



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

San Juan de Pasto, octubre de 2020



**El futuro
es de todos**

Minenergía

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Oscar Paredes Zapata
Director General

Marta Lucia Calvache Velasco
Dirección Técnica Geoamenazas

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

Diego Mauricio Gómez Martínez
Coordinador Grupo Trabajo Pasto

AUTORES

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

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – SEPTIEMBRE DE 2020	18
1.1 Red de Vigilancia	18
1.2 Sismología	24
1.3.1 Inclínometría Electrónica	26
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	31
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM	33
1.4 Electromagnetismo	33
1.5 Geoquímica	37
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	37
1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo	37
1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales	40
1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales	40
1.6 Actividad Superficial	40
1.7 Conclusiones	43
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2020	44
2.1 Red de Vigilancia	44
2.2 Sismología	46
2.3 Deformación	50
2.4 Electromagnetismo	53
2.5 Geoquímica	53
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	53
2.6 Actividad Superficial	53
2.7 Conclusiones	55
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - SEPTIEMBRE DE 2020	55
3.1 Ubicación Geográfica	55
3.2 Red de Vigilancia	56
3.3 Sismología	59
3.4 Deformación	62
3.4.1 Inclínometría Electrónica	62
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	65
3.5 Electromagnetismo	68
3.6 Geoquímica	70
3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	70

3.6.2	Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	70
3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	70
3.7	Actividad Superficial	71
3.8	Conclusiones	71
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – SEPTIEMBRE DE 2020	71
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y las Ánimas.	72
4.1.1	Red de Vigilancia	72
4.1.2	Sismología	74
4.1.3	Deformación	76
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	76
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	79
4.1.4	Geoquímica	81
4.1.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	81
4.1.5	Actividad Superficial	82
4.1.6	Conclusiones	82
4.2	Actividad del Volcán AzufraI	82
4.2.1	Red de Vigilancia	82
4.2.2	Sismología	85
4.2.3	Deformación	86
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	86
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	88
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	92
4.2.4	Electromagnetismo	92
4.2.5	Geoquímica	95
4.2.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán AzufraI	95
4.2.5.2	Muestreo de gases de origen volcánico- volcán AzufraI	95
4.2.5.3	Estación térmica Mallama volcán AzufraI	95
4.2.5.4	Estación Climatológica La Roca	96
4.2.6	Actividad Superficial	97
4.2.7	Conclusiones	99
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020	20
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020	20
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en septiembre de 2020	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020	24
Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020	25
Figura 7. Energía diaria liberada, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	25
Figura 8. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, septiembre de 2020	26
Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020	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 30 de septiembre de 2020	28
Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020	28
Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020	29
Figura 13. 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 30 de septiembre de 2020	29

Figura 14. 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 30 de septiembre de 2020	30
Figura 15. 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 2018 y el 30 de septiembre de 2020	30
Figura 16. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK	31
Figura 17. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	32
Figura 18. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	33
Figura 19. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020	35
Figura 20. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, entre agosto y septiembre de 2020	36
Figura 21. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre junio y septiembre de 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MIJP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm	37
Figura 22. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, entre agosto y septiembre de 2020	37
Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (junio 2018 – septiembre 2020)	38
Figura 24. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (junio 2018 – septiembre 2020)	39
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 1 de septiembre de 2020 a las 6:11 a.m., (izquierda) y desde Barranco a las 6:48 a.m., (derecha)	40

Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 2 de septiembre de 2020 a las 6:24 p.m., (izquierda) y desde Barranco a las 6:34 p.m., (derecha)	41
Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 4 de septiembre de 2020 a las 6:45 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 5 de septiembre de 2020 a la 1:25 p.m., (derecha)	41
Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector Barranco el día 9 de septiembre de 2020 a las 6:15 p.m., (izquierda) y desde Bruma el día 11 de septiembre de 2020 a las 4:41 p.m., (derecha)	41
Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector Barranco el día 17 de septiembre de 2020 a las 5:52 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 18 de septiembre de 2020 a las 6:48 a.m., (derecha)	42
Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 20 de septiembre de 2020 a las 6:28 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 21 de septiembre de 2020 a las 5:33 p.m., (derecha)	42
Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 25 de septiembre de 2020 a las 2:32 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 26 de septiembre de 2020 a las 7:22 a.m., (derecha)	42
Figura 32. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector Barranco el día 27 de septiembre de 2020 a las 5:49 p.m., (izquierda) y desde Bruma el día 28 de septiembre de 2020 a las 5:50 p.m., (derecha)	43
Figura 33. 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 septiembre de 2020	45
Figura 34. 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 septiembre de 2020	45
Figura 35. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2020	46
Figura 36. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre junio y septiembre de 2020	47

Figura 37. Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 7 de septiembre a las 5:58 a.m. en la componente vertical de la estación Limones del CVC	48
Figura 38. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre junio y septiembre de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica	49
Figura 39. Localizaciones de VT registrados en septiembre de 2020 en el CVC	50
Figura 40. 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 30 de septiembre de 2020	51
Figura 41. 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 30 de septiembre de 2020	51
Figura 42. 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 el 22 de octubre de 2019 y el 30 de septiembre de 2020	52
Figura 43. 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 2018 y el 30 de septiembre de 2020	52
Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 2 de septiembre de 2020 a las 6:04 p.m., (izquierda) y el día 7 de septiembre de 2020 a las 6:48 p.m., (derecha)	53
Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 10 de septiembre de 2020 a las 6:29 p.m., (izquierda) y el día 12 de septiembre de 2020 a las 6:03 a.m., (derecha)	54
Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 16 de septiembre de 2020 a las 5:40 p.m., (izquierda) y el día 17 de septiembre de 2020 a las 5:31 a.m., (derecha)	54
Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 17 de septiembre de 2020 a las 7:55 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 18 de septiembre de 2020 a las 6:22 a.m., (derecha)	54

Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 27 de septiembre de 2020 a las 6:03 a.m., (izquierda) y el día 28 de septiembre de 2020 a las 5:27 p.m., (derecha)	55
Figura 49. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	56
Figura 50. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de septiembre de 2020	57
Figura 51. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en septiembre de 2020	59
Figura 52. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	60
Figura 53. Energía diaria de sismos registrados entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	61
Figura 54. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en septiembre de 2020	62
Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 11 de septiembre de 2020. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación	63
Figura 56. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de septiembre de 2020. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación	63
Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 30 de septiembre de 2020	64
Figura 58. Orientación del vector resultante para los inclinómetros electrónicos de Morro y Cerro Negro, los círculos de color rojo, indican el punto más alto de estos volcanes y ejes coordenadas en UTM	64
Figura 59. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262)	65
Figura 60. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de	

enero de 2020 y el 18 de septiembre de 2020 (262), estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano - IGEPN	66
Figura 61. Ubicación de las estaciones GNSS El Moro, CHLS, CHLW (instaladas sobre la superficie de Chiles) y COEC (Permanente, red geodésica del Ecuador), empleadas para determinar las variaciones de la línea base	67
Figura 62. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiqueta para las estaciones que fue determinada	67
Figura 63. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp. Periodo entre junio y septiembre de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)	69
Figura 64. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU entre agosto y septiembre de 2020	70
Figura 65. 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	72
Figura 66. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de septiembre de 2020	74
Figura 67. 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 septiembre de 2020	74
Figura 68. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre junio y septiembre de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe	75
Figura 69. Localizaciones de VT registrados en septiembre de 2020 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	76
Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020	77
Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 30 de septiembre de 2020	77
Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña	

Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 30 de septiembre de 2020	78
Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 30 de septiembre de 2020	79
Figura 74. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262)	80
Figura 75. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base	81
Figura 76. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	81
Figura 77. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2020	83
Figura 78. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de septiembre de 2020	83
Figura 79. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante septiembre de 2020	84
Figura 80. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, entre junio y septiembre de 2020	85
Figura 81. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en septiembre de 2020	86
Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020	87
Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2019 y el 30 de septiembre de 2020	87
Figura 84. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK	89
Figura 85. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Roca instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de	

enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK	90
Figura 86. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufraal, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	91
Figura 87. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	91
Figura 88. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Azufraal, LOB (naranja), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)	93
Figura 89. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, entre agosto y septiembre de 2020	94
Figura 90. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufraal, LOB (naranja), para el periodo junio a septiembre de 2020 y registro del pluviómetro (azul). La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm	94
Figura 91. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación de monitoreo eléctrico de Azufraal LOB, entre agosto y septiembre de 2020	95
Figura 92. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufraal – septiembre 2020	96
Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 3 de septiembre de 2020 a las 3:48 p.m., (izquierda) y el 5 de septiembre de 2020 a las 2:13 p.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 94. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 11 de septiembre de 2020 a las 4:23 p.m., (izquierda) y el 14 de septiembre de 2020 a las 3:38 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	98
Figura 95. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 17 de septiembre de 2020 a las 7:18 a.m., (izquierda) y el 22 de septiembre de 2020 a las 6:53 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	98
Figura 96. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 26 de septiembre de 2020 a las 7:28 a.m., (izquierda) y el 27 de	

septiembre de 2020 a las 7:23 a.m., (derecha)., capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de septiembre de 2020	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en septiembre de 2020	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en septiembre de 2020	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en septiembre de 2020	22
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	23
Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	23
Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados En Galeras entre junio y septiembre de 2020	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020	25
Tabla 9. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras septiembre 2020	39
Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras septiembre 2020	39
Tabla 11. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2020	44
Tabla 12. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre junio y septiembre de 2020	46
Tabla 13. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre junio y septiembre de 2020	49
Tabla 14. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	57
Tabla 15. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	58
Tabla 16. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	60
Tabla 17. Energía de eventos VT, ocurridos entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	60

Tabla 18. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en septiembre de 2020	73
Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre junio y septiembre de 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	75
Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de septiembre de 2020	84
Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufral entre junio y septiembre de 2020	85
Tabla 22. Datos parámetros estación climatológica La Roca - septiembre 2020	97

RESUMEN

Para el periodo evaluado y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó un descenso en la ocurrencia sísmica, pasando de 99 a 54 eventos, de los cuales 52, asociados con fractura de roca. Los picos de ocurrencia sísmica diaria se registraron los días 1 y 7 contabilizando 6 sismos por día. En contraste la energía sísmica aumento su valor 23 veces lo registrado en agosto, pasando de 2.58×10^{13} ergios a 5.94×10^{14} ergios, el mayor aporte provino de los eventos de fractura. En general, los sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias menores a 17 km, con profundidades menores a 18 km respecto a la cima de Galeras y con 2.1 de magnitud local máxima.

La sismicidad del complejo volcánico de Cumbal mostró disminución del 40.4% en comparación con agosto, con un total para el mes de septiembre de 636 eventos, donde el 67.1% del total involucran fractura al interior del volcán y el 11.2%, movimiento de fluidos de fuente transitoria. Se registraron 13 eventos tipo Tornillo (TOR), caracterizados por tener un decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. La mayoría de eventos de fractura se ubicaron hacia el sector sur y suroriente del Complejo volcánico a profundidades someras (menores a 4 km) y magnitudes menores a 1.9 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en septiembre de 2020 incrementó en ocurrencia el 44.8% lo reportado en agosto, pasando de 3852 a 5576 eventos. Los eventos VT con 5556 sismos representan el 99.6% del total, también se registraron 19 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP). Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 7, 18 y 19 de septiembre con 349, 474 y 406 eventos VT, respectivamente. Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar dos fuentes sismogénicas bien definidas tanto al sur, como al sur-oriente. La magnitud local máxima fue de 3.7 en la escala de Richter, sismo registrado el 30 de septiembre a las 10:51 p.m., el cual fue reportado como sentido por habitantes del municipio de Cumbal en su cabecera municipal y en los Resguardos Indígenas de Chiles y Panán, al igual que en Tufiño, población vecina del lado ecuatoriano.

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

La sismicidad en la región volcánica de Doña Juana y Las Ánimas, registró valores similares respecto al número registrado en el mes anterior, con 10 eventos, todos ellos

asociados a fractura de roca, de los cuales se localizaron 5 que se ubicaron hacia el noroccidente de la zona de influencia del volcán Doña Juana, a distancias entre 7.5 y 15.5 km, profundidades entre 5.5 y 14 km con respecto a la cima de Doña Juana y magnitud local máxima de 2.0 en la escala de Richter.

Para Azufral, la sismicidad de septiembre de 2020 respecto a agosto, aumento su número, pasando de 12 a 17 eventos, 16 de ellos asociados con fractura de material cortical. Se localizaron 7 sismos, en su mayoría ubicados hacia el noroccidente de la laguna cratéica, con profundidades menores a 7.5 km con respecto a la cima y magnitud local máxima de 1.8 en la escala de Richter.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – SEPTIEMBRE DE 2020

1.1 Red de Vigilancia

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

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

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

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 89 % (Figura 4).

