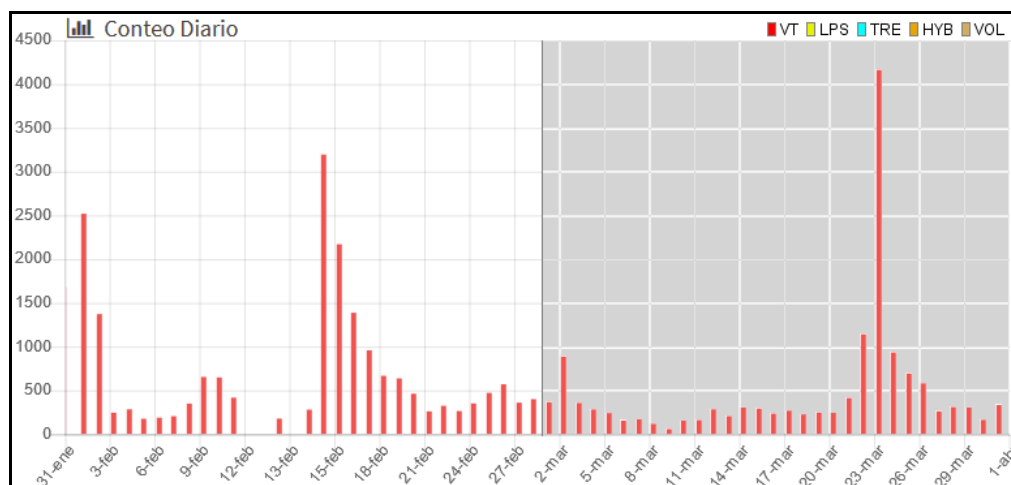


Figura 72. Número diario de sismos en febrero y marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado

La energía sísmica también mostró un descenso del 52% en su valor, pasando de 6.45×10^{17} ergios a 3.08×10^{17} ergios. El pico de energía se presentó el día 23 de marzo, con 1.79×10^{17} ergios (Tabla 20, Figura 73).

Tabla 20. Energía de eventos VT, ocurridos en febrero y marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Energía VT
Febrero de 2019	6.45E+17
Marzo de 2019	3.08E+17

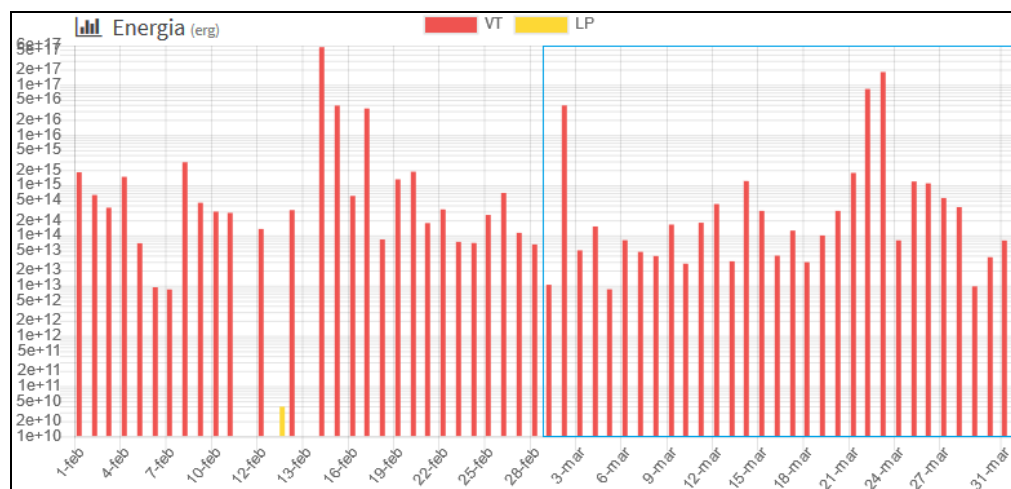


Figura 73 . Energía diaria de sismos durante febrero y marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno azul resalta el periodo evaluado

Se resalta la ocurrencia de un enjambre de sismos VT, el 23 de marzo entre las 02 y las 22 horas, el cual alcanzó un número de 4163 eventos, correspondiente al 29% de la sismicidad total de marzo, con una energía de 1.79×10^{17} ergios, correspondiente al 58% de la energía sísmica de marzo. Los picos de ocurrencia horaria fueron de 353, 357 y 358 sismos VT, registrados a las 6, 7 y 8 hora local (Figura 74).

Fueron localizados 2728 VT, los cuales con respecto a la cima de Chiles (4700 m) se ubicaron principalmente en el cuadrante suroccidente, a distancias entre cero y 5 km, con profundidades menores de 7 km; otros sismos se ubicaron hacia el suroriente, en distancias entre 3.5 y 12 km, con profundidades entre 6 y 11 km. Otros pocos sismos se ubicaron dispersos en distancias hasta de 10 km y profundidades hasta de 17 km (Figura 75). Se registraron 26 sismos con ML entre 2.0 y 3.5 en la escala de Richter, 10 de ellos dentro del enjambre mencionado con ML entre 2.1 y 3.5 (Figura 75). El sismo más energético del mes fue registrado durante el enjambre, el día 23 de marzo a las 03:36 de la madrugada, se ubicó a 5.5 km al SSW de Chiles, con profundidad de 10 km y magnitud local de 3.5 en la escala de Richter, se reportó sentido en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer (Figura 75).

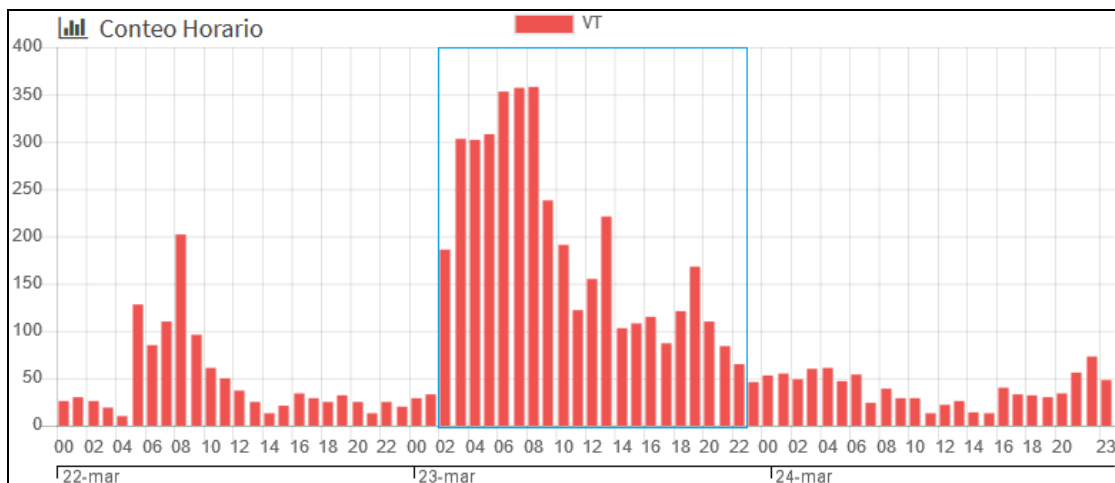


Figura 74. Conteo horario de sismos VT para los días 22, 23 y 24 de marzo de 2019 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el contorno azul resalta la ocurrencia del enjambre

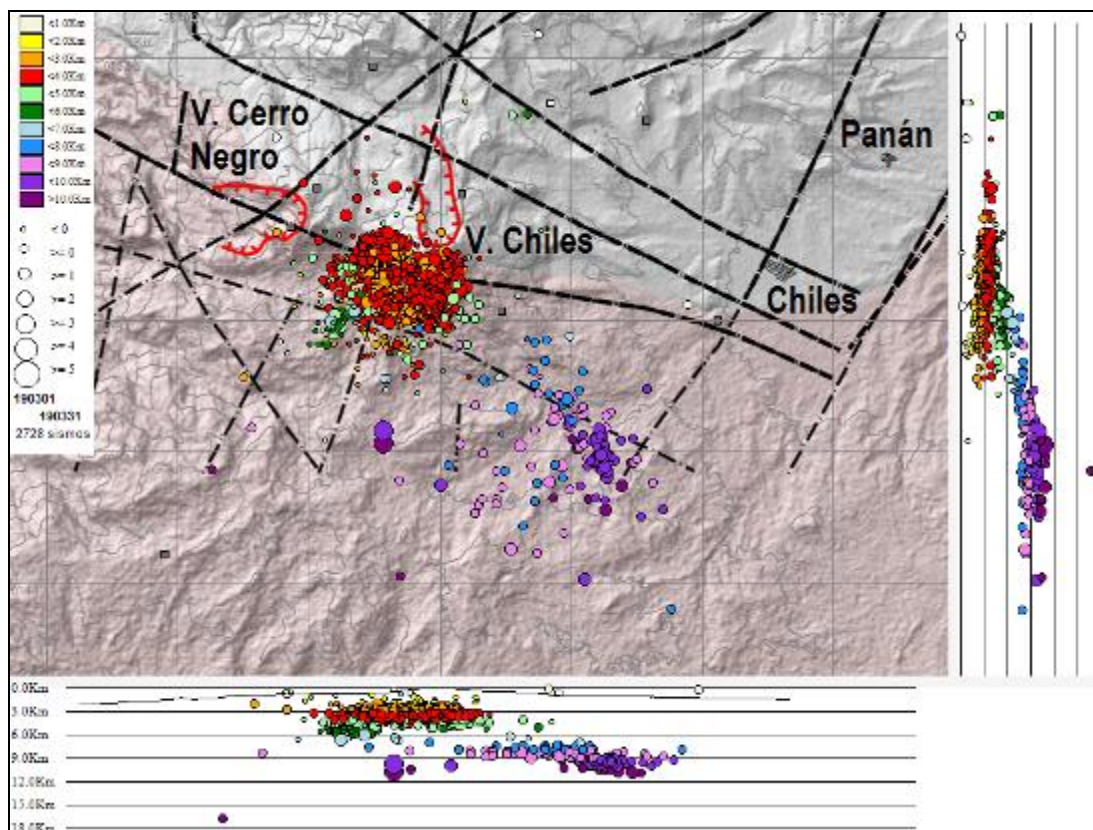


Figura 75. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2019

Se destaca el registro de 7 sismos VT que se reportaron sentidos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en la Tabla 21 se consignan sus características de localización y la distancia con respecto a la cima del volcán Chiles.

Tabla 21. Sismos VT sentidos en Chiles - Cerro Negro, marzo de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML	Distancia
02/03/2019	03:58	0-48.69	77-55.94	4	3.1	0.8 SSE
12/03/2019	12:53	0-45.89	77-53.62	10	2.9	7.4 SE
22/03/2019	05:23	0-48.55	77-55.95	3	3.2	1.1 SSE
22/03/2019	07:50	0-48.76	77-55.95	4	3.2	0.7 SSE
23/03/2019	03:36	0-46.30	77-56.87	10	3.5	5.5 SSW
23/03/2019	06:32	0-48.78	77-56.63	4	3.4	1.3 WSW
23/03/2019	08:46	0-48.86	77-56.75	3	3.1	1.5 WSW

3.4 Deformación

La componente Norte del inclinómetro chiles, mantiene la tendencia ascendente desde Mayo del 2016, y hasta la fecha acumula un valor cercano a los 370 uradianes, mientras su componente Este mantiene una tendencia estable con variaciones similares al sensor de temperatura (Figura 76).

En la Figura 77, se indica el comportamiento del inclinómetro instalado en la superficie del Volcán Cerro Negro. Las dos componentes tienen cambios por periodos que superan los 100 microradianes, manteniendo en general una tendencia descendente en las dos componentes acumulando entre mayo del 2016 y marzo del 2019, 260 uradianes para la componente Este y de 135 uradianes para la Norte.