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

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

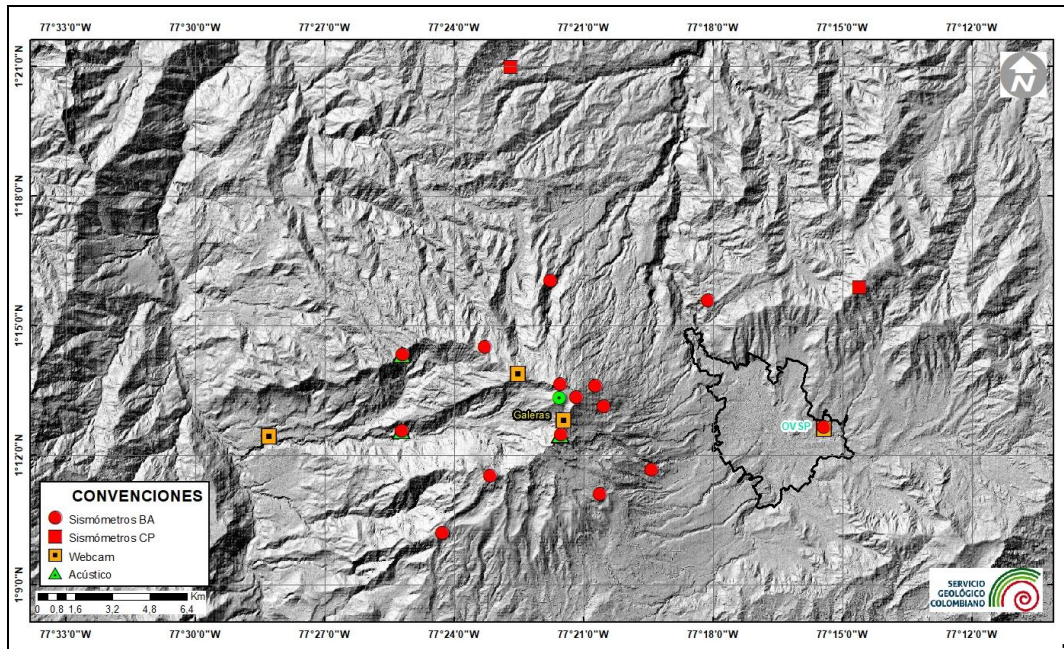


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020

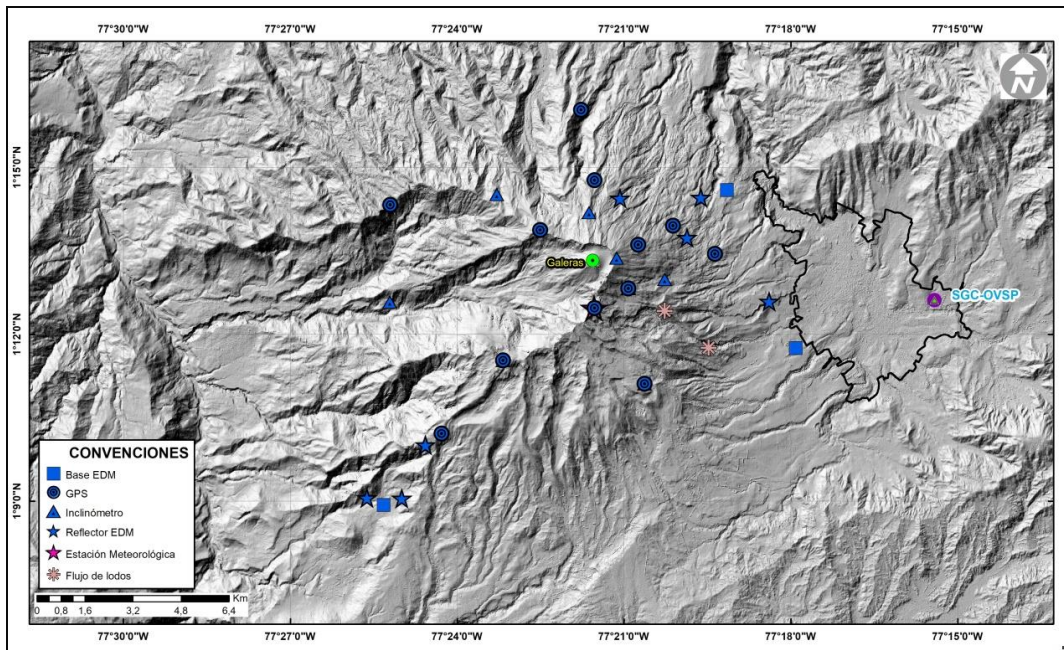


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020

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

Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	0,8	E	4060
Peladitos	1,4	SE	3850
Huairatola	1,7	N	3745
Urcunina	2,3	ESE	3494
Cobanegra	3,9	SSE	3625
Arlés	4	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 septiembre de 2020

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

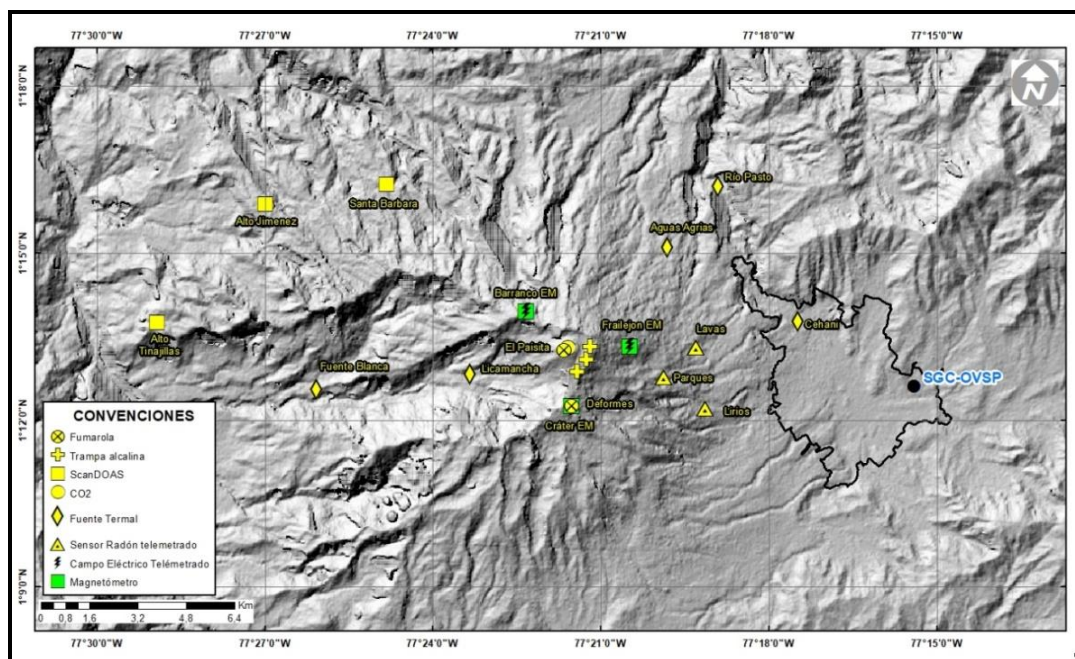


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2020

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

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ángulo del Scan (°)	Altura de referencia de la pluma *(m)	Dirección compás (°contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Barranco	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
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2	NW	3800
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Magnético	Triaxial	2	NW	3800
Deformes	Digital	Magnético	Triaxial	1,9	SSE	4001
Cráter	Digital	Magnético	Triaxial	1,5	SW	4016

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

Estación	Distancia al Cráter (km)	Ubicación respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Parques	3,6	ESE	3358
Lavas	4,5	E	3053
Lirios	4,7	SE	3000

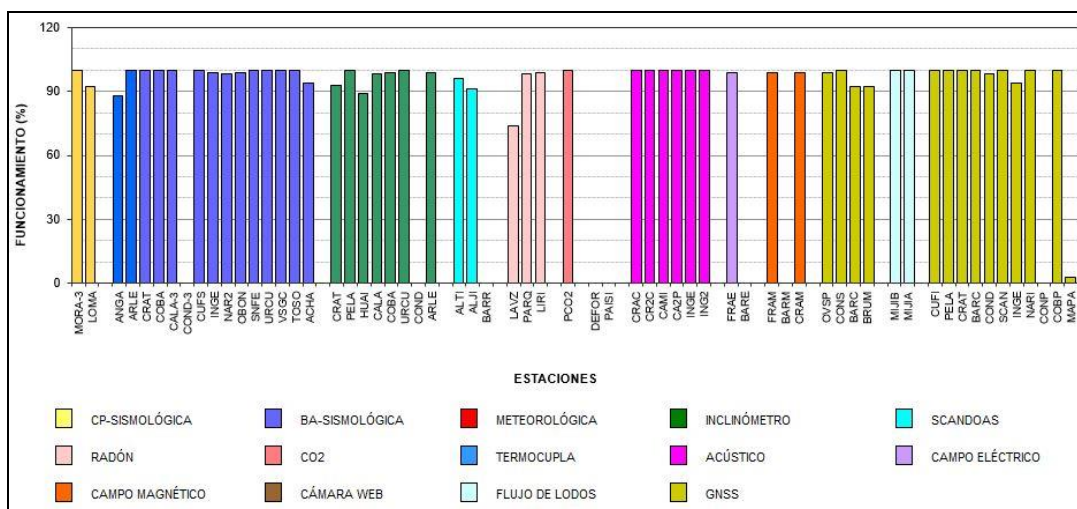


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en septiembre de 2020

1.2 Sismología

En septiembre de 2020 la sismicidad volcánica disminuyó su número en un 45.5%, pasando de 99 a 54 eventos, en comparación con agosto de 2020. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 52 sismos que representan el 96.3% del total. La sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) registró 1 evento que representa el 1.9% y se registró 1 evento tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que representan el 1.9% del total. No se tuvo registro de episodios que involucran fractura de roca seguida por tránsito de fluidos o de tipo híbrido (HIB) ni de tremor o eventos de fluidos de fuente permanente (TRE). Los sismos de tipo VT disminuyeron su número en un 46.4%, pasando de 97 a 52 eventos; los sismos de tipo LP permanecieron constantes en número. Los picos de ocurrencia sísmica diaria se registraron los días 1 y 7 contabilizando 6 sismos por día (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	
01-jun-20 a 30-jun-20	107	4	0	4	4	119
01-jul-20 a 31-jul-20	74	1	0	0	2	77
01-ago-20 a 31-ago-20	97	1	0	0	1	99
01-sep-20 a 30-sep-20	52	1	0	0	1	54

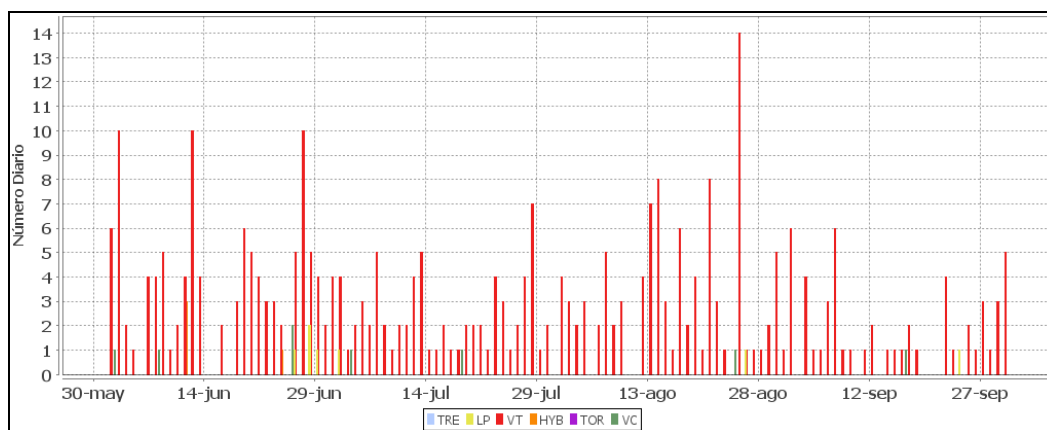


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020

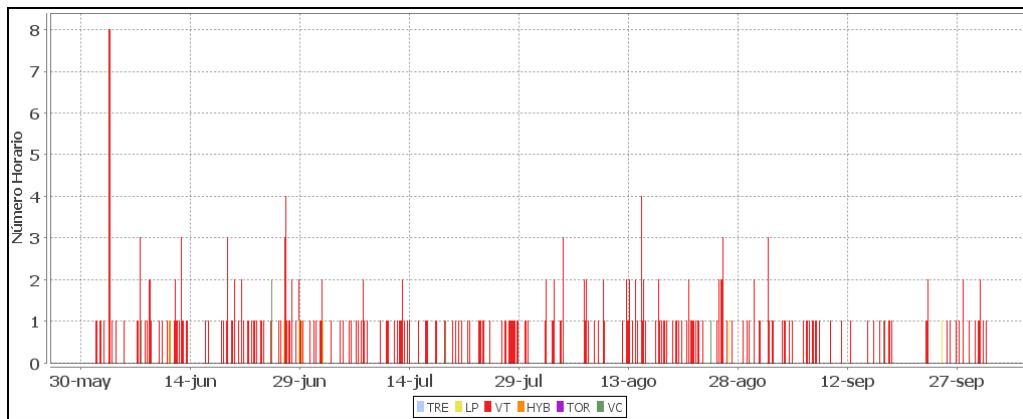


Figura 6. Número de eventos por hora, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020

La energía sísmica liberada en septiembre de 2020 aumentó en 23 veces, pasando de 2.58×10^{13} ergios a 5.94×10^{14} ergios, en comparación con lo registrado en agosto. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 99.98% de la energía sísmica del mes. Los sismos de tipo LP aumentaron su energía en dos órdenes de magnitud, pasando de 9.66×10^9 ergios a 1.31×10^{11} ergios. El pico energético del mes se registró el 9 de septiembre con 2.30×10^{14} ergios (Tabla 8, Figura 7).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	
01-jun-20 a 30-jun-20	1,18E+13	6,15E+10	0,00E+00	6,57E+11	3,50E+09	1,25E+13
01-jul-20 a 31-jul-20	8,29E+12	9,82E+08	0,00E+00	0,00E+00	1,17E+10	8,30E+12
01-ago-20 a 31-ago-20	2,40E+13	9,66E+09	0,00E+00	0,00E+00	1,88E+12	2,58E+13
01-sep-20 a 30-sep-20	5,94E+14	1,31E+11	0,00E+00	0,00E+00	1,11E+09	5,94E+14

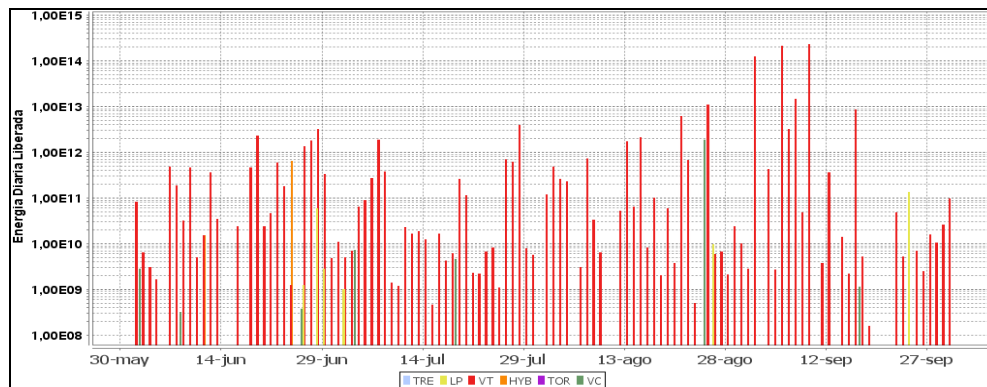


Figura 7. Energía diaria liberada, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras entre junio y septiembre de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

Fueron localizados 41 VT, ubicados de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, a distancias menores a los 17 km respecto del cráter principal, con profundidades entre 0.3 y 17.5 km respecto a la cima (nivel de referencia sobre los 4270 msnm) y magnitud local máxima de 2.1 en la escala de Richter (Figura 8).