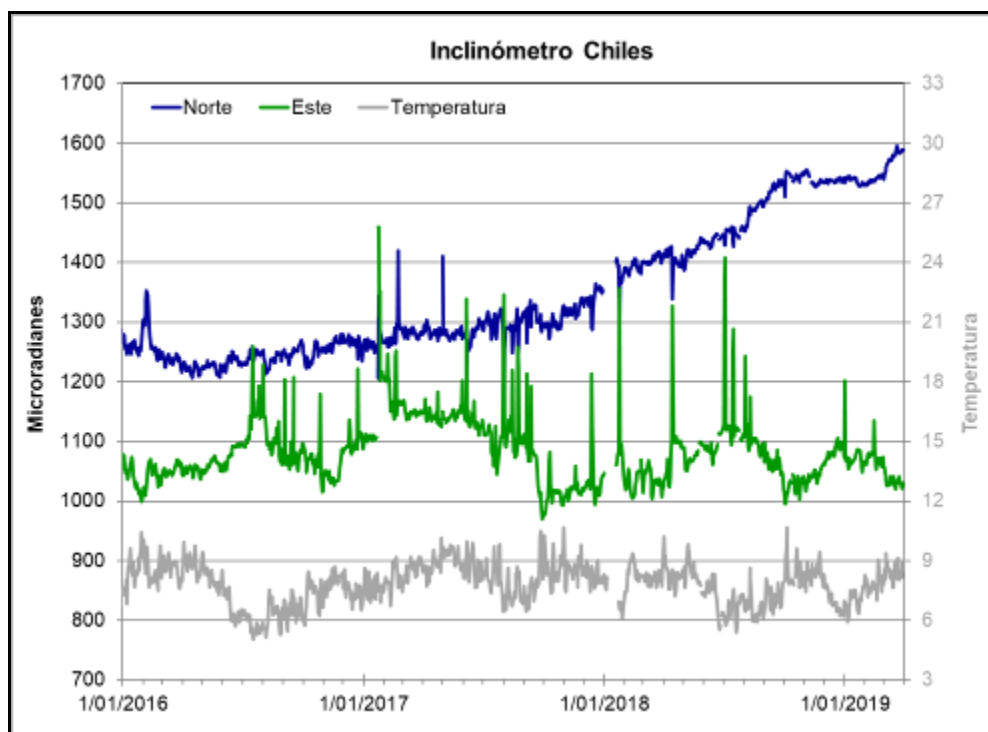


Figura 76. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de marzo de 2019

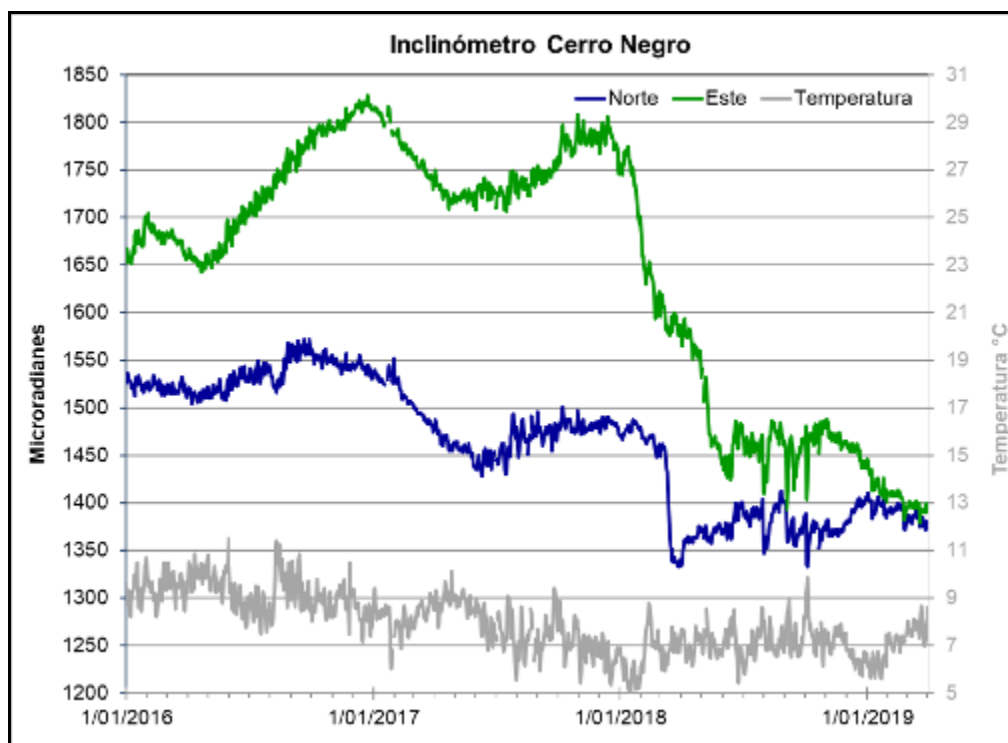


Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

3.5 Geoquímica

3.5.1 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 78, Tabla 22) (Figura 70, Tabla 18 en red de vigilancia). Los parámetros fisicoquímicos y muestras para análisis permitirán su caracterización y comprensión desde el punto de vista geoquímico para este complejo volcánico.



Figura 78. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles

El trabajo de muestreo en campo para la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos, se realizó entre el 18 y 20 de marzo para las fuentes termales: Baño Grande, El Infiernillo, El Rincón más Bello, Aguas Hediondas y Lagunas Verdes (No se encontró agua emergente en el sitio del manantial) pertenecientes a la zona de influencia del volcán Chiles se realizó con los siguientes equipos:

-Equipo multiparámetro (pH-metro, Conductímetro) ORION: Medición del potencial de hidrógeno, temperatura y conductividad eléctrica.

-Termómetro: Medición de temperatura.

- Cámara térmica: Registro fotográfico y térmico.

Tabla 22. Ubicación geográfica fuentes termales 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

<p>(F) EL RINCÓN MÁS BELLO</p>		<p>0°48'11,8"</p>	<p>77°51'41,4"</p>	<p>3269</p>
<p>(H) EL INFIERNILLO</p>		<p>0°48'19,6"N</p>	<p>77°51'43,2"W</p>	<p>3284</p>

En la Figura 79 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente a marzo de 2019 para las fuentes termales ubicadas en la zona de influencia del volcán Chiles.

Las fuentes termales asociadas al volcán Chiles y muestreadas durante misión de campo en noviembre fueron: FT Baño Grande, FT Aguas Hediondas, FT Lagunas Verdes, FT El rincón más Bello (Balneario) y FT El Infiernillo (H), las cuales presentaron potenciales de Hidrógeno (pH), entre 4,7 (ácido, FT Aguas Hediondas) y 6,6 (neutro. FT El Rincón más Bello, Baño Grande y El Infiernillo), no fue posible realizar el muestreo en la FT Lagunas Verdes porque no hay presencia del manantial. En la Figura 79 se observa el comportamiento del parámetro pH en el tiempo.

De acuerdo a las últimas mediciones realizadas, no se tienen variaciones significativas en comparación con fechas anteriores, ni tampoco que puedan estar relacionados a cambios en la actividad del volcán. El espaciamento de datos entre el muestreo realizado en 2015 y el actual en 2018, se debe a que no ha sido posible ingresar a la zona de trabajo por permisos no otorgados por parte del cabildo indígena de la región.

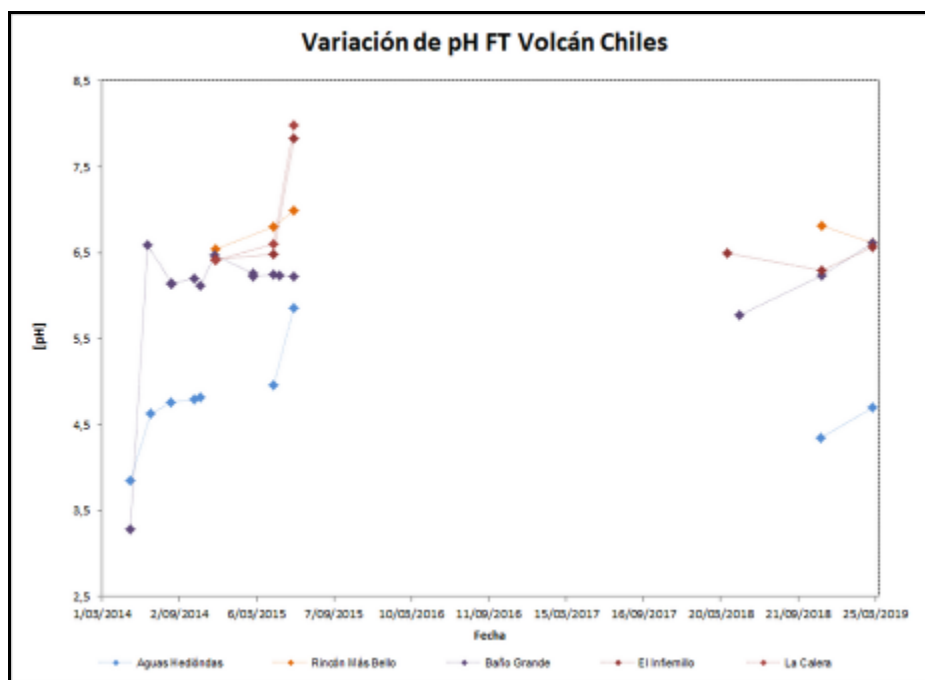


Figura 79. Variación del pH en las FT del Volcán Chiles-marzo de 2019

En la Tabla 23 se presenta la clasificación de las aguas termales de acuerdo a la temperatura, correspondiente al muestreo realizado noviembre.

Tabla 23. Temperatura Fuentes Termales Volcán Chiles – marzo 2019

Fecha	Fuente Termal	Temperatura (°C)	Clasificación
16/11/2018	Baño Grande	39.9	Mesotermal
16/11/2018	El Rincón más Bello	39.4	Mesotermal
16/11/2018	El Infiernillo	39.5	Mesotermal
14/11/2018	Aguas Hediondas	56,9	Hipertermal
14/11/2018	Lagunas Verdes	-	No fue posible realizar la medida

A continuación se describen las características de los manantiales termales:

- **Fuente termal Baño Grande**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra para marzo entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,98 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal El Rincón más Bello**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal El Infiernillo**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,6mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Aguas Hediondas**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra en el rango entre 45°C y 100°C, por lo que se puede considerar como una agua hipertermal. Presenta una conductividad eléctrica de 2,5 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

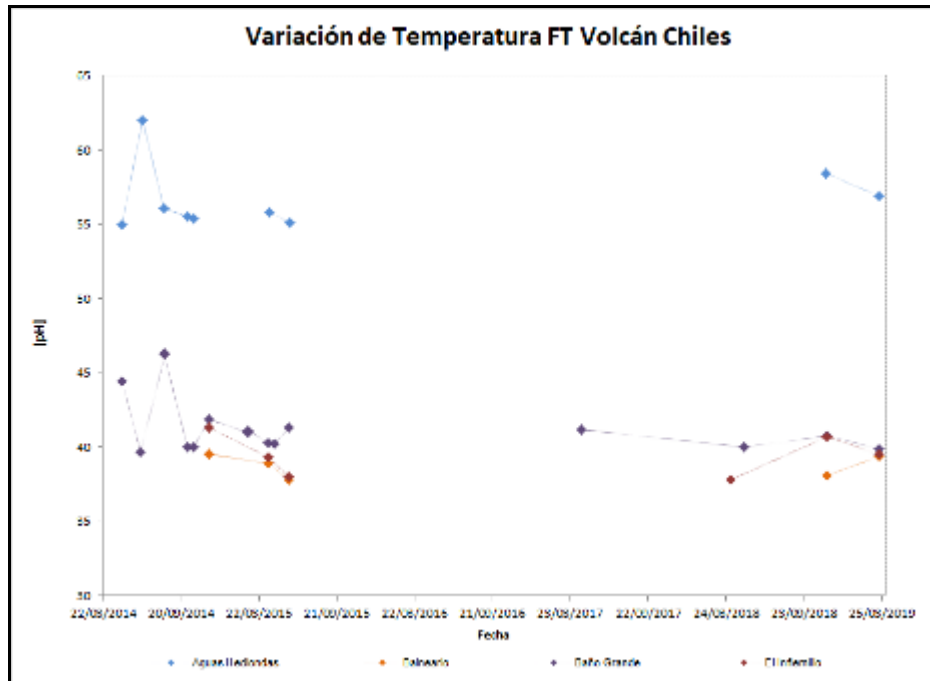


Figura 80. Variación de la temperatura en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019

En la Figura 80 se puede observar que la variación de la temperatura de las FT pertenecientes a la zona de influencia del volcán Chiles, presentan un comportamiento similar a periodos anteriores.

En la Figura 81, se encuentra la gráfica sobre la variación de la conductividad eléctrica en las aguas de las fuentes termales asociadas al volcán Chiles, se observa estabilidad en los manantiales en comparación con meses anteriores.

La alcalinidad (Figura 82), determinada in situ mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador mixto, no presenta variaciones relevantes en los manantiales.

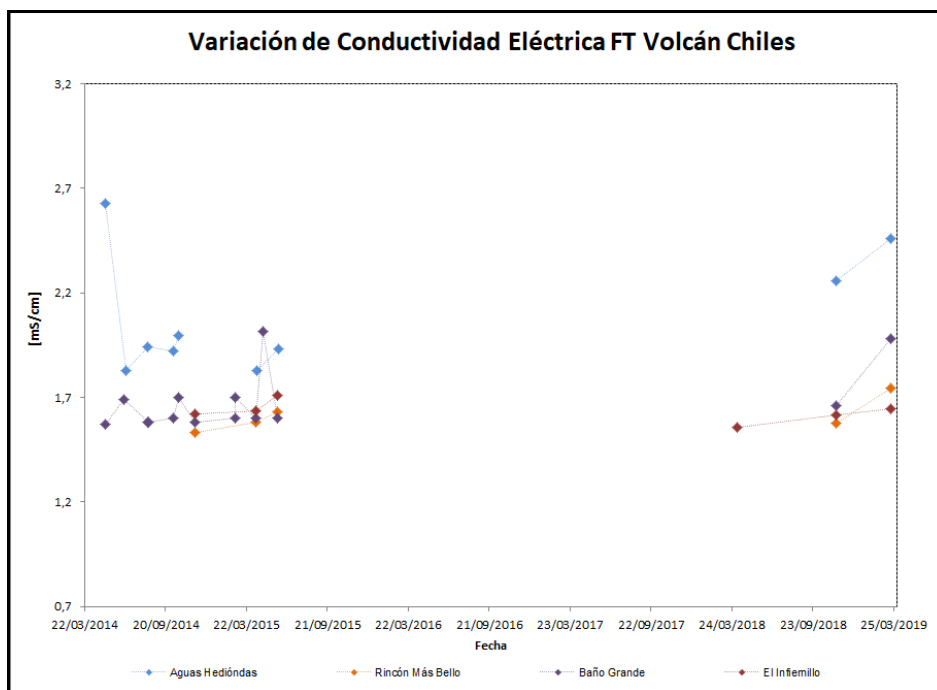


Figura 81. Variación de la conductividad eléctrica en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019

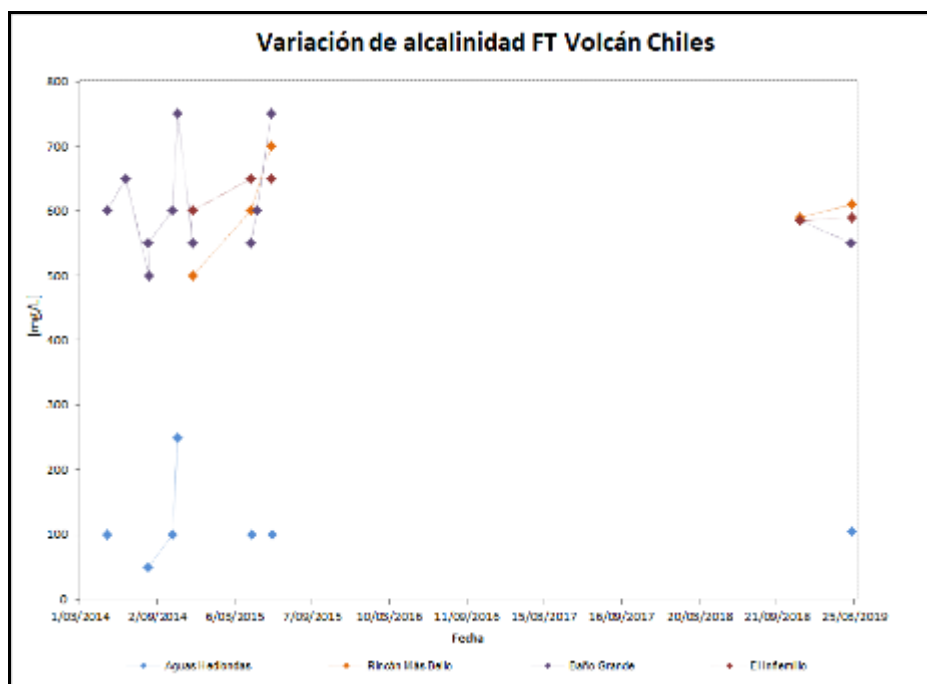


Figura 82. Variación de la alcalinidad en las FT Volcán Chiles-marzo de 2019

3.5.2. Registro de temperatura – Estaciones térmicas 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 70, Tabla 23 en red de vigilancia).