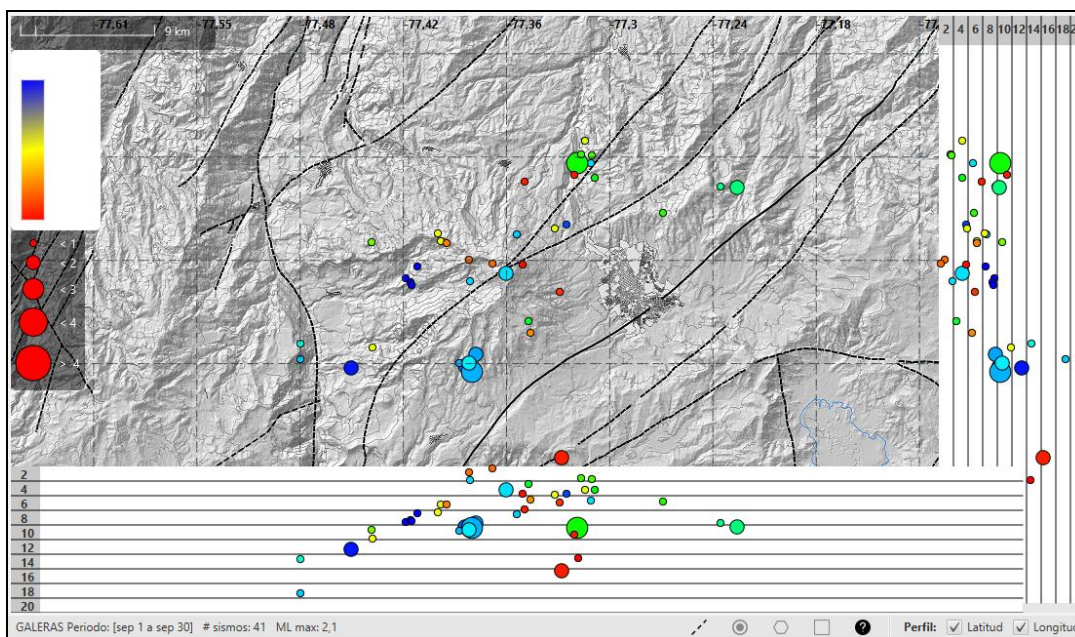


Figura 8. Localizaciones de sismos VT en la zona de influencia de Galeras, septiembre de 2020

1.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas.

1.3.1 Inclinometría Electrónica

El 8 de agosto fue el último dato recibido del inclinómetro Cóndor, estamos pendientes de la visita a campo para el respectivo mantenimiento.

Se mantienen comportamientos estables en las componentes de inclinación de las estaciones Cráter y Arlés, con variaciones que pueden estar asociadas con los cambios de temperatura ambiente (Figuras 9 y 10).

En Huairatola, desde inicios del periodo evaluado se observa un ligero comportamiento descendente en la componente Tangencial (Figura 11).

Para el inclinómetro Peladitos se mantiene una tendencia levemente ascendente en su componente Radial, con una variación cercana a los 15 μrad desde febrero de 2019, mientras su componente Tangencial presenta estabilidad (Figuras 12). Persiste la tendencia descendente en las componentes de inclinación Norte y Este de la estación Urcunina, la cual se evidencia desde agosto de 2019, con variaciones acumuladas que no superan los 5 μrad (Figuras 13).

En la Figura 14 se muestra el comportamiento del inclinómetro Cobanegra, estabilidad en sus registros, la Este desde abril de 2020 y en la Norte desde agosto de 2020.

Para el inclinómetro Calabozo, luego de mostrar la tendencia descendente en sus dos componentes, la Este estable desde junio de 2020 y en la Norte se observa un ligero cambio de tendencia, de descendente a ascendente, el cual ya registra cerca de 50 μrad (Figura 15).

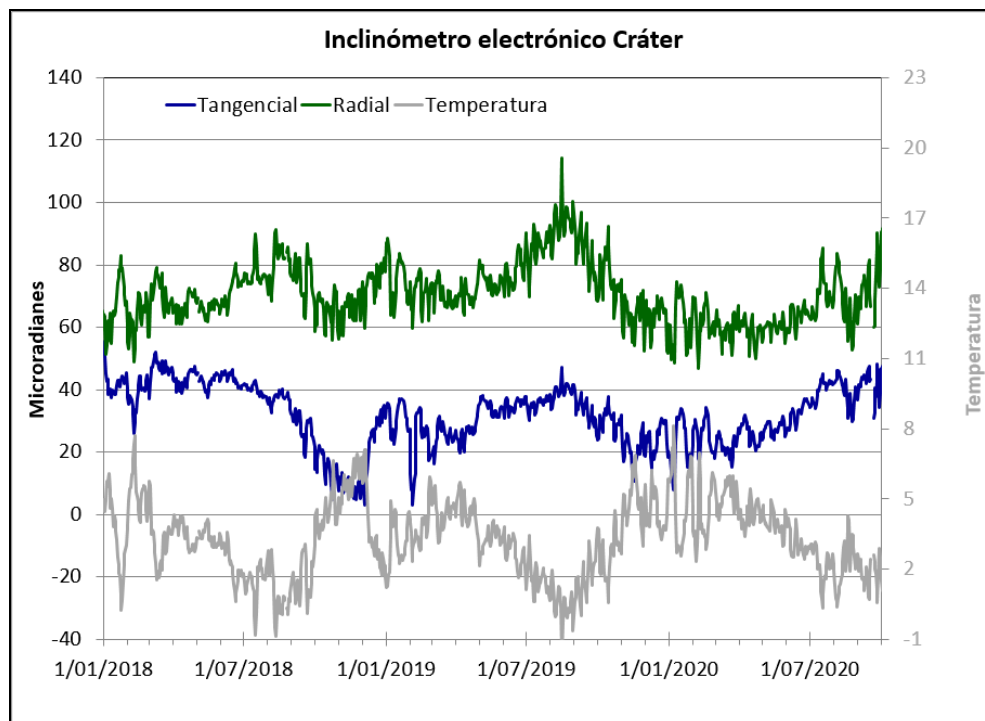


Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

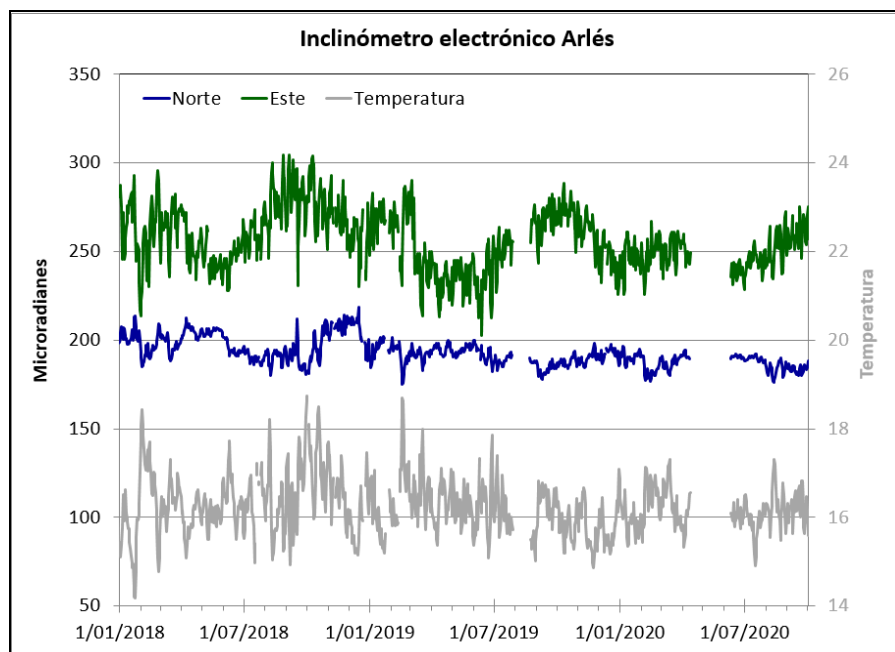


Figura 10. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

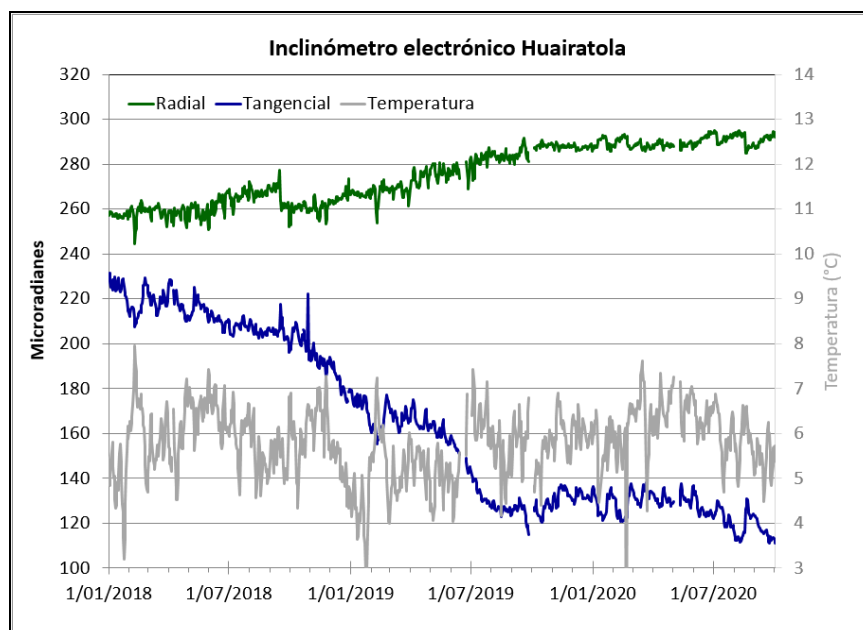


Figura 11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

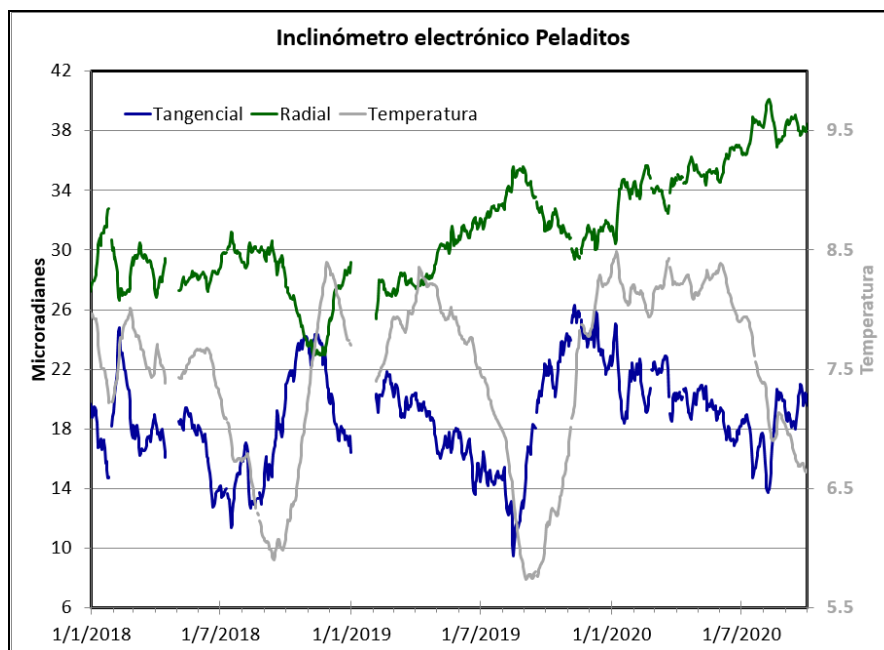


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

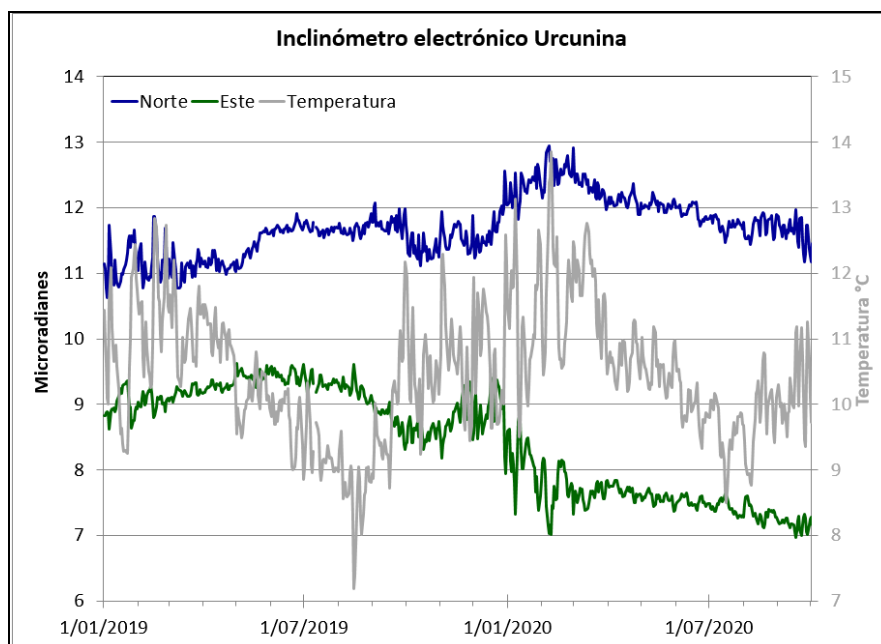


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 20 de marzo de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

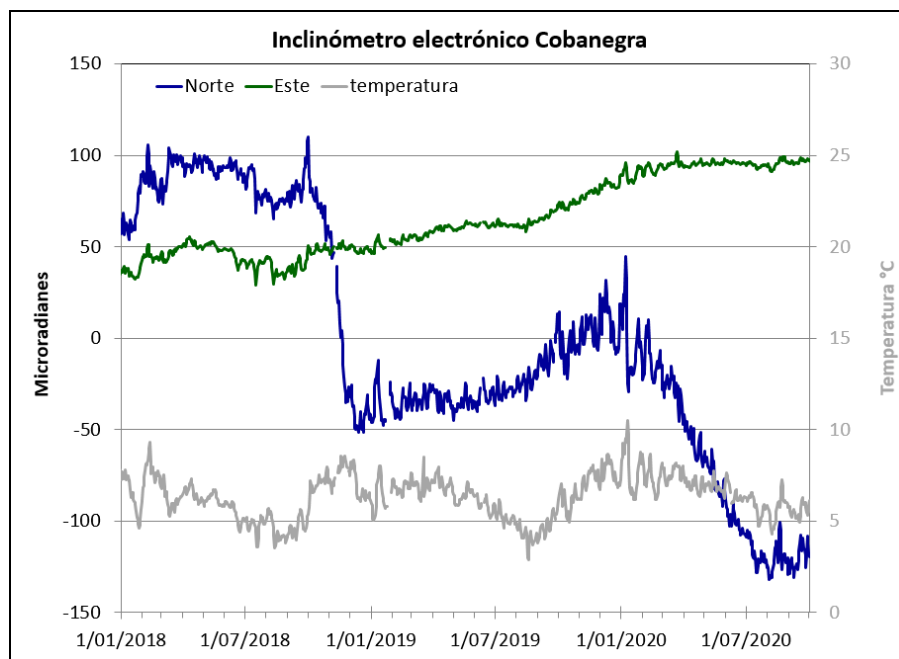


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

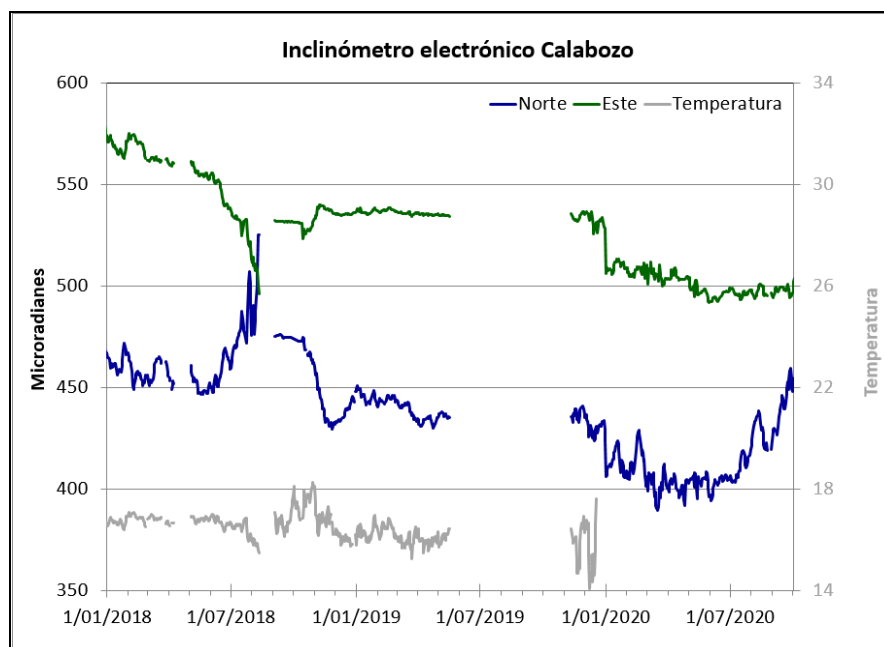


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso.

En general, en la red de GNSS de Galeras, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 16, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra.

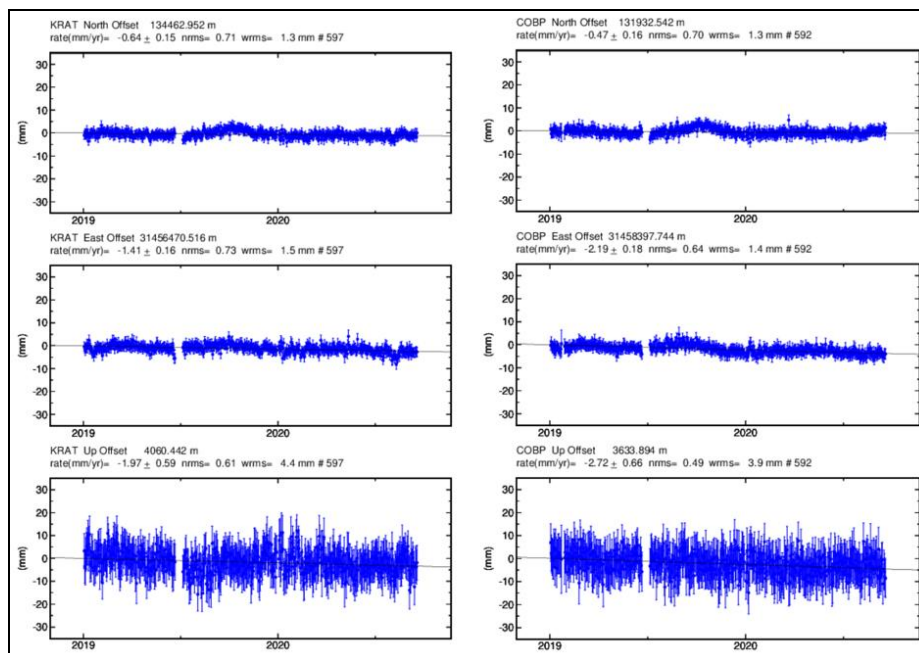


Figura 16. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 17, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 18, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

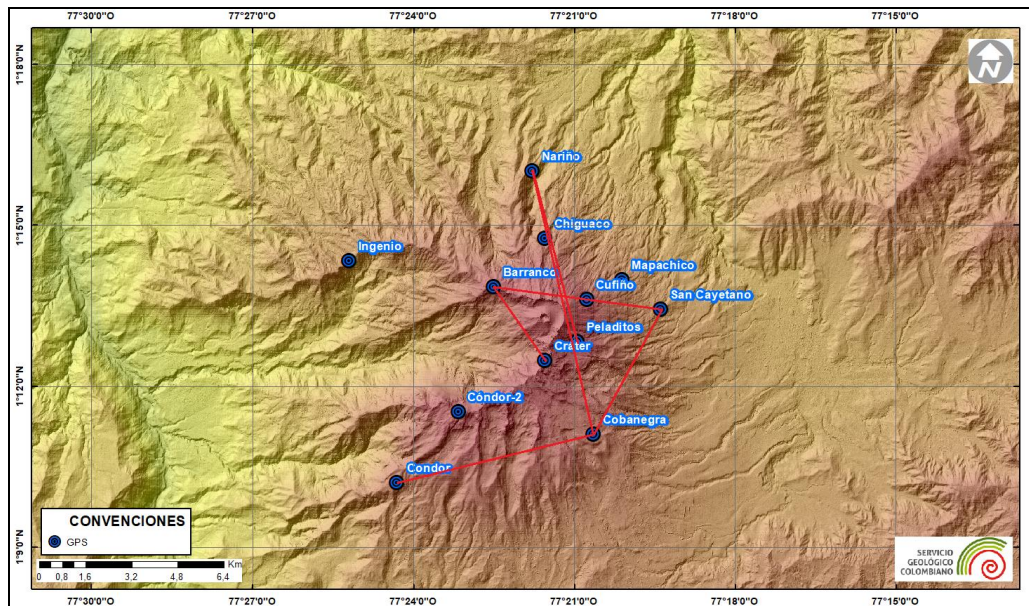


Figura 17. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

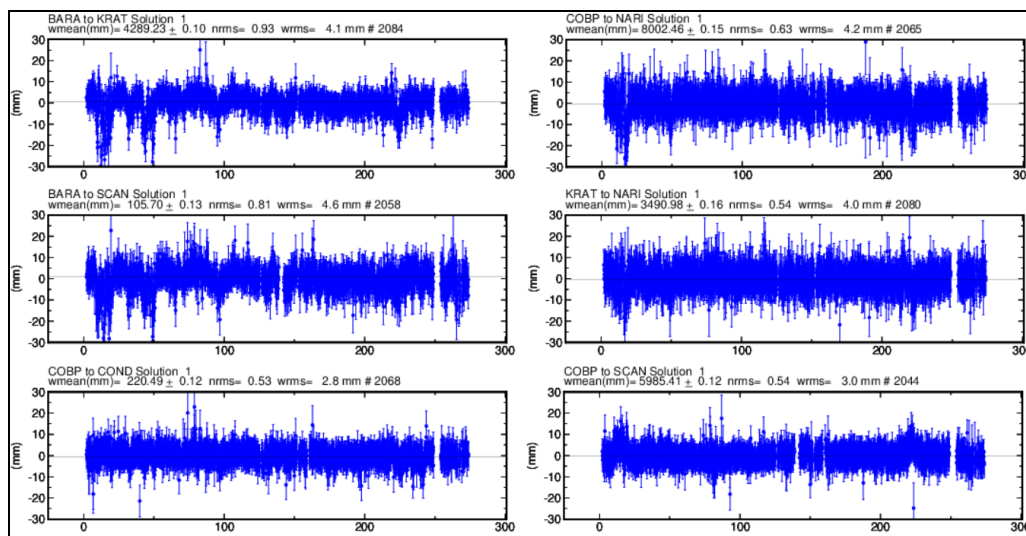


Figura 18. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

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

1.4 Electromagnetismo

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

En el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020 (Figura 19), el comportamiento de las estaciones de monitoreo magnético, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, mostraron un comportamiento relativamente estable, resaltando principalmente las variaciones seculares día-noche y variaciones más pronunciadas, relacionadas con la ocurrencia de tormentas magnéticas externas,

principalmente aquellas con índice Kp entre 4 y 6. El comportamiento del campo magnético total (CMT) en las estaciones de monitoreo en la zona de Galeras, muestran variaciones seculares diarias (variaciones día-noche) un rango de alrededor de 65 nT tanto para FRA como para DEF, y de igual manera el mismo valor para la estación Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. Esta estación se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por ser la más cercana a la zona de estudio, y que se encuentra en una latitud muy próxima a la de las estaciones de Galeras. Al comparar los registros en las estaciones del OVS-Pasto y Kourou, se resaltan las variaciones simultaneas en los tres registros a partir del 23 de septiembre cuando se inició un ciclo de tormentas geomagnéticas, que llegaron a clase G2, que se clasifican como moderadas, llegando a índices físicos de intensidad Kp=6, los 28 y 29 que generó variaciones con forma de onda y amplitudes muy similares tanto en FRA, DEF, como en KOU (Figura 19) y que corresponde a la variación más significativa del CMT. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 19).

En septiembre de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en las estaciones fue de 28.360 nT en FRA, 29.350 nT en DEF y de 28.640 nT para KOU (Figura 19); mostrando en general un comportamiento descendente respecto a los meses anteriores.

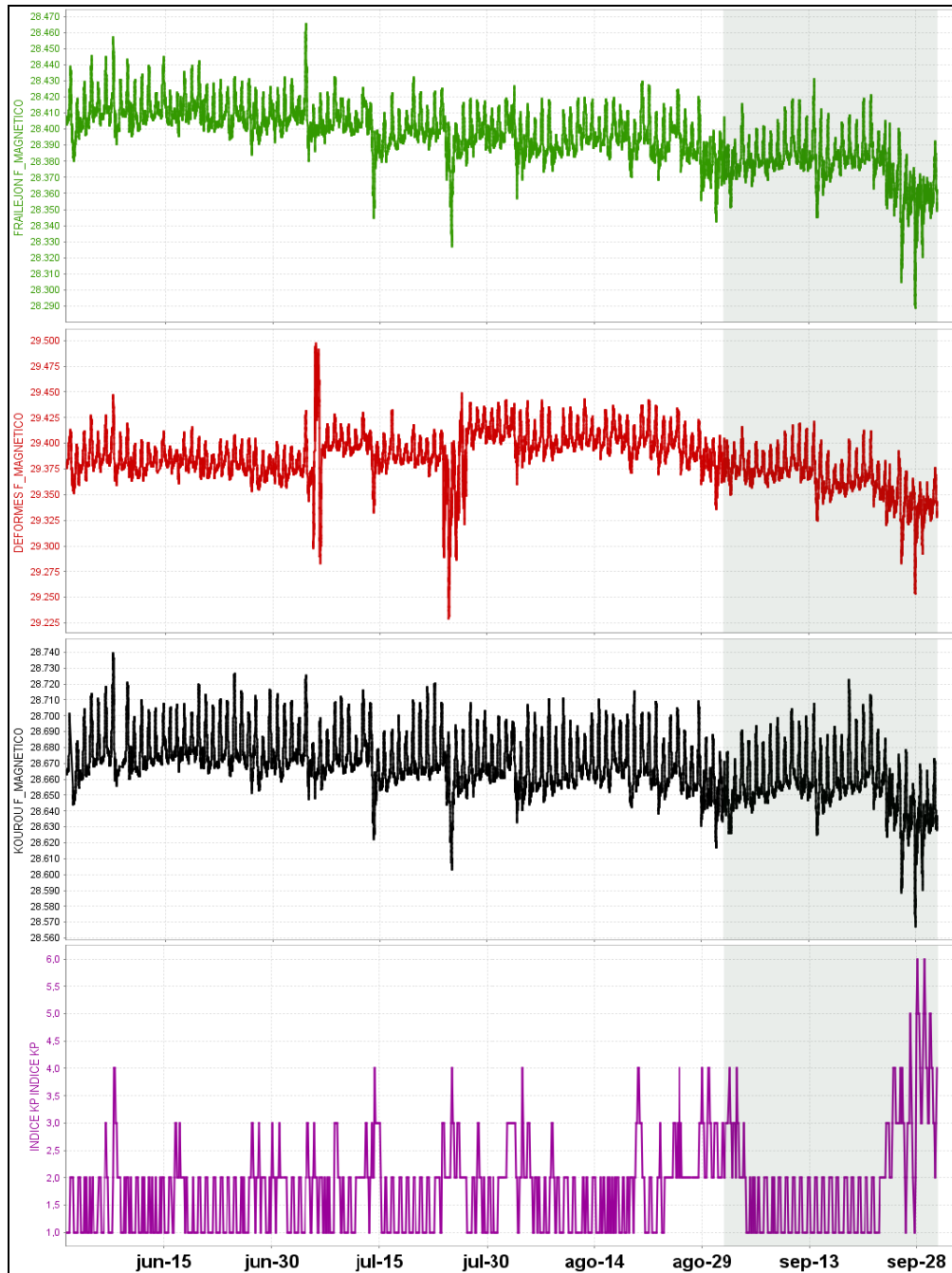


Figura 19. CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: Frailejón (verde), Deformes (roja) y estación de referencia Kourou (negra), conjuntamente con el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020

El análisis espectral de los registros magnéticos resalta un contenido de frecuencias, en valores menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes,

así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto, estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que están entre ± 12 nT para las estaciones FRA, DEF y KOU (Figura 20), que en general corresponden a variaciones muy bajas, asociadas con la actividad volcánica. Las mayores variaciones corresponden a días en los que se tuvo registro de tormentas externas, como aquellas registradas a partir del 23 de septiembre, en donde las variaciones del campo magnético estuvieron entre ± 30 nT (Figura 20).