En la Figura 84 se registran las variaciones en el tiempo, presentando un valor máximo de 43.8°C (Tabla 25). 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 24. 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

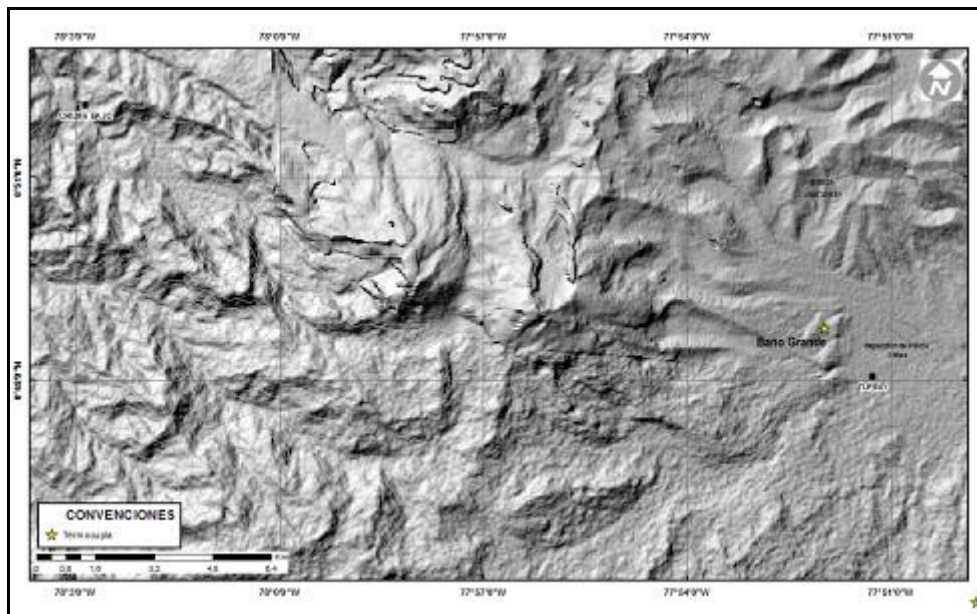


Figura 83 .Mapa de localización de la estación térmica telemétrica Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles

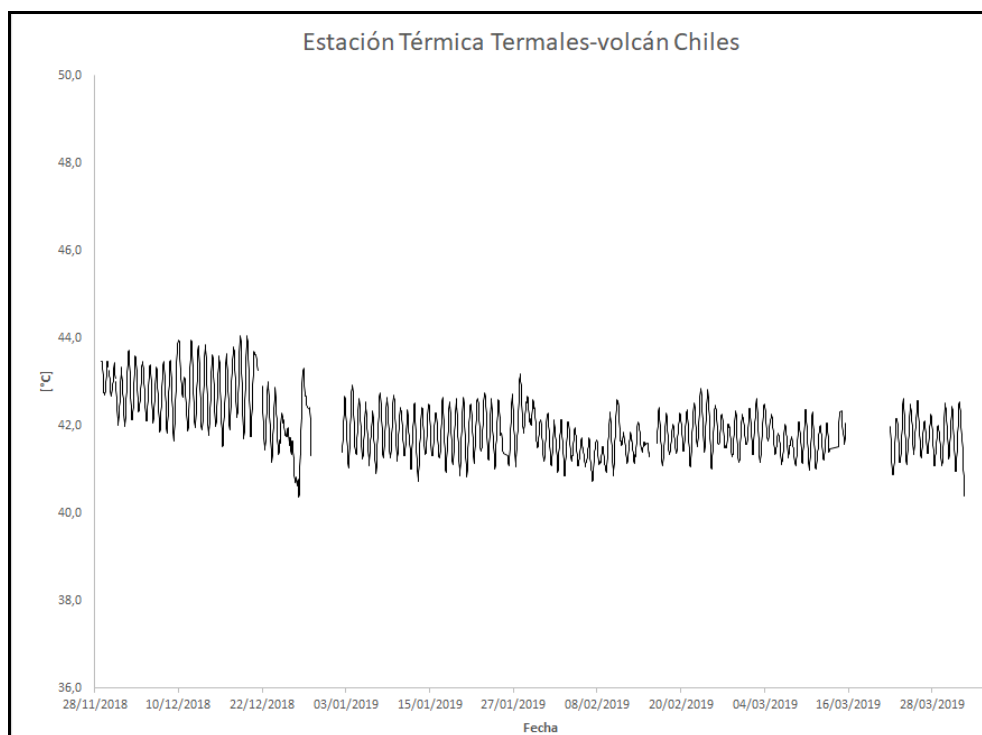


Figura 84. Temperatura estación térmica Baño Grande-Volcán Chiles-marzo 2019

Tabla 25. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – marzo 2019

Temperatura [°C]	
Promedio	41,8
Máximo	43,8
Mínimo	39,8

3.6 Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2019 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.7 Conclusiones

Las variaciones de temperatura y pH de las FT pertenecientes a la zona de influencia del volcán Chiles, presentan un comportamiento similar a periodos anteriores.

La variación de la conductividad eléctrica en las aguas de las fuentes termales asociadas al volcán Chiles, presenta estabilidad en los manantiales en comparación con meses anteriores.

Dentro de niveles altos de sismicidad, en marzo de 2019 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró disminución tanto en su ocurrencia como en su energía con respecto a lo registrado en febrero. Sigue el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), destacándose el registro de 26 sismos VT con ML entre 2.0 y 3.5 en la escala de Richter, 7 de los cuales se reportaron sentidos.

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 43.8°C.

La alcalinidad, determina en *in situ* mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador mixto, no presenta variaciones relevantes en los manantiales.

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, similares a los ocurridos en febrero y marzo de 2019.

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante marzo de 2019 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2019.

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 85).

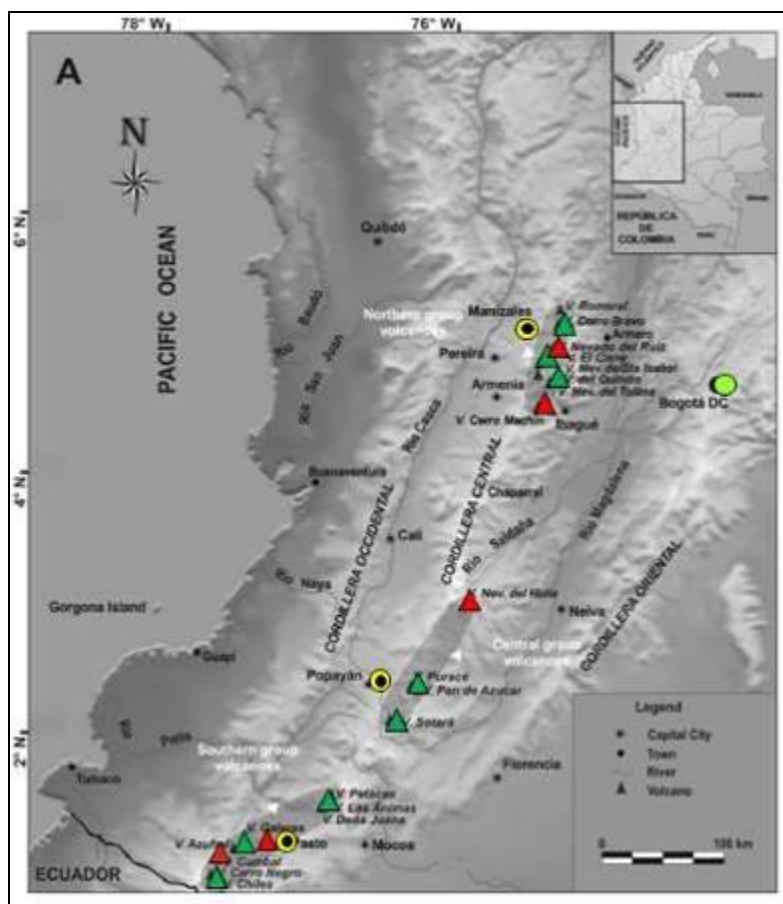


Figura 85. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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

4.1 Actividad de los Volcanes Doña 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. 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 26, Figura 86). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 26, Figura 86).

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 85 % (Figura 87).

Tabla 26. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo 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
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

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

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

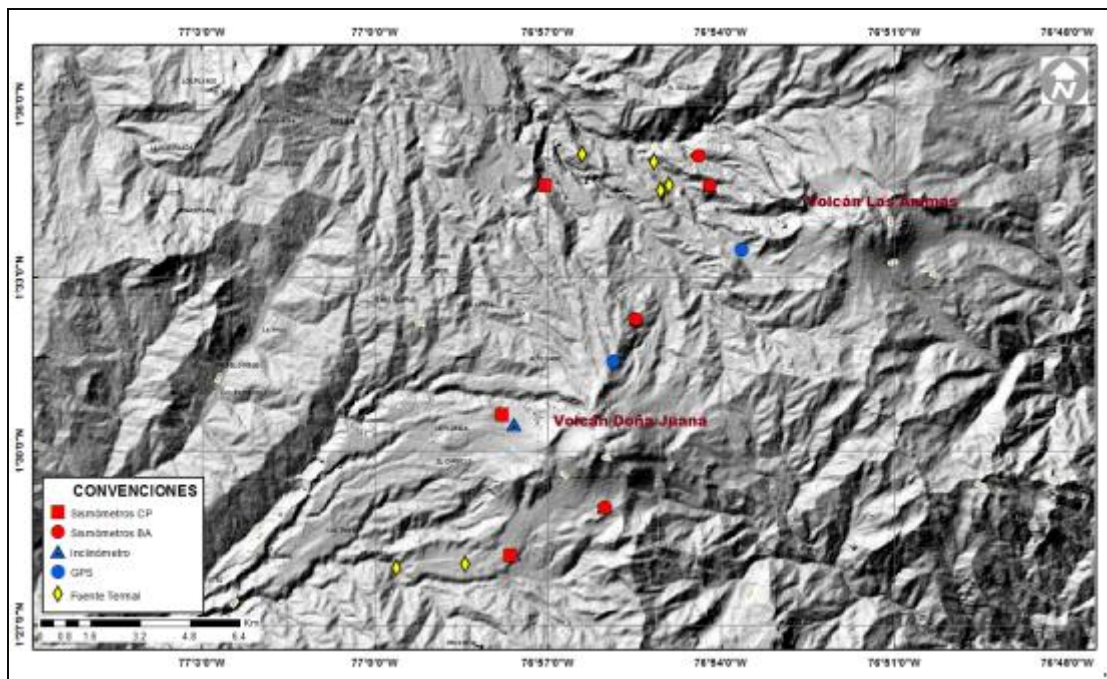


Figura 86. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de marzo de 2019



Figura 87. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en marzo de 2019

4.1.2 Sismología

La sismicidad en esta región volcánica fue muy baja, indicando un incremento de 2.7 veces en el número de sismos registrados, pasando de 4 a 11 eventos, todos ellos asociados con fractura de roca (VT); no se registraron eventos de tipo HIB, ni eventos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos (LP y TRE), tampoco se registraron eventos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos) (Tabla 27, Figura 88). Se localizaron 6 VT que se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidental y uno se ubicó hacia el norte de la zona de influencia del volcán Las Ánimas; en general los eventos se localizaron en distancias entre 1.4 y 15 km, con profundidades entre 2 y 12 km con respecto a la cima de Las Ánimas (4300 msnm) y ML máxima de 1.0 en la escala de Richter. La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 1.35×10^{13} ergios.

Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo 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	
Febrero de 2019	4	0	0	0	0	4
Marzo de 2019	11	0	0	0	0	11

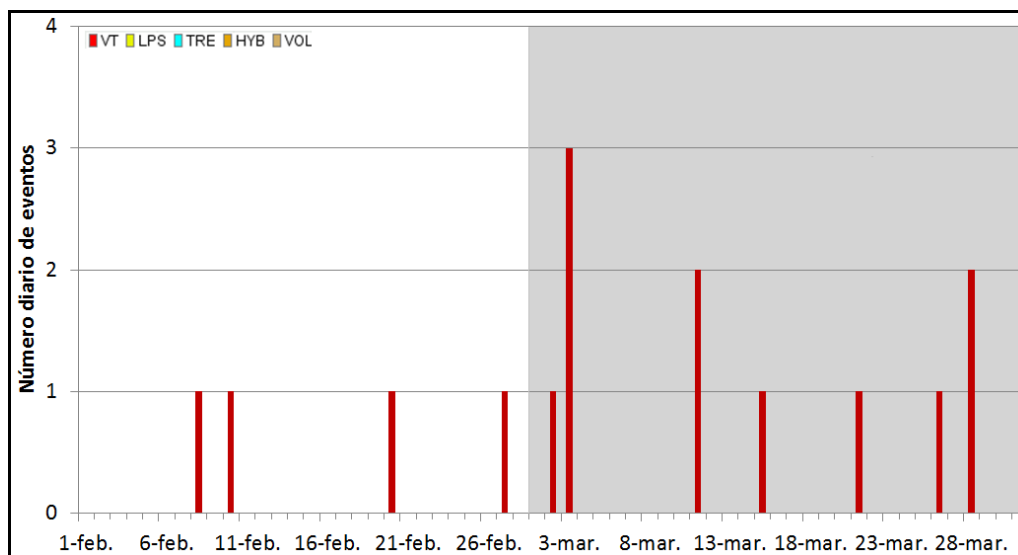


Figura 88. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado

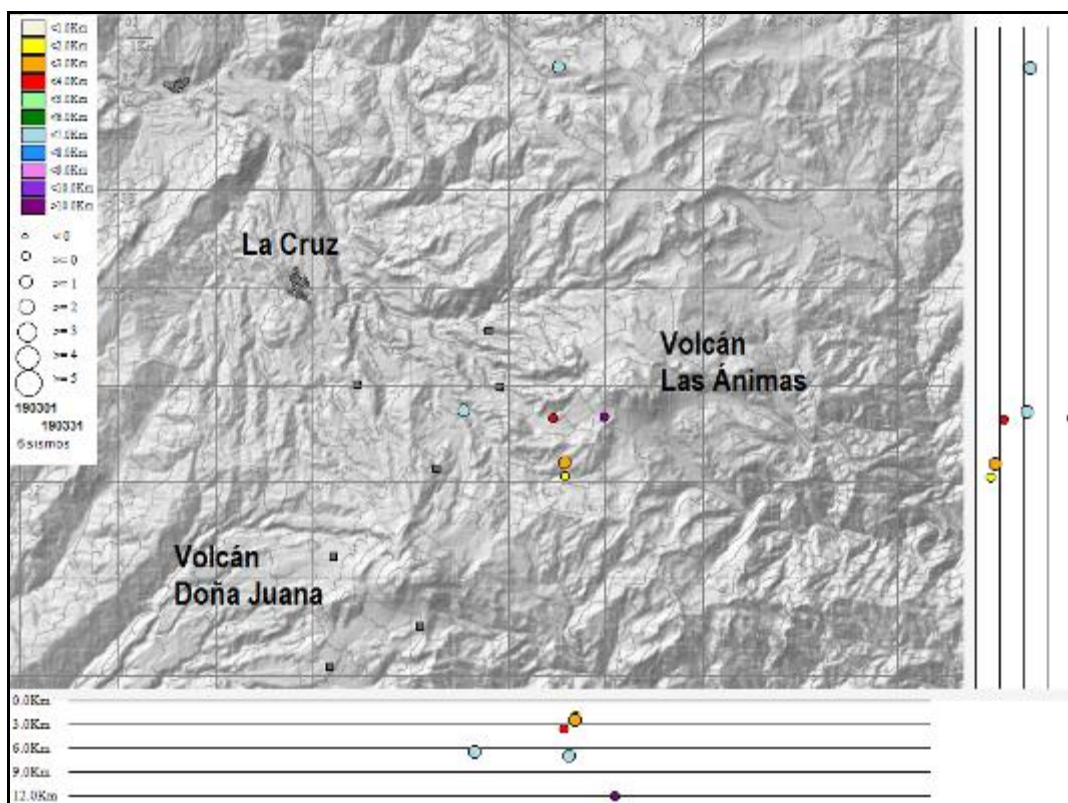


Figura 89. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, marzo de 2019

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, tres VT alcanzaron una magnitud local de 1.0 en la escala de Richter y en la Tabla 28 se consignan sus características de localización.

Tabla 28. Sismos con ML 1.0, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, marzo de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
02/03/2019	18:15	1-33.48	76-54.93	7	1.0
11/03/2019	01:52	1-40.54	76-52.99	7	1.0
28/03/2019	10:14	1-32.39	76-52.86	2	1.0

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

El inclinómetro Paramo, en el último mantenimiento realizado en noviembre 10 de 2018, se encontró que los tornillo nivelantes de invar están oxidados y corroídos. Estos tornillos se limpiaron, sin embargo, se observa que el sensor no está funcionando adecuadamente (Figura 90).

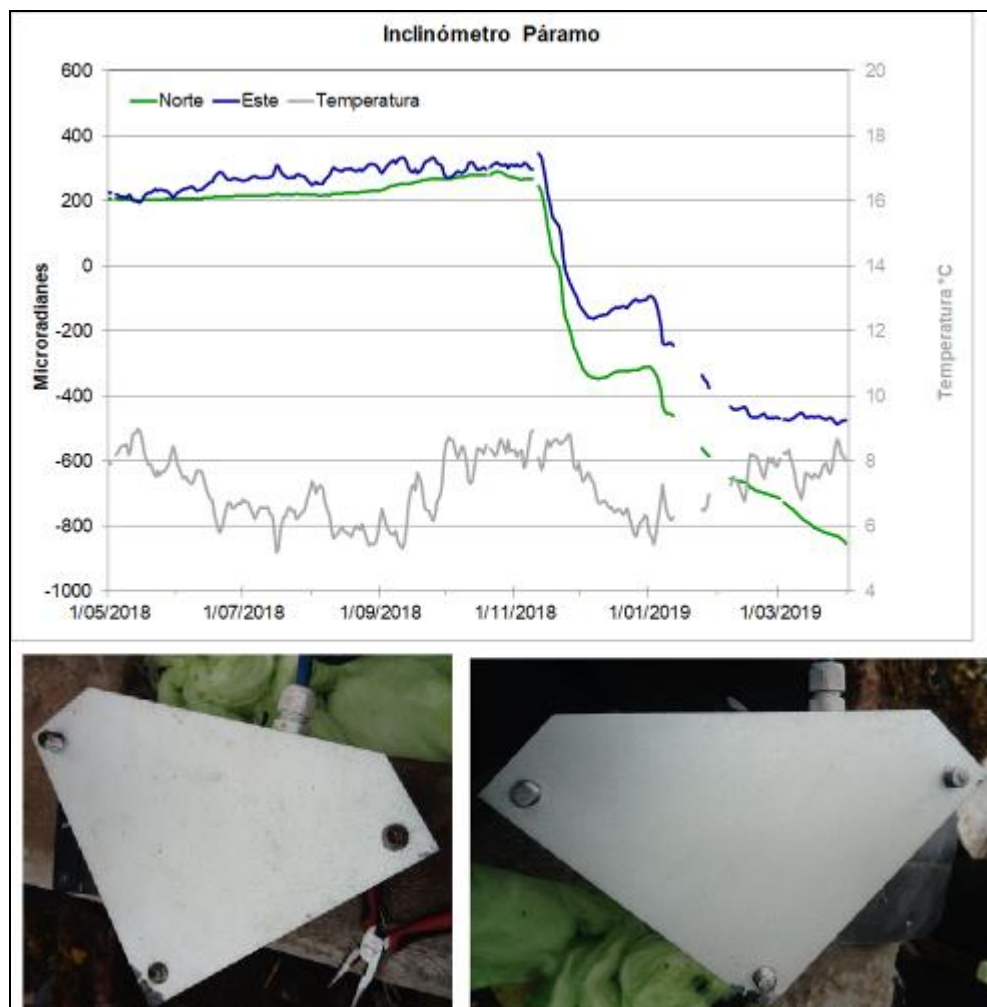


Figura 90. Superior: Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de mayo de 2018 y el 31 de marzo de 2019. Inferior, en la izquierda se indica cómo se encontraron los tornillos nivelantes y en la derecha después de hacer el mantenimiento, donde se eliminó el óxido de los tornillos

En la Figura 91, se indica el comportamiento del inclinómetro Lavas. La componente Este desde noviembre de 2017 tiene una tendencia descendente, muy marcada hasta agosto del 2018, periodo en el cual se contabilizó cerca de 1340 uradianes; esta tendencia se mantiene a la fecha con una pendiente mucho menor. El equipo únicamente se niveló el 9 de noviembre de 2018.

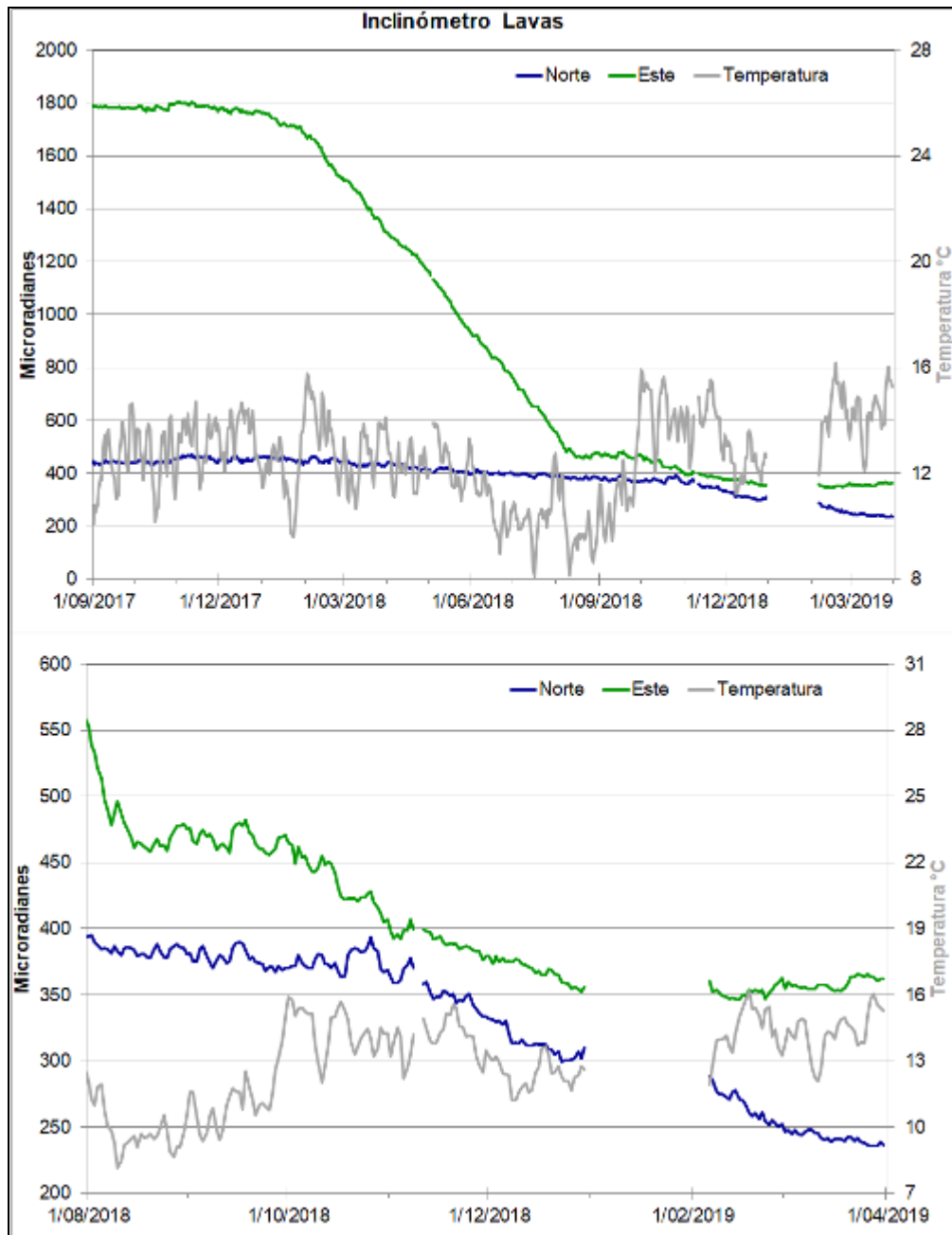


Figura 91. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2017 y el 31 de marzo de 2019. En la figura inferior se muestra un detalle en tiempo de la superior

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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 de los satélites, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso.

En la Figura 92, se indica el comportamiento del desplazamiento en las direcciones Este, Norte y Altura del GNSS La Palma, instalado en Doña Juana. En la Figura se aprecia que después del cambio registrado por las componentes Norte y Vertical, entre septiembre y noviembre de 2018, las componentes muestran estabilidad.

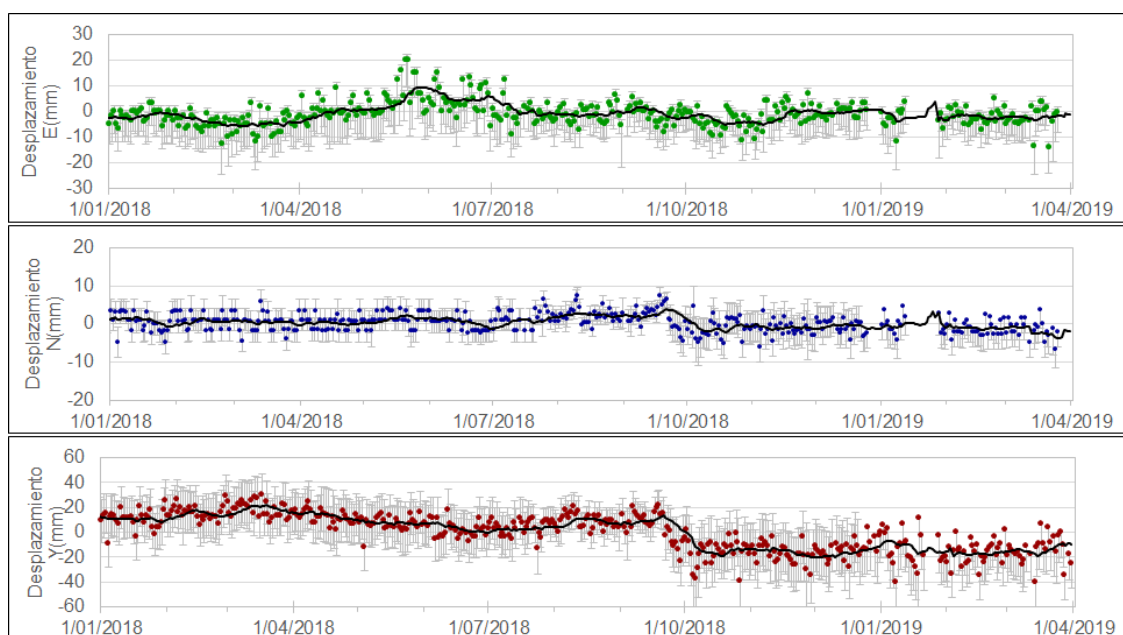


Figura 92. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 de 2017 y el 31 de marzo de 2019

4.1.4 Geoquímica

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

Para el periodo evaluado, no se llevó a cabo muestreo de fuentes de aguas termales.

4.1.5 Actividad Superficial

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

4.1.5 Conclusiones

Dentro de niveles bajos, en marzo de 2019 se registró incremento en la ocurrencia y energía de la sismicidad, que en su totalidad fue asociada con fractura de roca. Los eventos principalmente se localizaron hacia el suroccidente de la zona de influencia del volcán Las Ánimas, 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 marzo 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 93 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 29 se consignan sus características.