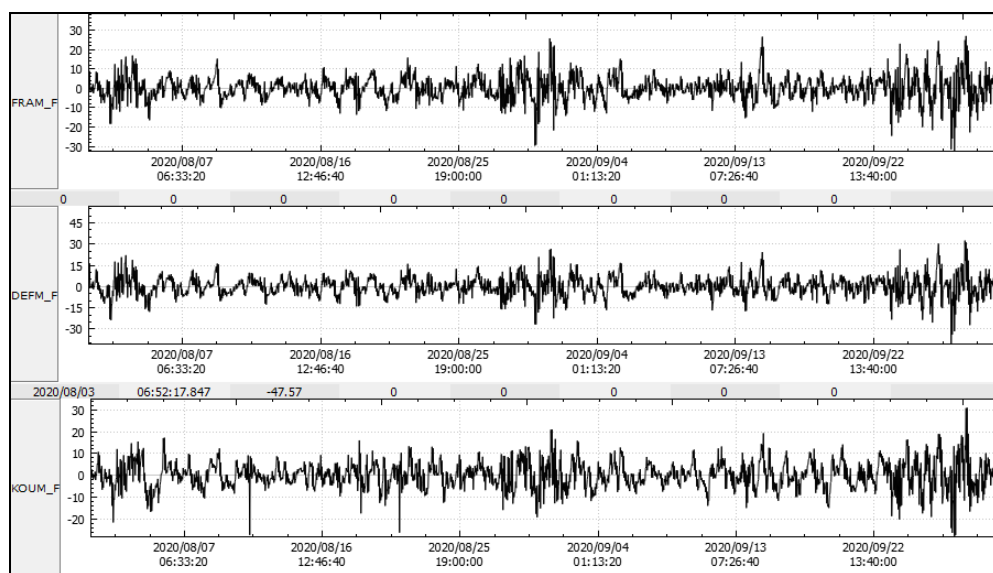


Figura 20. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones FRA, DEF y KOU, entre agosto y septiembre de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de monitoreo eléctrico en Galeras FRA para el periodo entre junio y septiembre de 2020 (Figura 21), muestra un comportamiento descendente, con un valor de campo eléctrico alrededor de los 940 mV. De acuerdo con los registros del pluviómetro Mijitayo Alto (MIJAP), ubicado en la zona de influencia volcánica, el valor acumulado de lluvia para el periodo de septiembre, fue de alrededor de 7 mm.

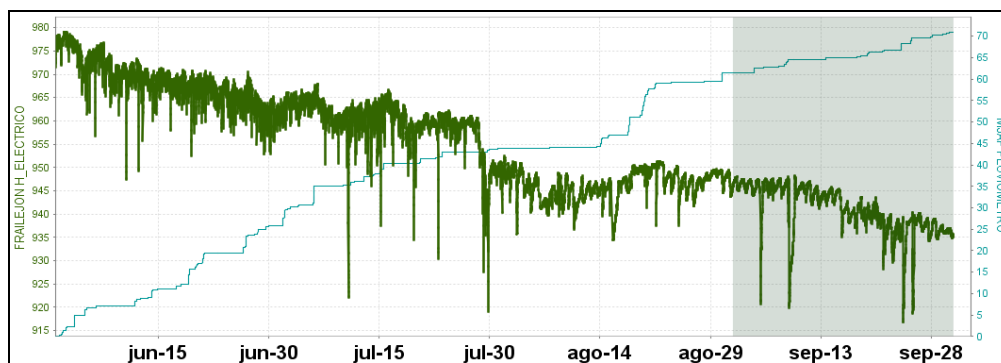


Figura 21. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre junio y septiembre de 2020, comparadas con los registros de la estación de pluviometría MIJP (azul), ubicada en la zona de influencia de Galeras. La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm

El análisis espectral del registro eléctrico muestra frecuencias dominantes asociadas con las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 2 días, así como también, frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, una vez eliminadas las frecuencias asociadas con las variaciones seculares, que no se asocian con la actividad volcánica, se obtuvieron los registros de la actividad propia de la zona, encontrando variaciones de alrededor de ± 8 mV, cuyos incrementos pueden estar asociados con el incremento de las lluvias en la zona, incrementando el potencial eléctrico que se puede generar en el terreno (Figura 22).

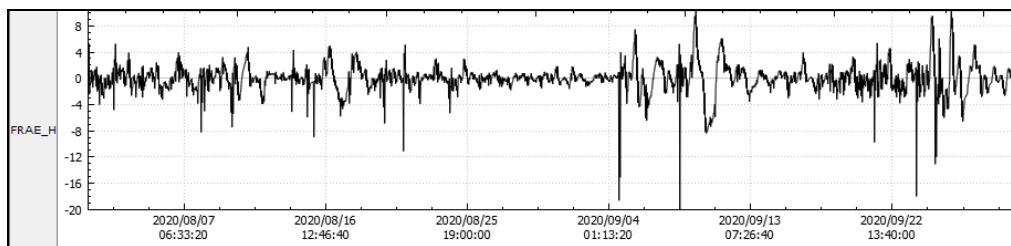


Figura 22. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación FRA, de monitoreo eléctrico en Galeras, entre agosto y septiembre de 2020

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. La emisión de radón desde la tierra a la atmósfera, es un proceso

permanente que registra valores excepcionalmente altos en zonas de fallas geológicas. En zonas de actividad sísmica y volcánica; específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan mediciones de gas Rn 222, por ser considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. En la Figura 3 (Red de vigilancia) se presenta el mapa de las estaciones para medición de concentración de gas Radón que hacen parte de la red de vigilancia del volcán Galeras.

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Lirios en la Figura 23 y en la Figura 24 para la estación de Parques, los valores de promedio, máximo y mínimo de la concentración se muestran en la Tabla 9 para Lirios y Tabla 10 para Parques.

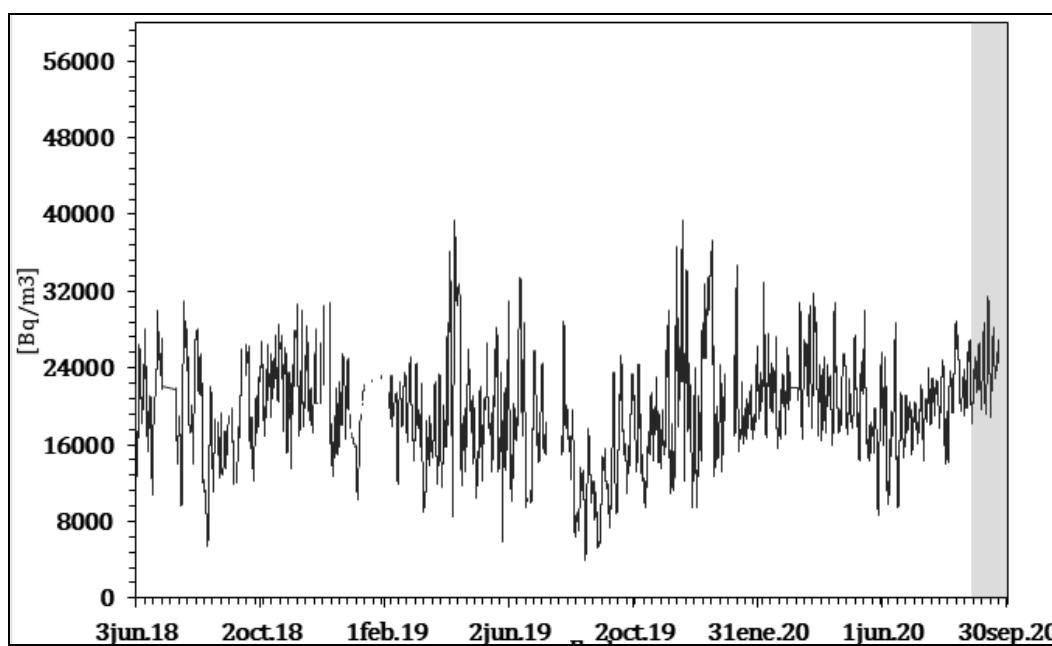


Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (junio 2018 – septiembre 2020)

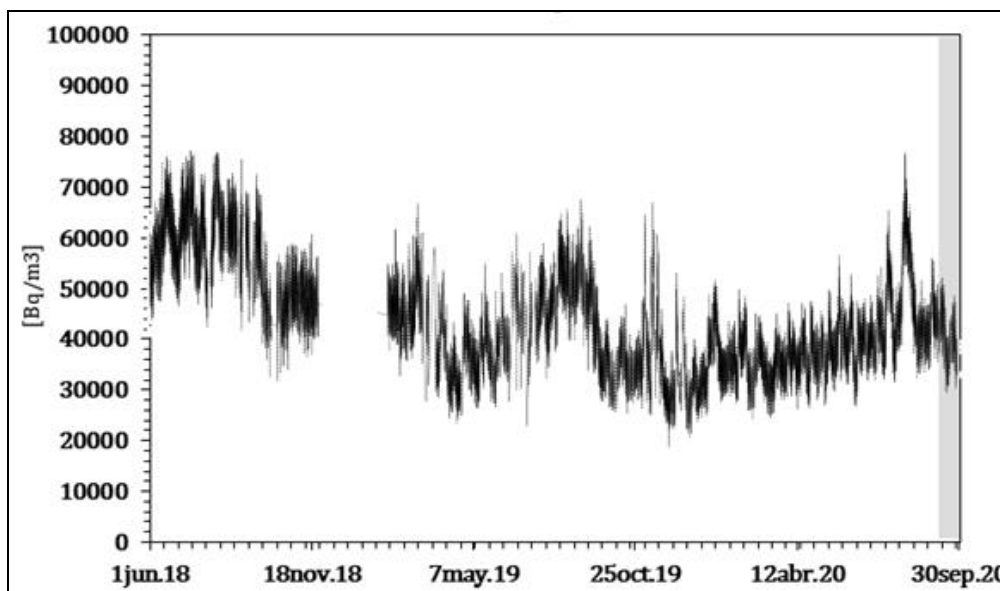


Figura 24. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (junio 2018 – septiembre 2020)

Se puede observar que los valores registrados del gas radón en septiembre de 2020 (área sombreada) para la estación Lirios, presenta un comportamiento periódico similar a meses anteriores. La estación Parques, continúa con la estabilidad alcanzada desde septiembre de 2019.

Lo anterior mencionado no se relaciona con cambios en la actividad del volcán Galeras.

Tabla 9. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras septiembre 2020

Valor	Lirios [Bq/m ³]
Mínimo	8484
Promedio	24763
Máximo	51369

Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras septiembre 2020

Valor	Parques [Bq/m ³]
Mínimo	26207
Promedio	41540
Máximo	58808

1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

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

1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

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

1.6 Actividad Superficial

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

Durante los días 1, 2, 4, 5, 9, 11, 17, 18, 20, 21, 25, 26, 27 y 28 del mes de septiembre del 2020, 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 25 a 32 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.

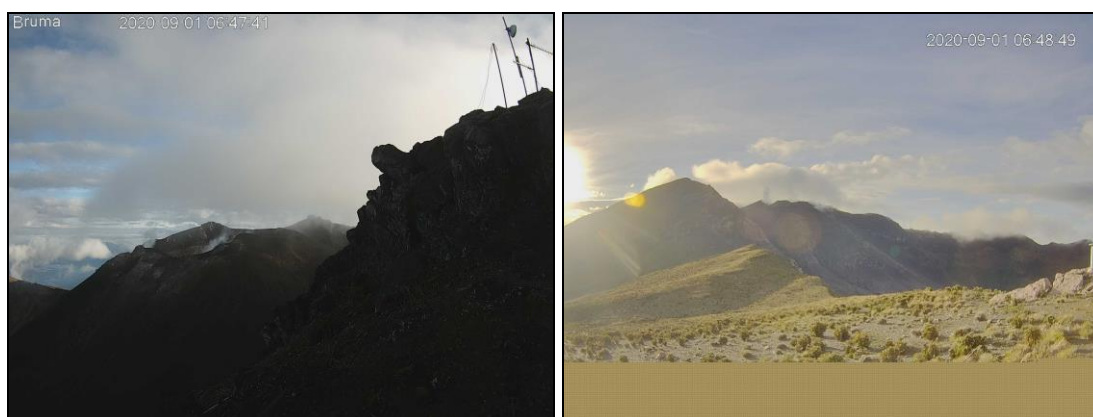


Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 1 de septiembre de 2020 a las 6:11 a.m., (izquierda) y desde Barranco a las 6:48 a.m., (derecha)

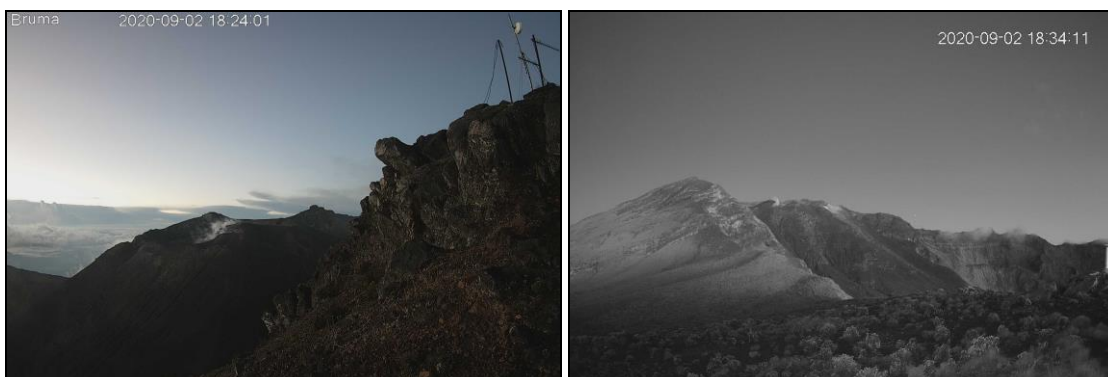


Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 2 de septiembre de 2020 a las 6:24 p.m., (izquierda) y desde Barranco a las 6:34 p.m., (derecha)



Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 4 de septiembre de 2020 a las 6:45 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 5 de septiembre de 2020 a las 1:25 p.m., (derecha)