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

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufraal se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Para el periodo evaluado se cuentan con cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Lobo, Laguna y Ventana (Figura 94).

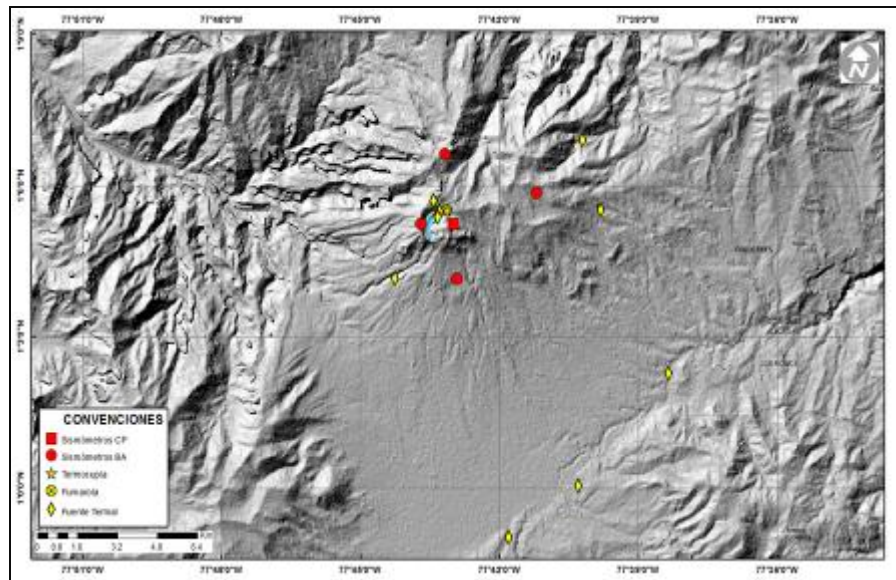


Figura 93. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de marzo de 2019

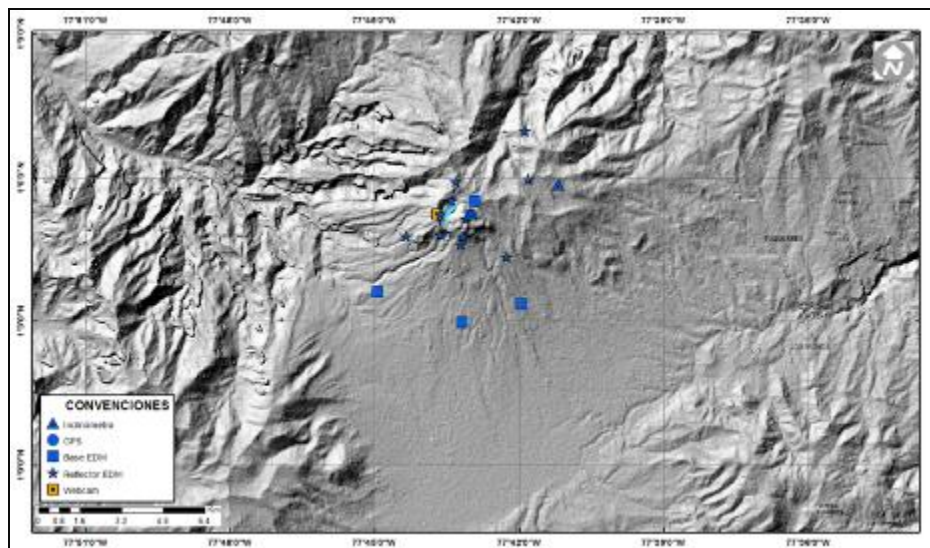


Figura 94. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de marzo de 2019

Tabla 29. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azuftral en el mes de marzo 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 95).

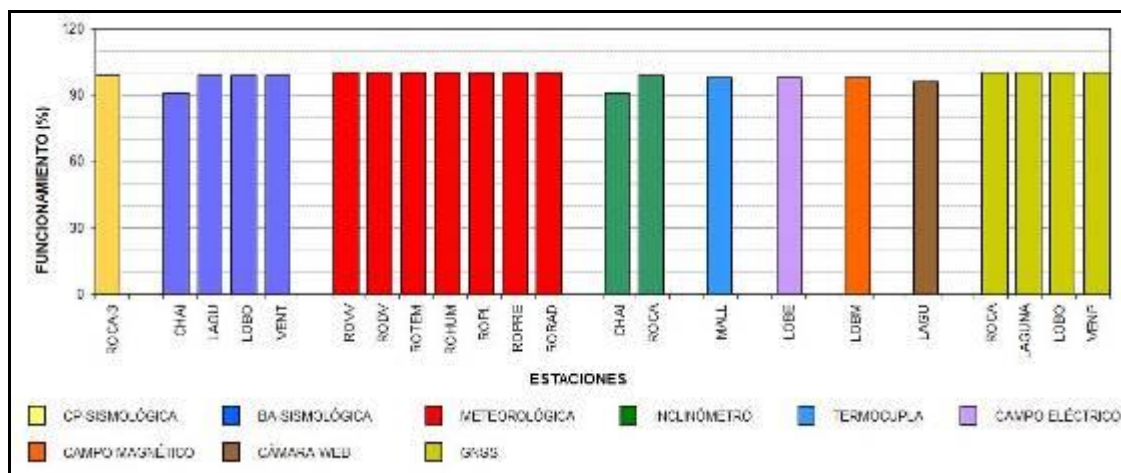


Figura 95. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azuftral durante marzo de 2019

4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de actividad, se observó disminución del 25% en la ocurrencia sísmica, pasando de 28 a 21 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical (VT) con 20 sismos que corresponden al 95% del total. Se registró un evento asociado con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) al interior de los conductos volcánicos, equivalente al 5% de la sismicidad. No se registraron eventos HIB, ni episodios de tremor TRE, ni eventos VOL (señales que por sus bajos

niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos). (Tabla 30, Figura 96, Figura 97). Fueron localizados 14 VT, ubicados de manera dispersa, en distancias entre 0.3 y 14 km, profundidades entre 0.7 y 15 km con respecto a la cima (4200 m) y con ML máxima de 1.9 en la escala de Richter (Figura 98). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 2.61×10^{15} ergios.

Tabla 30 .Número de eventos volcánicos por tipo, volcán Azufraal, febrero y marzo de 2019

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2019	24	2	2	0	0	28
Marzo de 2019	20	1	0	0	0	21

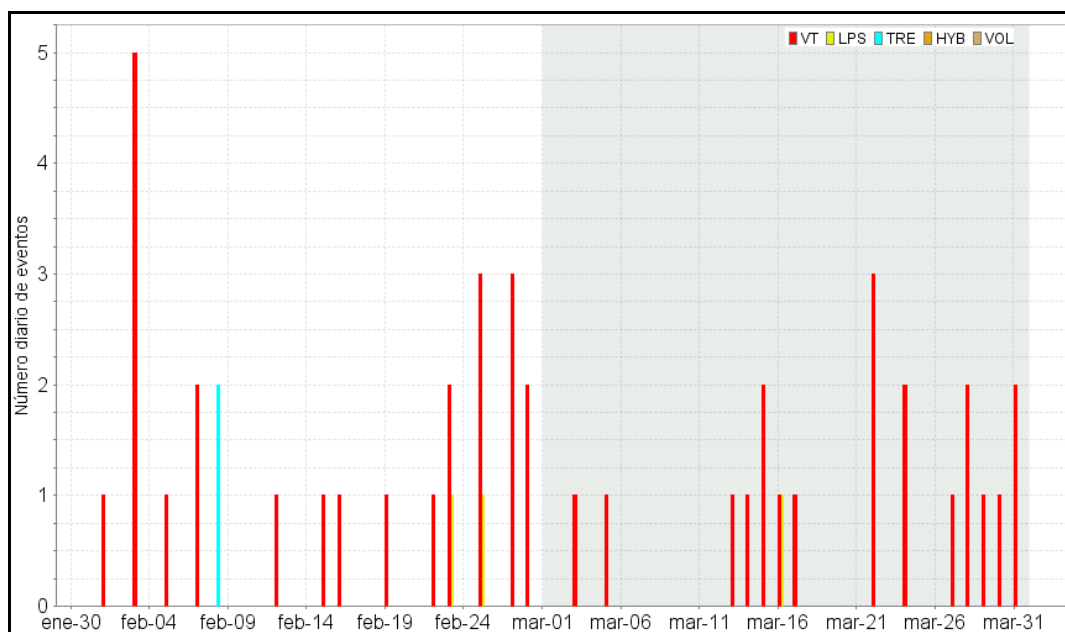


Figura 96. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufraal, durante febrero y marzo de 2019. El recuadro gris resalta el periodo evaluado

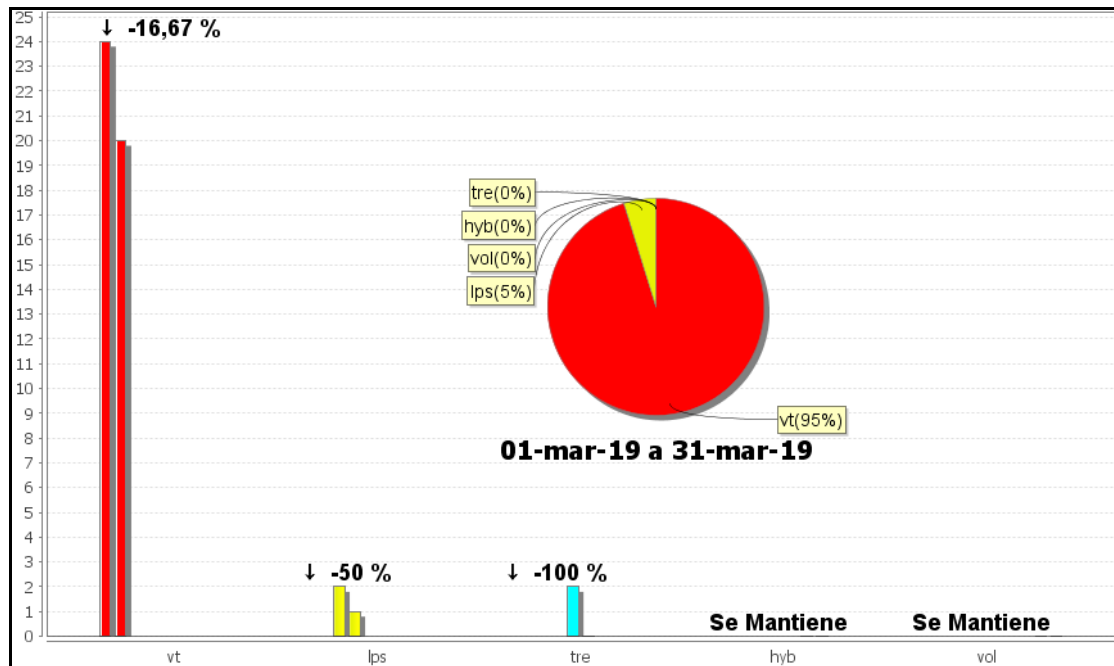


Figura 97. Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2019 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2019

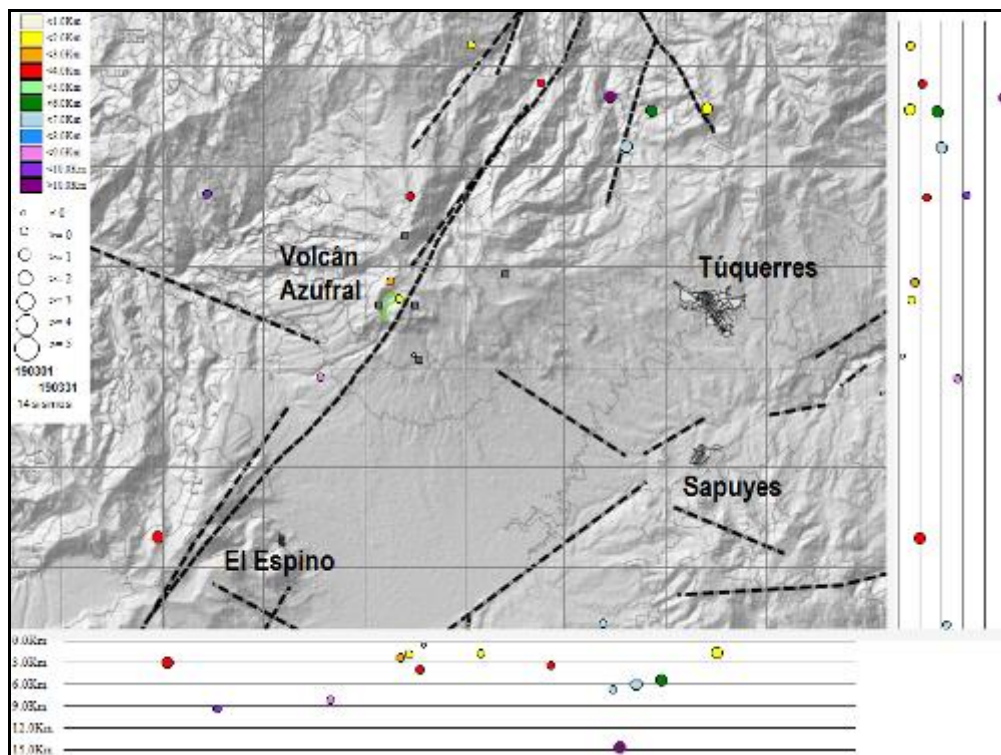


Figura 98. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral, en marzo de 2019

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, 4 sismos VT alcanzaron una magnitud local mayor o igual a 1.4 en la escala de Richter y en la Tabla 31 se consignan sus características de localización.

Tabla 31. Sismos con ML mayor o igual a 1.4, volcán Azufraal, marzo de 2019

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
03/03/2019	00:33	1-00.60	77-48.11	3	1.4
14/03/2019	15:36	1-09.10	77-38.28	6	1.6
17/03/2019	18:14	1-08.40	77-38.77	6	1.9
27/03/2019	10:06	1-09.40	77-39.09	15	1.4

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

El sensor de la estación de inclinometría Chaitan fue reemplazado en mayo del 2018, posteriormente se observa en la componente Norte una tendencia ascendente hasta noviembre del 2018, con un acumulado de unos 50 uradianes, posteriormente se observa estabilidad. La componente Este, para el mismo periodo muestra una leve tendencia descendente acumulando unos 20 uradianes. (Figura 99).