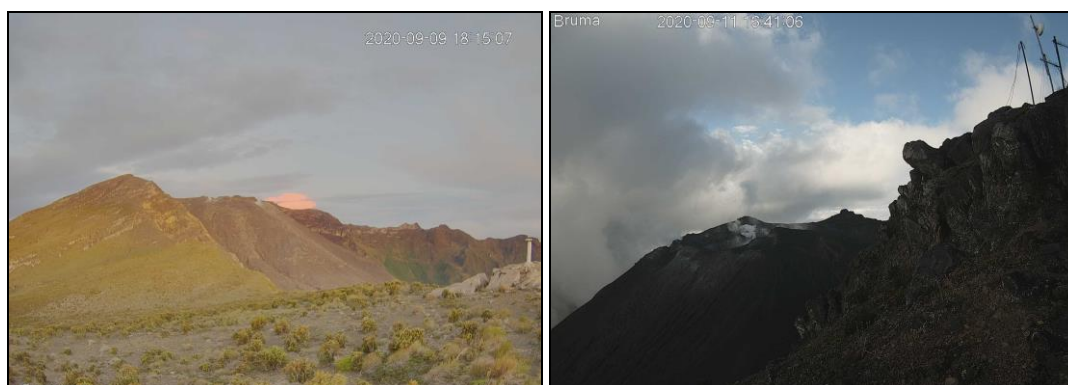


Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Barranco el día 9 de septiembre de 2020 a las 6:15 p.m., (izquierda) y desde Bruma el día 11 de septiembre de 2020 a las 4:41 p.m., (derecha)

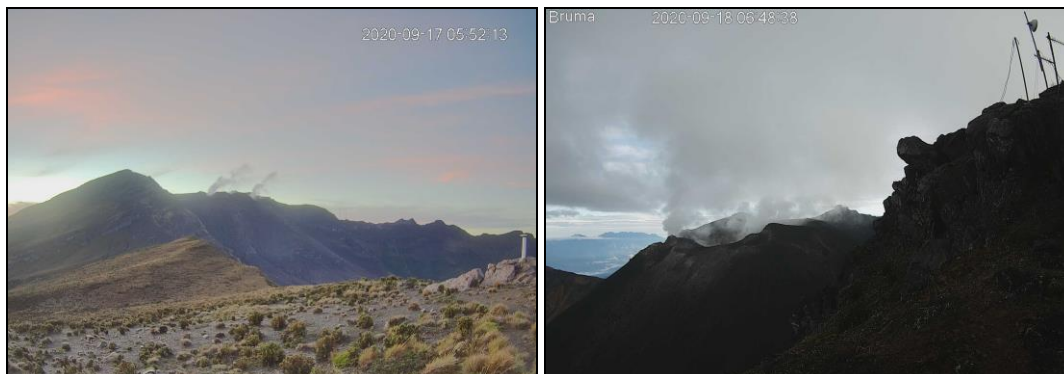


Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector Barranco el día 17 de septiembre de 2020 a las 5:52 a.m., (izquierda) y desde Bruma el día 18 de septiembre de 2020 a las 6:48 a.m., (derecha)

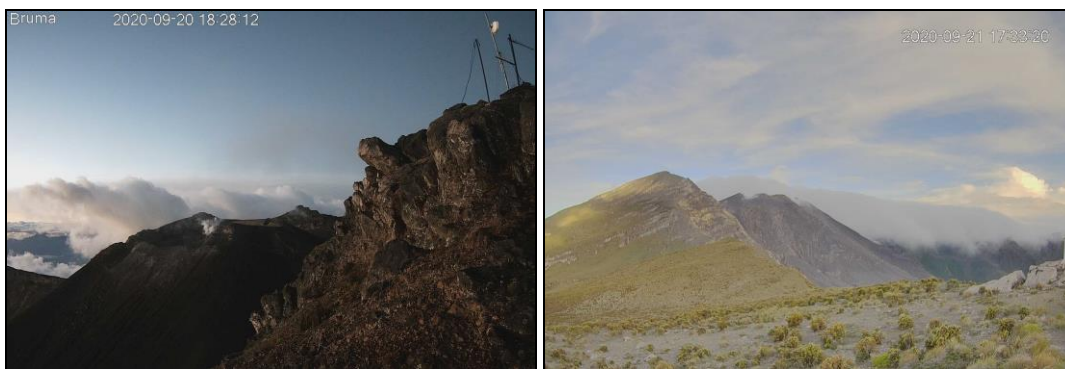


Figura 30. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 20 de septiembre de 2020 a las 6:28 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 21 de septiembre de 2020 a las 5:33 p.m., (derecha)



Figura 31. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector de Bruma el día 25 de septiembre de 2020 a las 2:32 p.m., (izquierda) y desde Barranco el día 26 de septiembre de 2020 a las 7:22 a.m., (derecha)



Figura 32. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en el sector Barranco el día 27 de septiembre de 2020 a las 5:49 p.m., (izquierda) y desde Bruma el día 28 de septiembre de 2020 a las 5:50 p.m., (derecha)

1.7 Conclusiones

- En septiembre de 2020 en el volcán Galeras se registró un descenso en la ocurrencia y un incremento en la energía de los sismos en comparación con el mes anterior. El mayor aporte tanto en ocurrencia como en energía provino de la sismicidad de tipo VT, asociada con fractura de roca al interior del volcán. Para éste periodo no se tuvo reportes de sismos sentidos por parte de los habitantes que se encuentran en área de influencia del volcán.
- El radón emitido y registrado en septiembre de 2020 en comparación con meses anteriores presenta un comportamiento similar, encontrándose dentro de la línea base registrada.

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

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2020

2.1 Red de Vigilancia

En septiembre de 2020 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 33, Tabla 11).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 33).
- Tres cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal, otra en el sitio de la estación Punta Vieja y en el sector del Boliche (Figura 33).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 34, Tabla 11).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 97 % (Figura 35).

Tabla 11. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2020

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

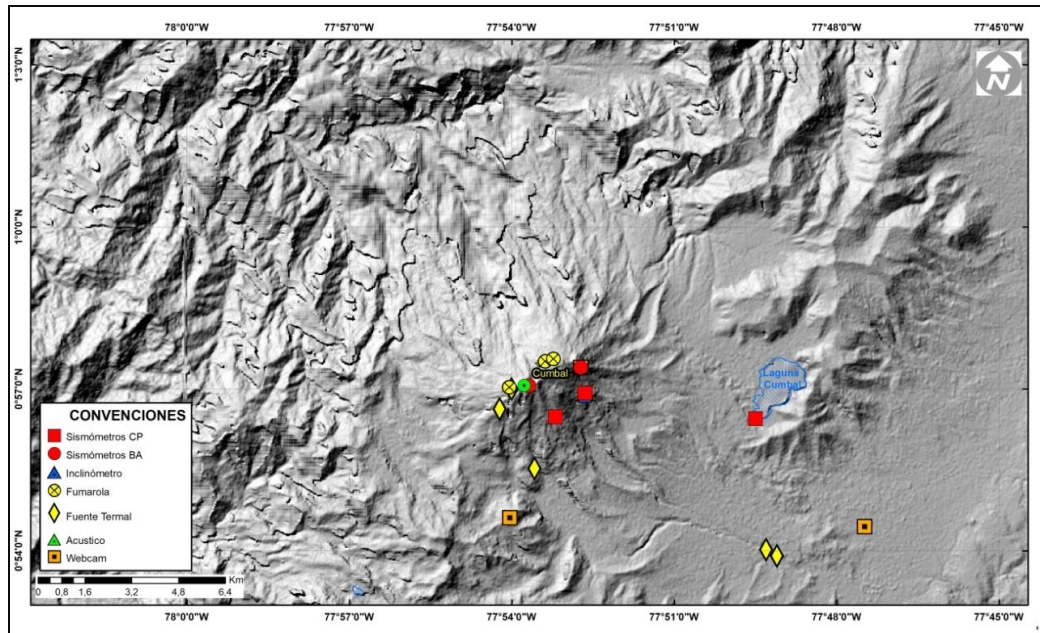


Figura 33. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de septiembre de 2020

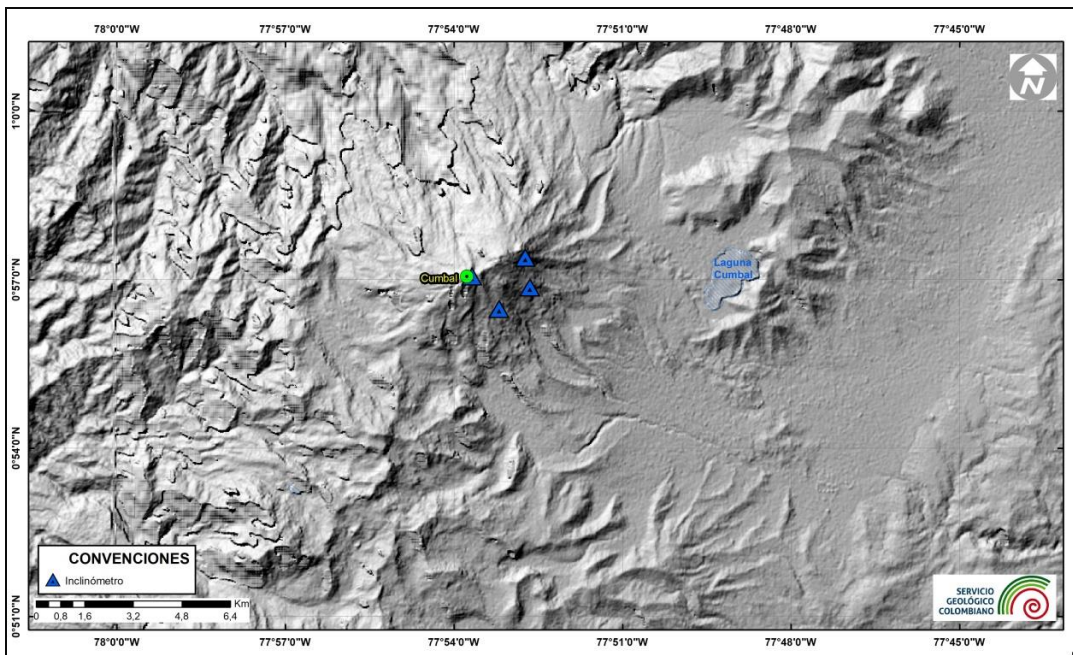


Figura 34. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de septiembre de 2020

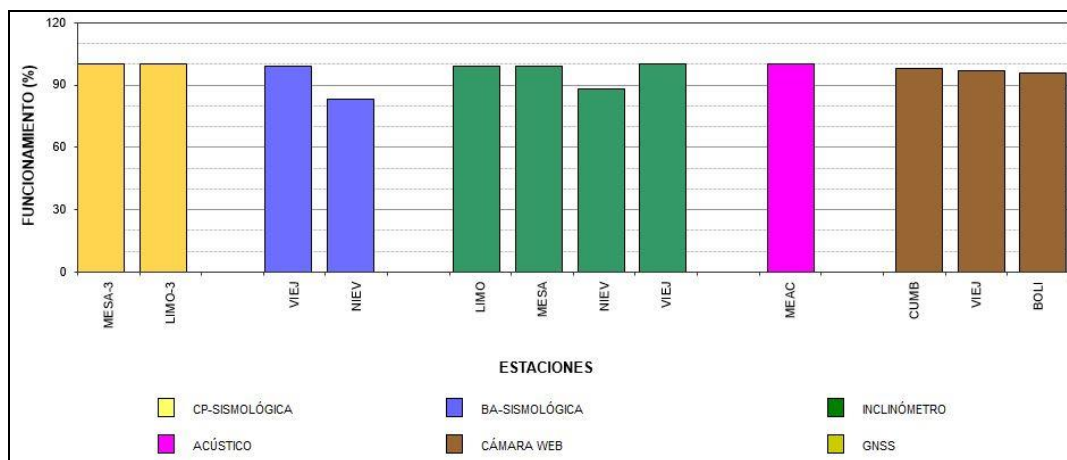


Figura 35. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2020

2.2 Sismología

La sismicidad en septiembre de 2020 en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) mostró un descenso del 40.4% en su ocurrencia pasando de 1068 a 636 eventos en comparación con el mes de agosto. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 427 eventos que representan el 67.1% del total, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) con 71 eventos que representan el 11.2%. Los sismos que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos (HIB) registraron 35 eventos que representan el 5.5% de la ocurrencia sísmica. Se tuvo registro de un episodio tipo tremor o evento de fluidos de fuente permanente (TRE) y se registraron 102 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que representan el 6.3% del total (Tabla 12, Figura 36 y 37).

Tabla 12. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC entre junio y septiembre de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VC	TOTAL
01-jun-20 a 30-jun-20	1108	226	0	120	136	1590
01-jul-20 a 31-jul-20	1056	204	1	86	91	1438
01-ago-20 a 31-ago-20	730	209	1	54	74	1068
01-sep-20 a 30-sep-20	427	71	1	35	102	636

Con respecto a los valores registrados en el mes anterior, los sismos de tipo VT disminuyeron un 41.5% pasando de 730 a 427 eventos, los LP disminuyeron un 66% pasando de 209 a 71 eventos, los episodios tipo HIB disminuyeron en un 35.2%, pasando de 54 a 35 eventos y los eventos VC aumentaron un 37.8%, pasando de 74 a 102 (Tabla 12, Figura 36).