La componente Este del inclinómetro la Roca, mostró una tendencia descendente desde diciembre del 2015, hasta diciembre de 2018 (Figura 100_a); parte de este proceso pudo evidenciarse que estaba asociado con la variación del nivel del agua de la laguna (Figura 100_b.). En tanto que la componente Norte, se mantuvo estable para el mismo periodo. Posteriormente y hasta la fecha se observa en las dos componentes una tendencia levemente ascendente que acumula cerca de 25 uradianes para cada componente (Figura 100_c). En el último mantenimiento realizado en noviembre 20 de 2018, se evidenció que los tornillos nivelante, al igual que en el inclinómetro Páramo (Figura 90), también estaban oxidados, lo que obligó a realizar un cambio en los tornillos y a una consecuente nivelación del sensor.

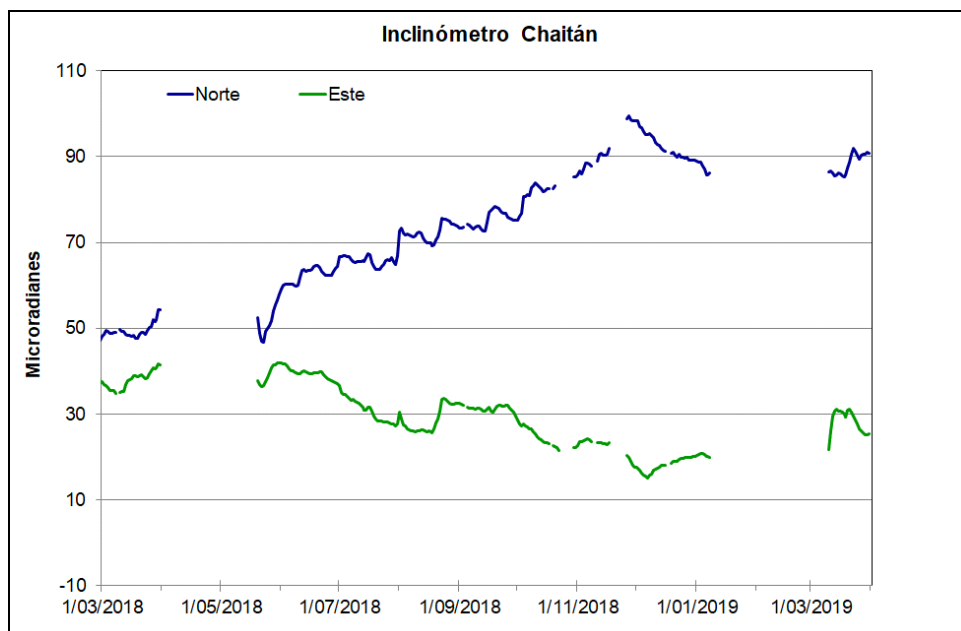


Figura 99. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2018 y el 7 de marzo de 2019

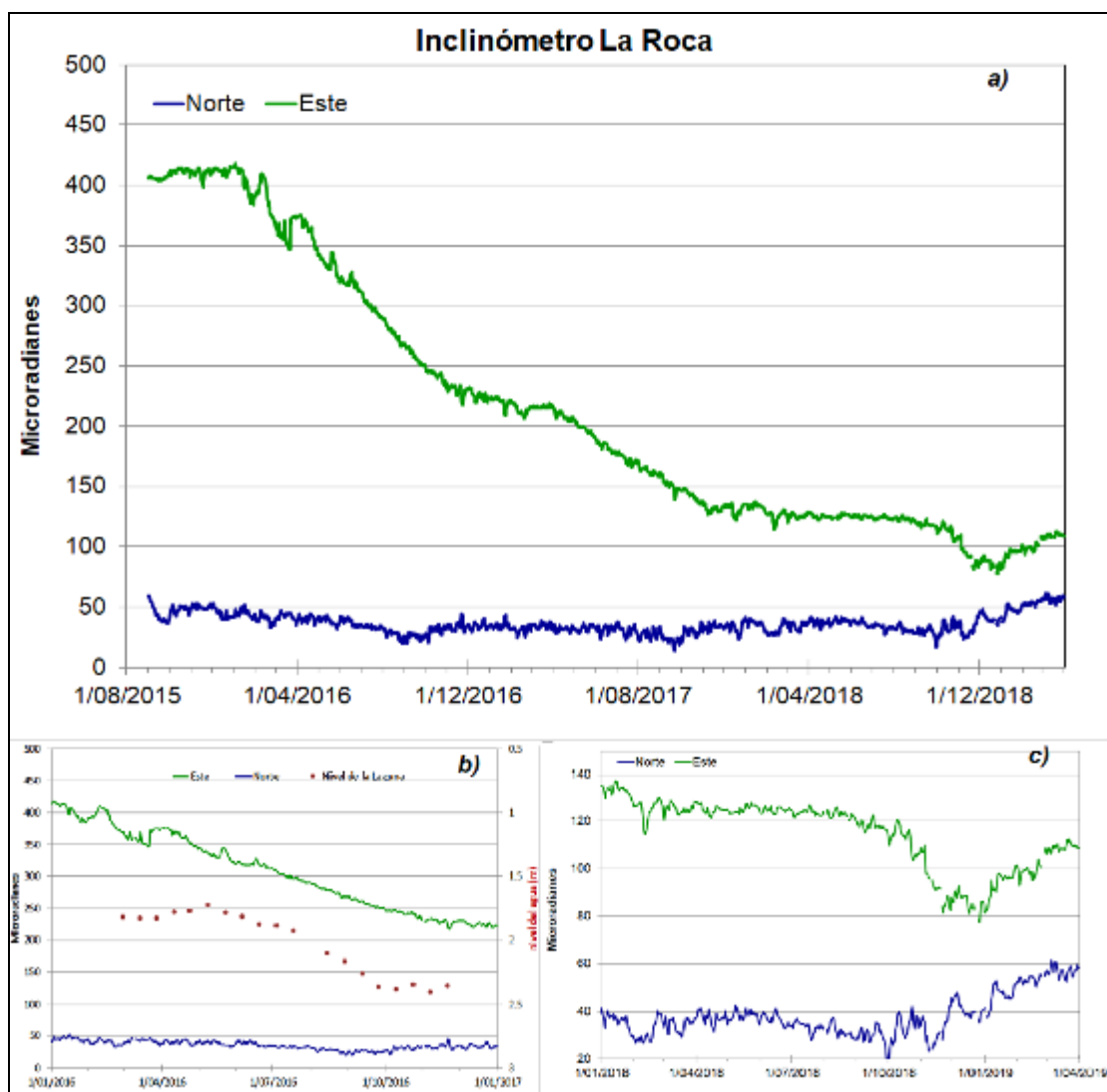


Figura 100. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de marzo de 2019

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló 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 26 y 27, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Lobo y Ventana. Las cuales muestran estabilidad en sus tendencias.

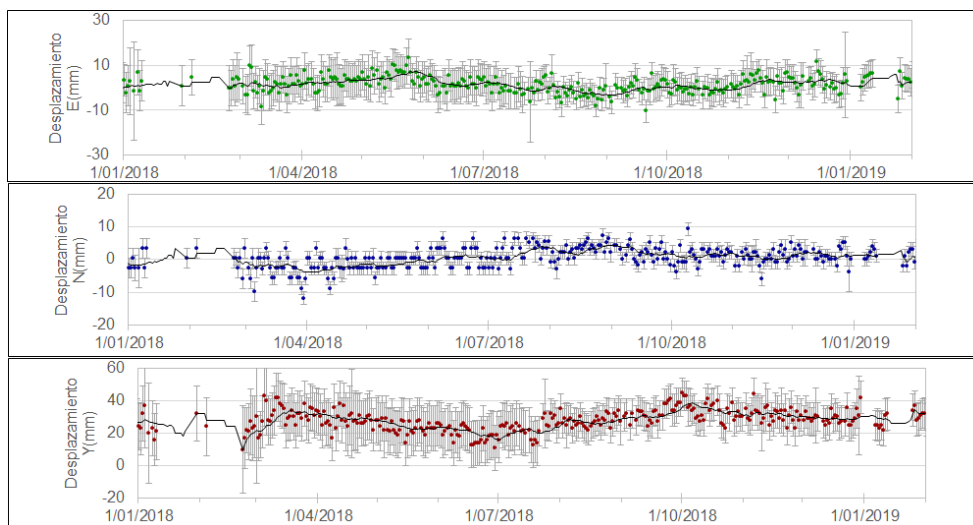


Figura 101. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 12 de marzo de 2019

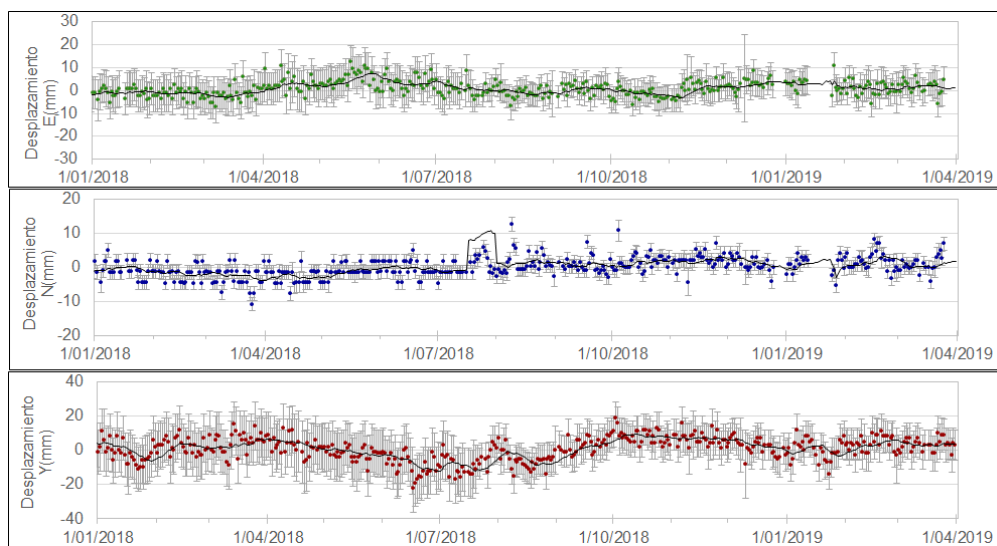


Figura 102. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Ventana instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2018 y el 12 de marzo de 2019

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 análisis de las variaciones del campo magnético y eléctrico en la zona de influencia del volcán Azufral, durante el mes de marzo de 2019, se realizó con la estación Lobo (LOB), equipada con un sensor tipo fluxgate, que registra las tres componentes del Campo Magnético de la Tierra (CMT) y una estación para el monitoreo de las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH) de la Tierra, en sus dos componentes. En el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 2019 los registros muestran una tendencia estable, aun cuando entre inicio y hasta mediado de diciembre 2018, la tendencia es un tanto descendente. Es de resaltar que a mediados de este mes, se realizó mantenimiento de la estación, durante estos trabajos se mejoró el sistema de protección de temperatura del sensor magnético, y de acuerdo con los resultados se observa que el resultado fue favorable, ya que la tendencia de la señal continuó estable. Los registros muestran variaciones seculares día-noche y variaciones más pronunciadas, asociadas con tormentas magnéticas externas. El valor promedio del CMT, en la estación Lobo fue de alrededor de 25.820 nT (Figura 103). Su comportamiento es muy similar al observado por la estación de Kourou (Figura 1), 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 marzo, 2019, tuvo un valor promedio de campo total de alrededor de los 28.745 nT.

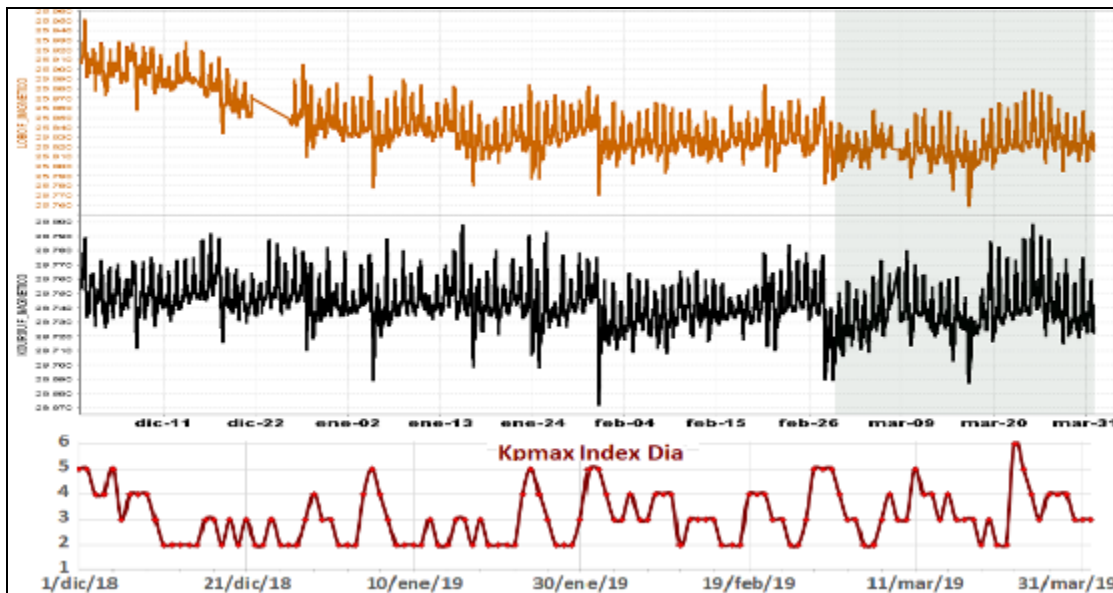


Figura 103. Registro de la componente total del Campo Magnético Terrestre Total (F), en la estación de monitoreo magnético en Azufral, Lobo (naranja), Kourou (negra) y las variaciones del índice de tormentas magnéticas Kp; para el periodo entre diciembre, 2018 y marzo, 2019. La escala de medición del CMT (F) está dada en nano Teslas (nT)

Para el mes de marzo, 2019, el comportamiento del CMT-F de la estación de LOB muestra una tendencia relativamente estable (Figura 104), resaltando principalmente las variaciones seculares día-noche y las variaciones debidas a interferencias por las tormentas magnéticas, que se registran de manera similar en la estación KOU, tomada como referencia. El valor de variación del CMT-F para la estación de LOB estuvo en un rango entre ± 60 nT y en KOU fue de alrededor de ± 50 nT.