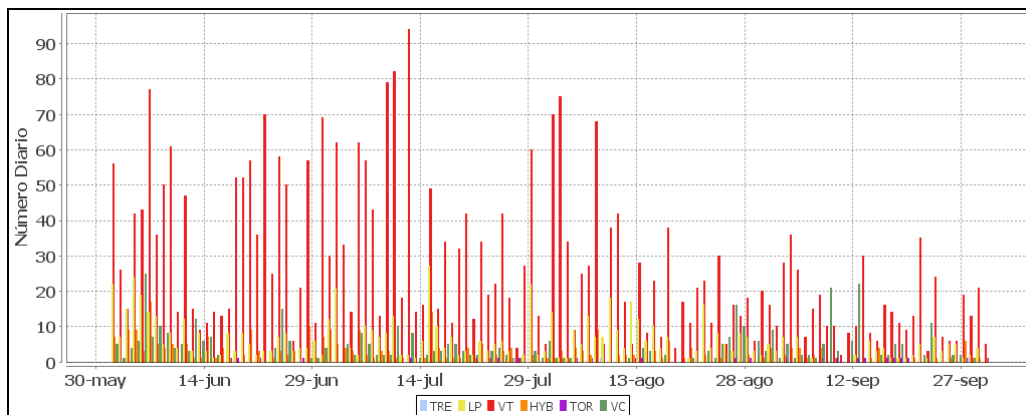


Figura 36. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, entre junio y septiembre de 2020

Se registraron 13 eventos tipo Tornillo (TOR), caracterizados por tener un decaimiento lento de su coda y espectro en frecuencia con uno o varios picos dominantes. En la Figura 37 se muestran el sismograma, espectrograma y espectro en frecuencia del evento TOR registrado el 7 de septiembre de 2020 a las 5:58 a.m. en la componente vertical de la estación Limones. Este evento presentó un pico dominante en la frecuencia de 1.4186 Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

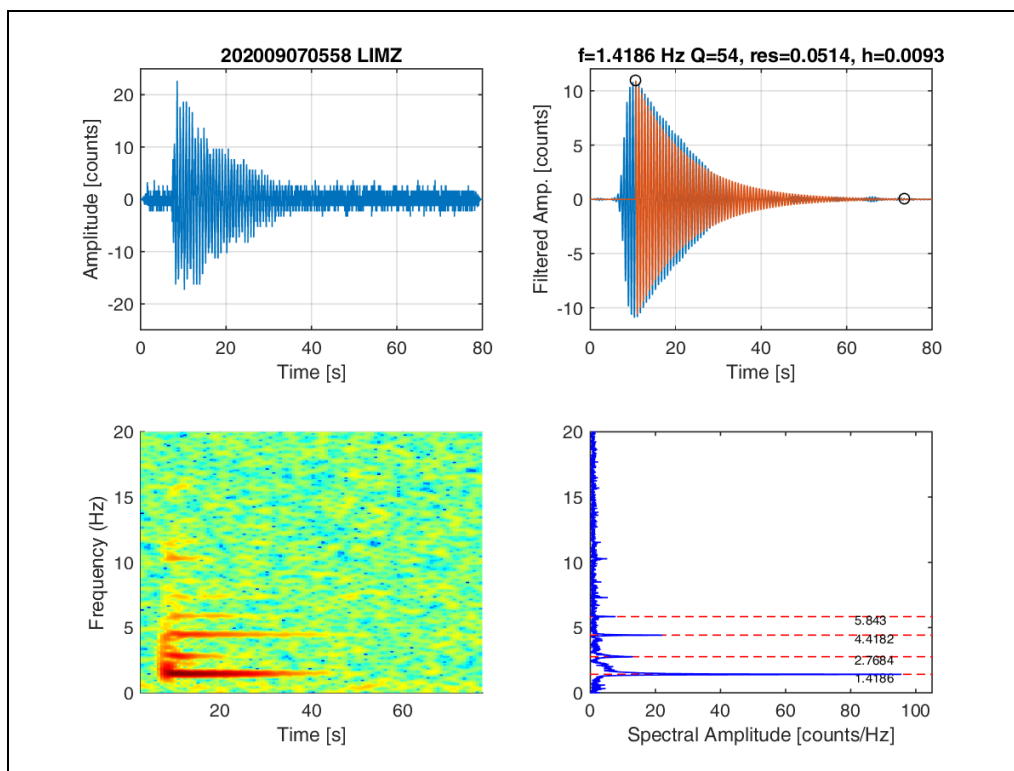


Figura 37. Sismograma, espectrograma y espectros en frecuencia del evento tipo TOR registrado el 7 de septiembre a las 5:58 a.m. en la componente vertical de la estación Limones del CVC

La energía sísmica liberada en septiembre de 2020 se incrementó en dos órdenes de magnitud en comparación con la registrada en agosto, pasando de 1.33×10^9 ergios a 4.18×10^{11} ergios. El mayor predominio energético provino de los eventos de tipo VT con el 99.98% de la energía sísmica del mes. Los sismos de tipo LP disminuyeron su energía en un 61.7%, pasando de 5.89×10^7 ergios a 2.26×10^7 ergios. El pico energético del mes se registró el 23 de septiembre con 4.18×10^{11} ergios (Tabla 13, Figura 38).

Tabla 13. Energía de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre junio y septiembre de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	TOTAL
01-jun-20 a 30-jun-20	1,16E+08	2,33E+07	0,00E+00	1,64E+07	1,29E+07	1,69E+08
01-jul-20 a 31-jul-20	2,09E+08	3,26E+07	1,13E+06	3,74E+07	7,12E+06	2,88E+08
01-ago-20 a 31-ago-20	1,24E+09	5,89E+07	4,09E+05	2,51E+07	3,53E+06	1,33E+09
01-sep-20 a 30-sep-20	4,18E+11	2,26E+07	3,67E+06	4,22E+06	1,84E+07	4,18E+11

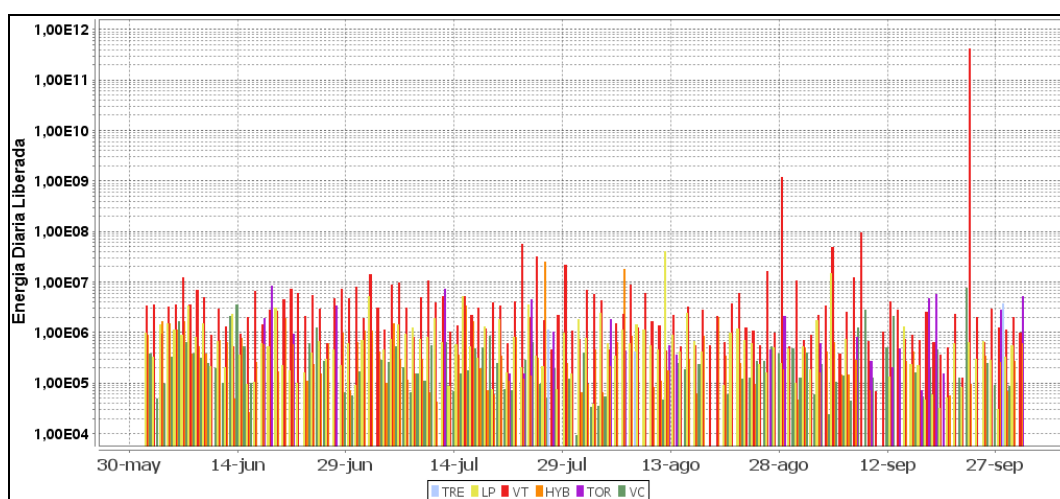


Figura 38. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Cumbal entre junio y septiembre de 2020. La escala del eje de la energía se encuentra en escala logarítmica

En este periodo fue posible localizar 42 sismos, la mayoría de ellos se ubicaron hacia el sector sur y suroriente del Complejo volcánico a profundidades someras (menores a 4 km) y magnitudes menores a 1.9 en la escala de Richter; otros eventos se ubicaron hacia el sector sur del complejo volcánico (a distancias hasta de 16 km) y profundidades hasta de 16 km respecto a la cima del CVC (4780 msnm) como se muestra en la Figura 39.

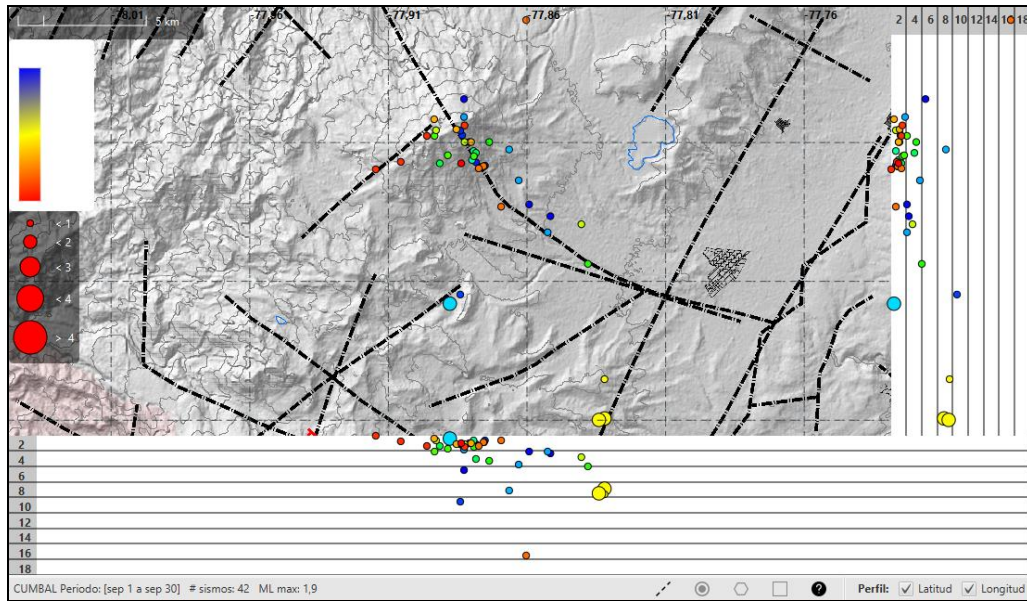


Figura 39. Localizaciones de VT registrados en septiembre de 2020 en el CVC

2.3 Deformación

Las componentes de inclinación de las estaciones Punta Vieja, Limones y La Nieve, muestran tendencias estables, con variaciones en los registros que en algunos casos alcanzan más de $20 \mu\text{rad}$, que muy probablemente están asociadas con los cambios en la temperatura imperante en la zona (Figuras 40, 41 y 42).

En la Figura 43 se muestra el registro de la estación La Mesa, se observa cierta estabilidad en la componente Este desde abril de 2020.

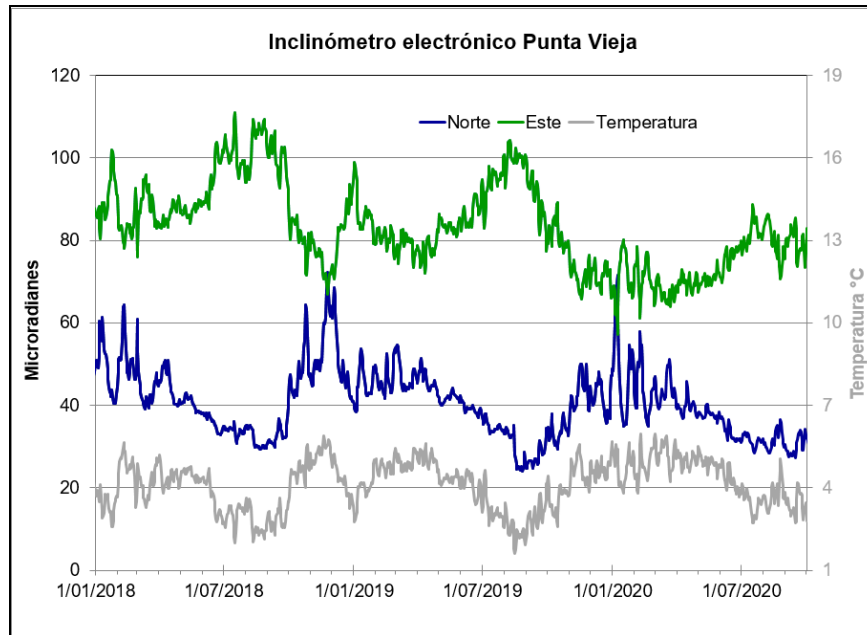


Figura 40. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

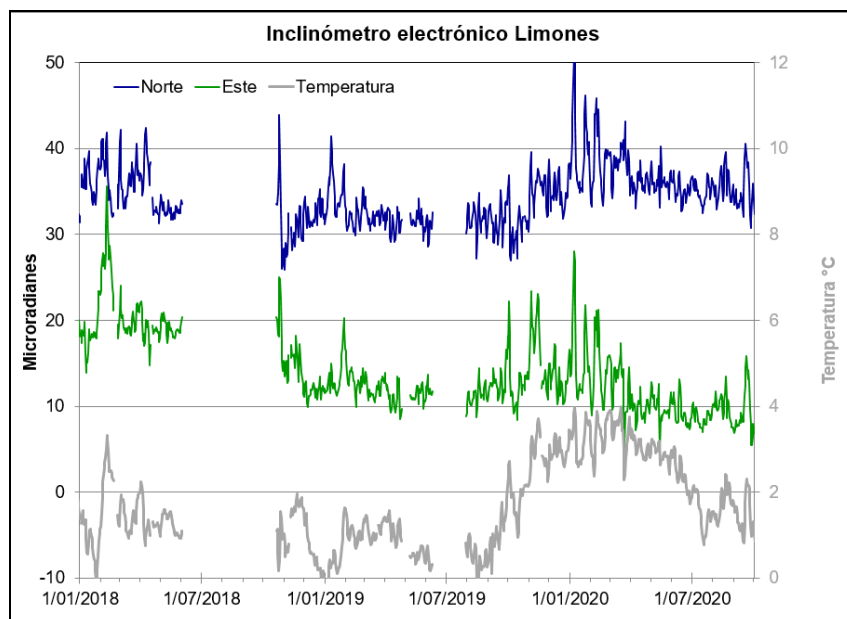


Figura 41. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

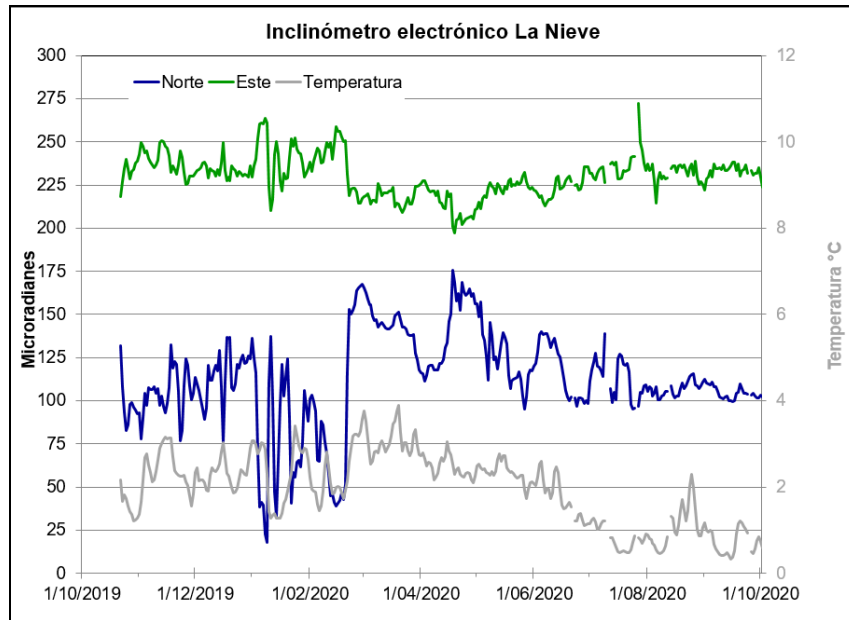


Figura 42. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 22 de octubre de 2019 y el 30 de septiembre de 2020

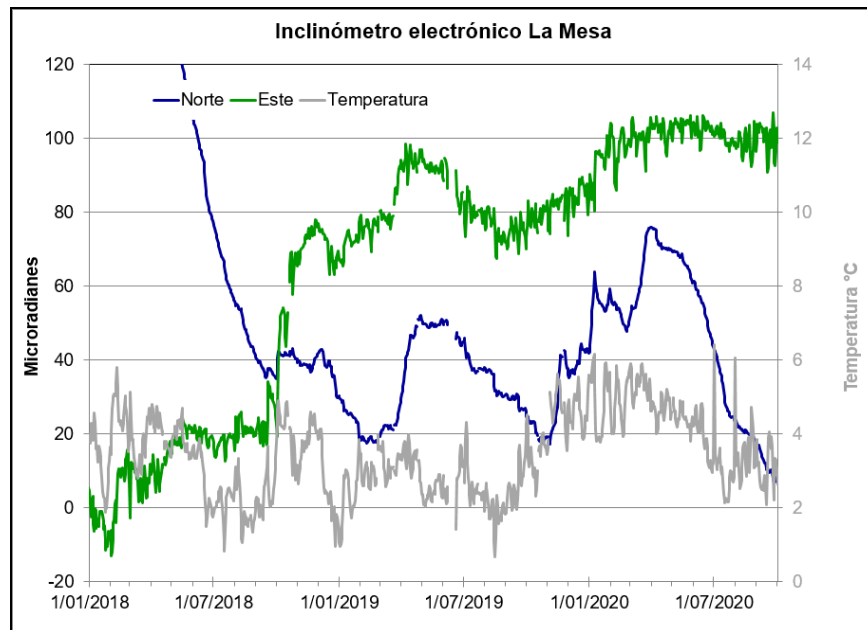


Figura 43. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta actividad.