El índice Kp (Figura 104) muestra un máximo de valor 6 para el 23 de marzo, al parecer este valor afecta en el nivel de variación base de cada estación y en la tendencia levemente descendente del campo total y no se observa un incremento significativo en la amplitud del campo. En general, se puede decir que LOB tuvo un CMT-F estable de alrededor de 25820, mientras que KOU tuvo un campo de alrededor de 28.745 nT (Figura 104).

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) (Figuras 103 y 104).

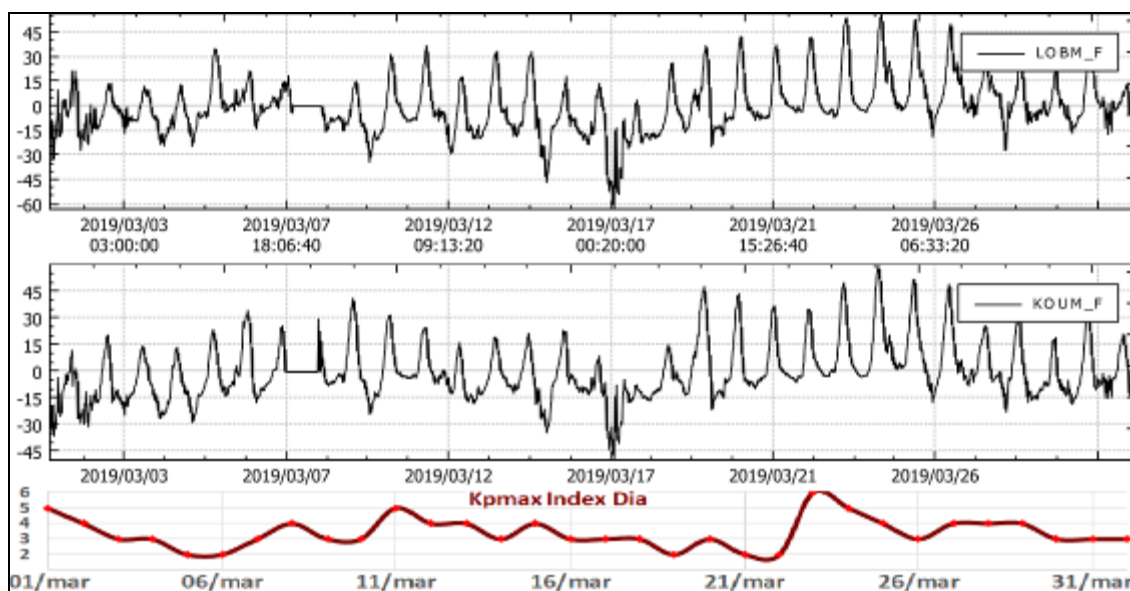


Figura 104. CMT-F, en las estaciones Lobo y Kourou, en enero, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, denominados índices Kp (rojo), del SWPC, para el mismo periodo

De acuerdo con el análisis espectral de los registros magnéticos de LOB, se identificaron frecuencias dominantes con periodo máximo mayor a 3.5 días, y dominantes de un día, 12 horas y 8 horas (Figura 105). Estos máximos de frecuencia se identificaron tanto en la estación de LOB como en la estación de referencia KOU, por lo cual se concluye que corresponden a variaciones externas y que se deben filtrar de los registros.

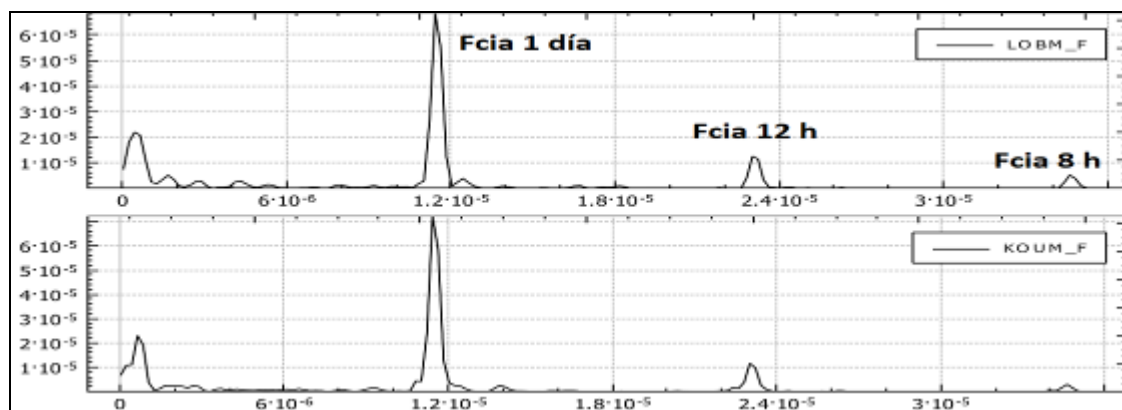


Figura 105. Frecuencias dominantes del registro de las estaciones LOB y KOU, en marzo, 2019. Se identifican frecuencias dominantes, menores a 3.5 días, y dominantes de un día, 12 horas y 8 horas

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 ± 10 nT tanto en Lobo como en Kourou, que corresponden a variaciones dentro del rango bajo, para zonas volcánicas con baja actividad (Figura 106). Estas variaciones se incrementaron en las fechas donde se presentaron las tormentas solares.

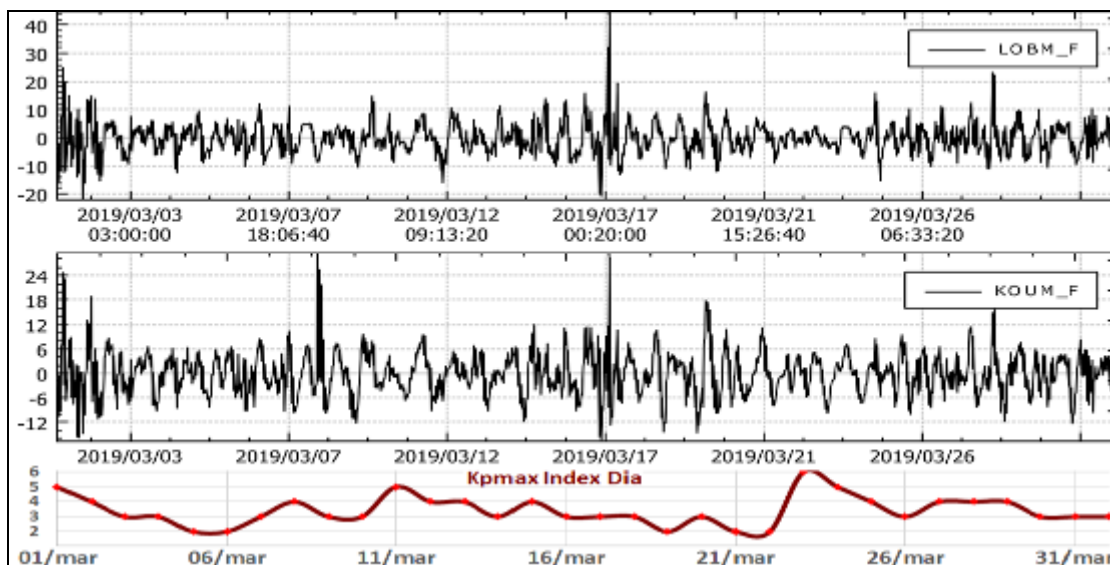


Figura 106. CMT-F, filtrando las frecuencias menores a 3.5 días y de un día, 12 horas y 8 horas, en las estaciones de LOB y KOU, en marzo, 2019, comparadas con los valores máximos diarios de alerta de tormentas solares, Kp (rojo), emitidas por el SWPC, para el mismo periodo de tiempo

Las variaciones del Campo Eléctrico Horizontal (CEH), en el periodo entre diciembre, 2018 a marzo, 2019, muestra una tendencia de grandes oscilaciones, acompañadas con las variaciones solunares día-noche y las variaciones debidas a las tormentas magnéticas externas. El valor de CEH para la estación de Lobo es de alrededor de los 140 mV (Figura 107). Al comparar las variaciones del CEH en la estación LOB 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, específicamente con la tendencia ascendente en ambos, a partir de mediados de enero, 2019 (Figura 107).

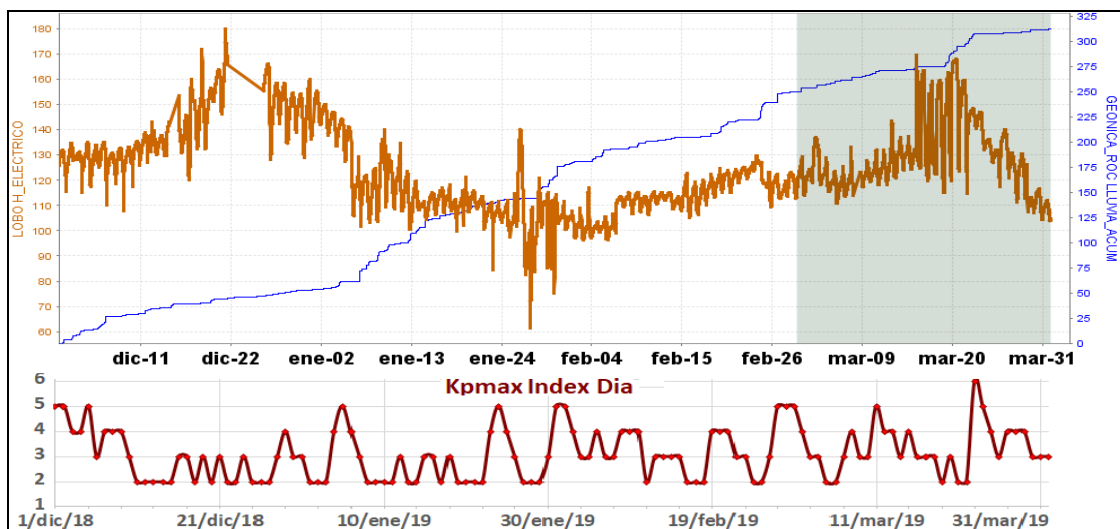


Figura 107. CEH, en la estación Lobo (naranja), para el periodo entre diciembre, 2018 a marzo, 2019, en comparación con el comportamiento de las lluvias en la zona del volcán Azuftral (Pluviómetro – azul) y con el índice Kp de tormentas magnéticas externas. La escala de medición de Lobo está en milivoltios (mV) y del pluviómetro en mm

El registro de marzo, 2019, muestra que las variaciones propias de CEH es de alrededor de los 15 mV, y los días cuando se registran variaciones mayores puede atribuirse a las tormentas externas, que para el mes de marzo se registraron en gran amplitud con valores predominantes entre 3 y 6 (Figura 108)

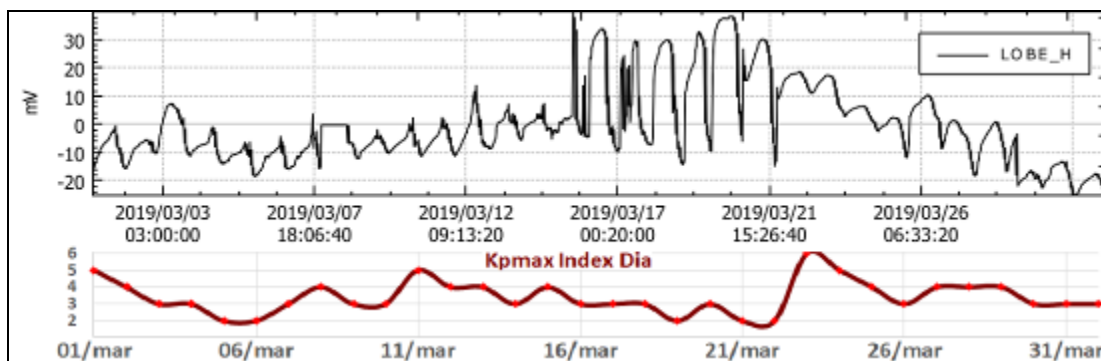


Figura 108. Variaciones del CEH, en la estación de LOB, para el mes de marzo, 2019. La escala de medición está dada en milivoltio (mV), comparado con el índice de tormentas magnéticas externas (rojo)

El análisis espectral mostro que el registro eléctrico de LOB tiene frecuencias dominantes menores a 3.5 días y de alrededor de un día, y 12 horas (Figura 109). Eliminando estas frecuencias dominantes, asociadas con variaciones seculares, se

obtuvo las variaciones eléctricas propias de la estación Lobo, que corresponden al valor entre ± 10 mV (Figura 110), en los periodos donde no se presentaron interferencias externas. Estos valores son bajos, y usualmente se asocian con niveles de actividad volcánica estable.

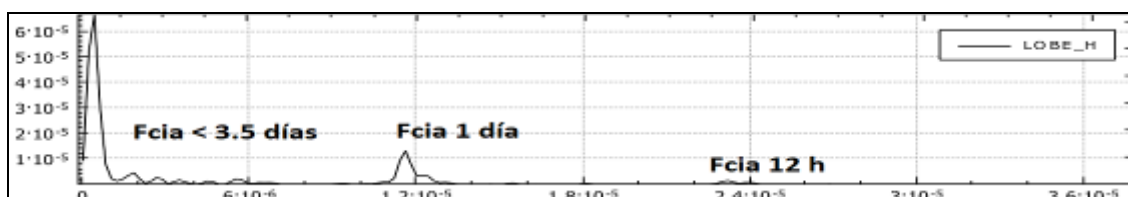


Figura 109. Frecuencias dominantes del CEH en la estación LOB, del volcán Azufraal, para marzo, 2019

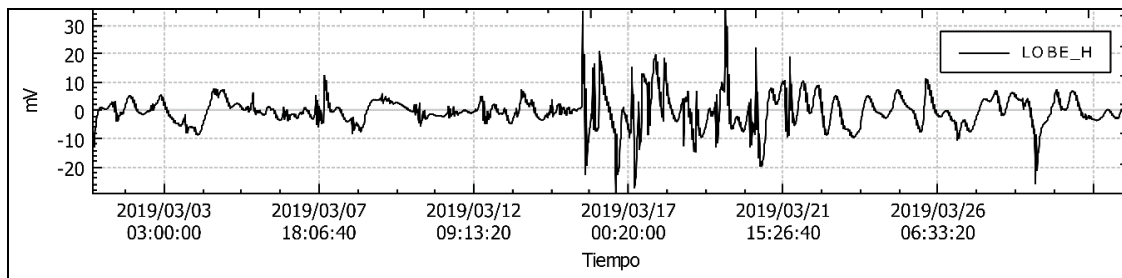


Figura 110. Variaciones propias del CEH, en las estaciones de monitoreo eléctrico Lobo, en el volcán Azufraal, para marzo, 2019. La escala de medición del CEH está dada en milivoltio (mV)

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Estación Térmica Mallama Volcán Azufraal

Los datos sobre la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azufraal, se obtienen a partir de una estación telemétrica (Figura 93, tabla 32 en red de vigilancia).

En la Figura 112 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 87.3°C (Tabla 33). El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación.

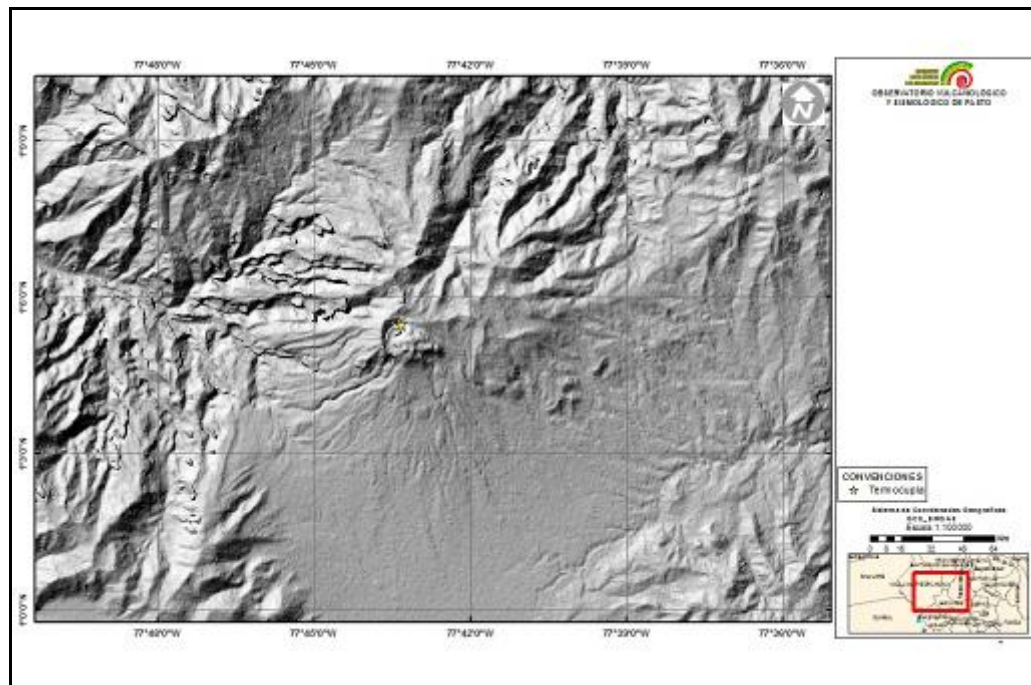



Figura 111. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral

Tabla 32. Ubicación geográfica Estación Mallama del área de influencia del volcán Azufral

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

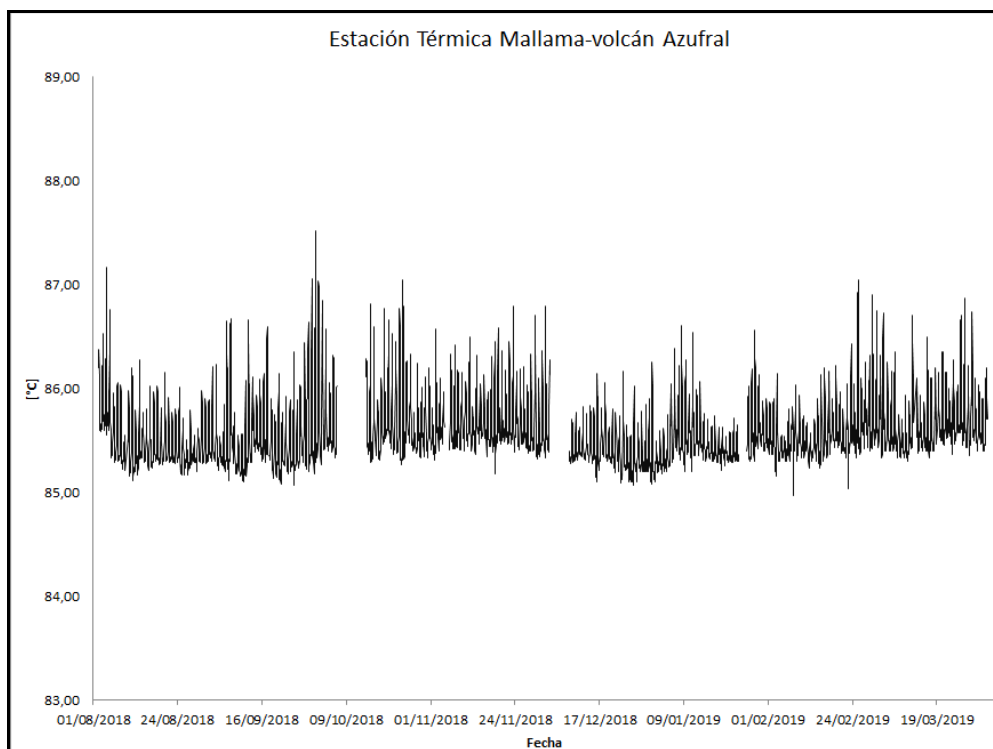


Figura 112. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral – marzo 2019

Tabla 33. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Mallama-marzo 2019

Temperatura [°C]	
Promedio	85.7
Máximo	87.3
Mínimo	85.3

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 93, Tabla 29 en red de vigilancia).

Para el periodo evaluado se observan algunas variaciones en la velocidad del viento. El comportamiento de las demás variables se mantiene estable. La gráfica temporal y los datos pueden observarse en la Figura 113, Tabla 34.

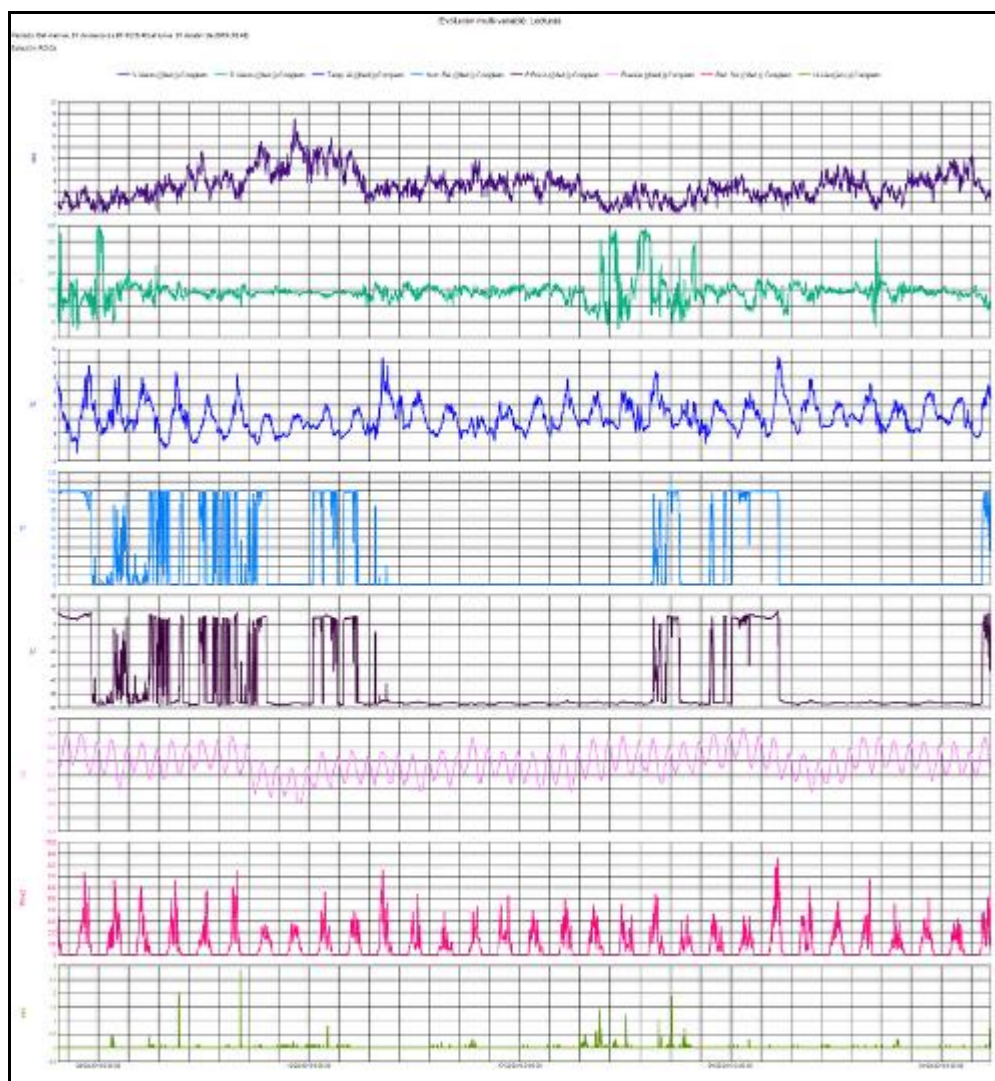


Figura 113. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – marzo 2019

Tabla 34. Datos parámetros estación climatológica La Roca - marzo 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.	5,07	143,31	5,14	21,22	-43,55	630,89	81,58	--
Máx.	16,99	345,45	9,46	100,00	8,85	633,33	857,15	2,81
Acu.	--	--	--	--	--	--	--	62,23

4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 1, 4, 5, 7, 12, 16, 21, 22, 29 y 31 de marzo de 2019.

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 Azufraal.

En las Figura 114 a 118 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufraal.



Figura 114. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 1 de marzo de 2019 a las 02: 40 p.m., (izquierda) y el 4 de marzo de 2019 a 08: 40 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.

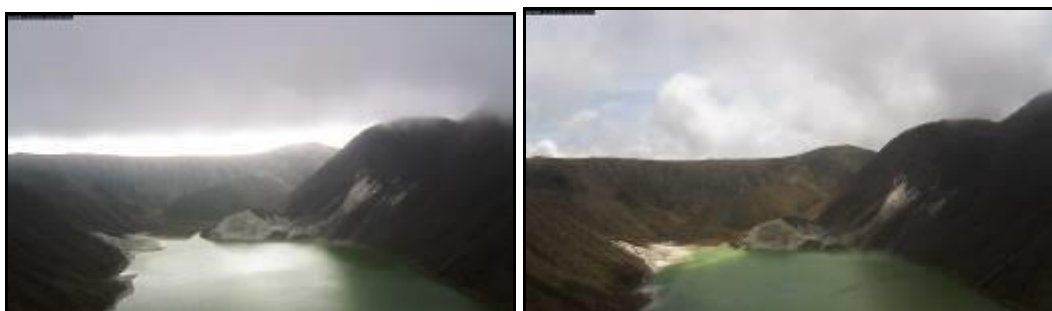


Figura 115. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 5 de marzo de 2019 a las 12: 30 p.m., (izquierda) y el 7 de marzo de 2019 a 11: 11 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán.



Figura 116. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 12 de marzo de 2019 a las 02: 55 p.m., (izquierda) y el 16 de marzo de 2019 a 07: 05 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 117. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 21 de marzo de 2019 a las 06: 50 a.m., (izquierda) y el 22 de marzo de 2019 a 06: 30 a.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

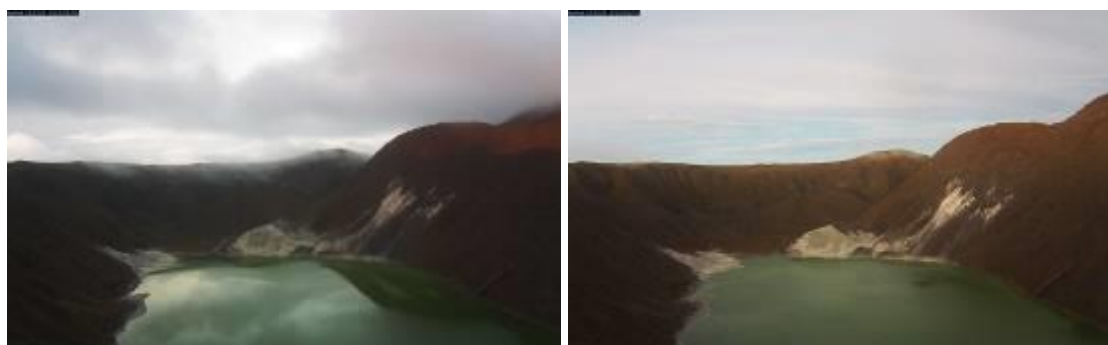


Figura 118. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 29 de marzo de 2019 a las 06: 15 p.m., (izquierda) y el 31 de marzo de 2019 a 06: 30 p.m. (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

En campo fumarólico “Domo 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 87.3°C.

Para la estación climatológica la Roca , en el periodo evaluado se observan variaciones a final del periodo evaluado en los parámetros dirección del viento y precipitación. El comportamiento de los demás variables se mantiene estable.

Dentro de niveles bajos, en marzo de 2019 la sismicidad en la zona de influencia del volcán Azufral disminuyó su ocurrencia y energía, siendo mayoritariamente asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 1.9 en la escala abierta de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral en marzo 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 febrero y marzo 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>