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

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

2.6 Actividad Superficial

Los días 2, 7, 10, 12, 16, 17, 18, 27 y 28 del mes de septiembre de 2020 con las cámaras web de Cumbal y del Boliche se observó emisiones de gases desde el campo fumarólico El Verde con pequeñas columnas de gas de color blanco, con dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 44 a 48 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.

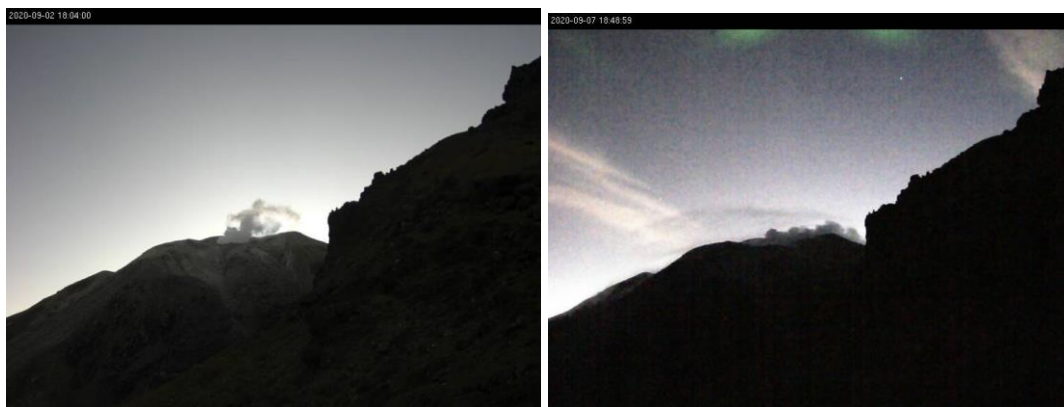


Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 2 de septiembre de 2020 a las 6:04 p.m., (izquierda) y el día 7 de septiembre de 2020 a las 6:48 p.m., (derecha)

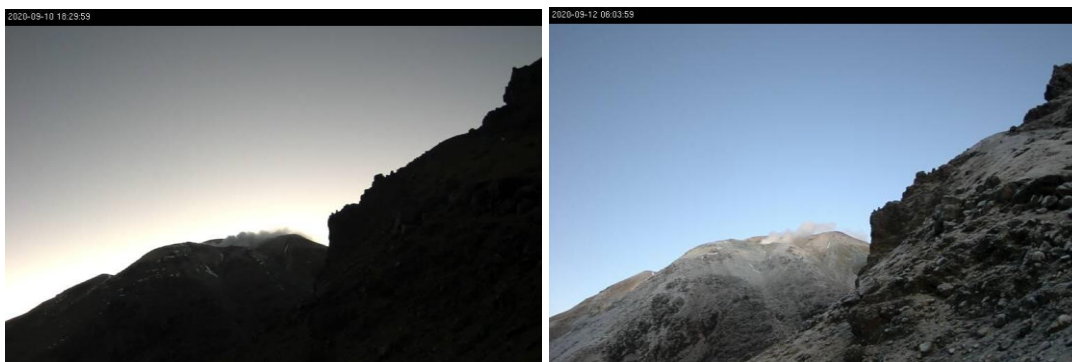


Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 10 de septiembre de 2020 a las 6:29 p.m., (izquierda) y el día 12 de septiembre de 2020 a las 6:03 a.m., (derecha)

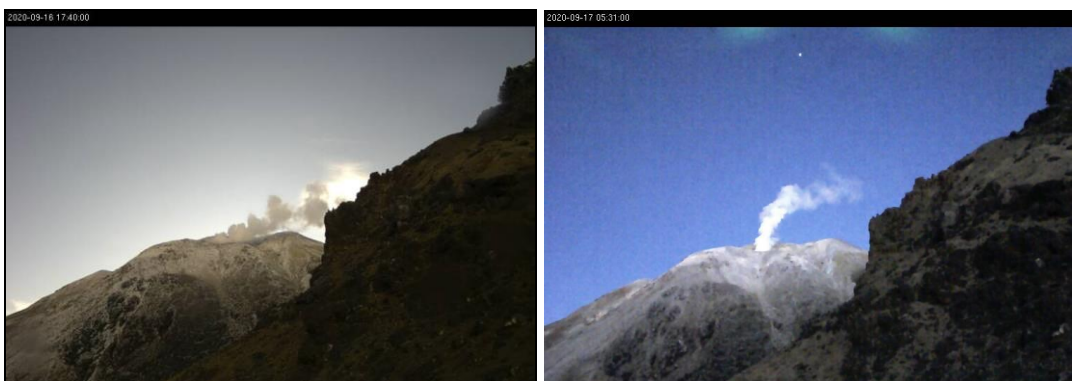


Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 16 de septiembre de 2020 a las 5:40 p.m., (izquierda) y el día 17 de septiembre de 2020 a las 5:31 a.m., (derecha)



Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche el día 17 de septiembre de 2020 a las 7:55 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 18 de septiembre de 2020 a las 6:22 a.m., (derecha)

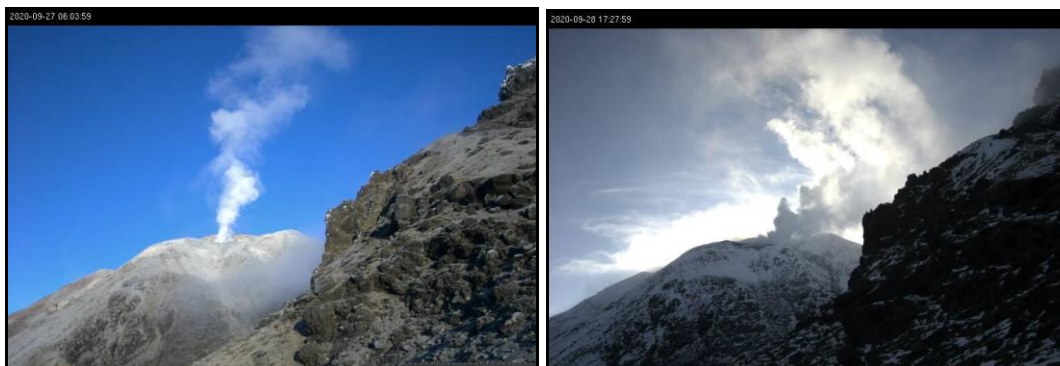


Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por las cámaras ubicadas en el sector del Punta Vieja el día 27 de septiembre de 2020 a las 6:03 a.m., (izquierda) y el día 28 de septiembre de 2020 a las 5:27 p.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

- En septiembre de 2020, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) la sismicidad registró disminución en su ocurrencia, localizándose principalmente en inmediaciones de los dos conos activos del complejo, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter Mundo Nuevo al suroccidente, en profundidades menores de 4 km, con ML máxima de 1.9 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 septiembre de 2020 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 - SEPTIEMBRE DE 2020

3.1 Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroeste del país, en el departamento de Nariño, en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15.5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal y el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 49).

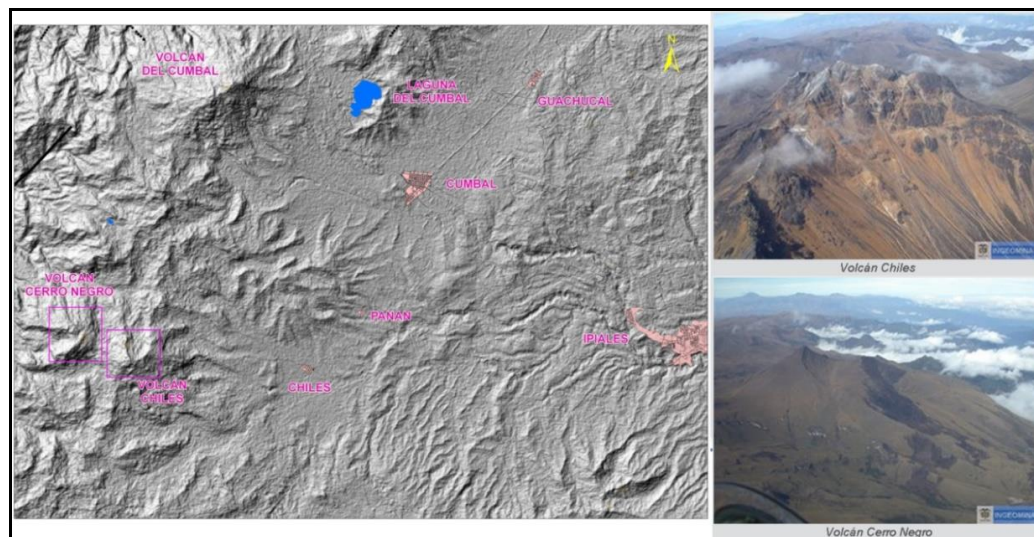


Figura 49. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 50, Tabla 14):

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

Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 50, Tabla 15).

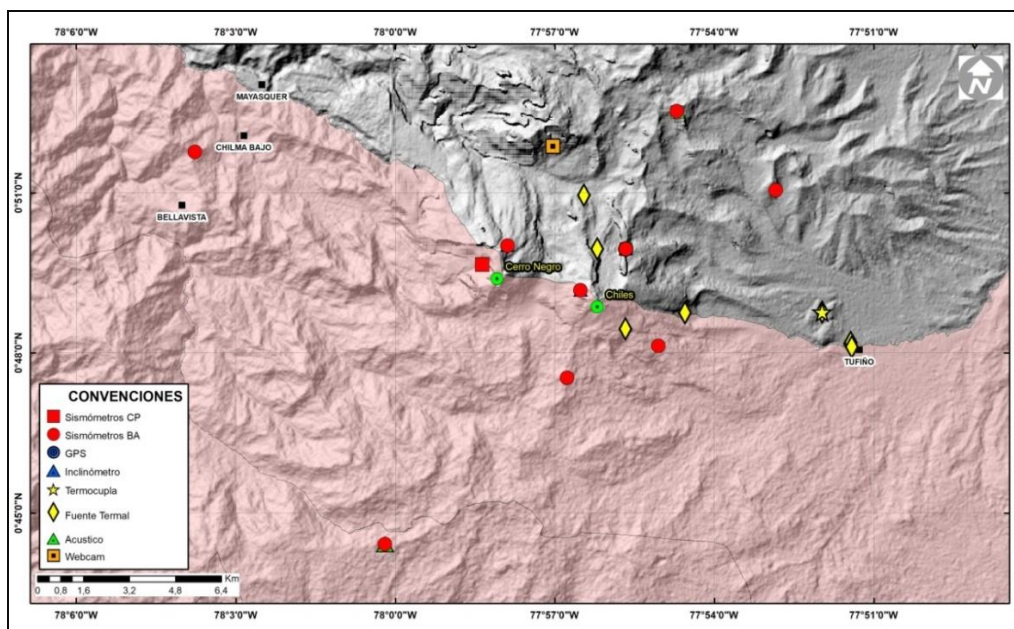







Figura 50. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de septiembre de 2020

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

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

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

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

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 89% (Figura 51).

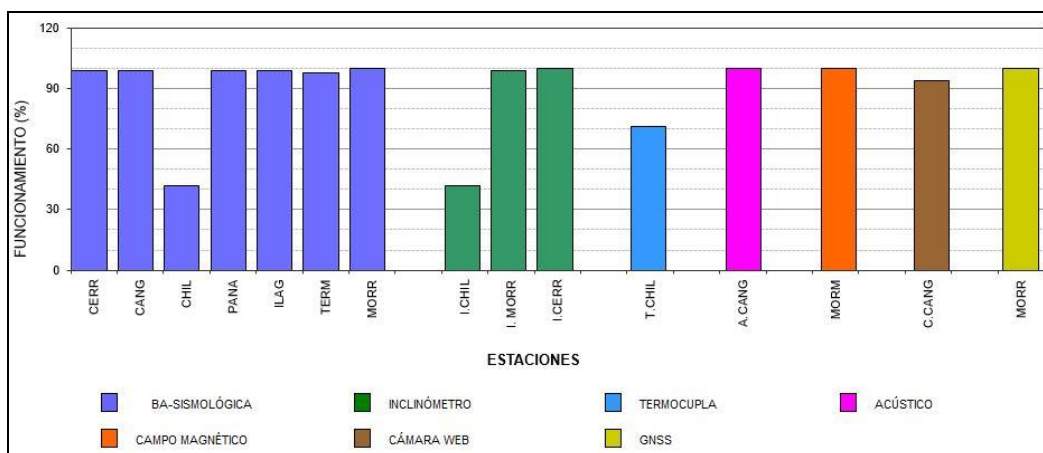


Figura 51. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en septiembre de 2020

3.3 Sismología

La ocurrencia sísmica en región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en septiembre de 2020 registró un incremento del 44.8%, pasando de 3852 a 5576 eventos, con respecto al mes de agosto. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 5556 eventos, que representan el 99.6% del total; se registraron 19 eventos de tipo LP, asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos, con el 3.3% del total y se tuvo registro de 2 eventos tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de catalogar en alguno de los tipos mencionados) y que corresponden al 0.1% del total de eventos registrados. No se tuvo registro de sismos tipo HYB, ni VLF (Tabla 16, Figura 52). Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 7, 18 y 19 de septiembre con 349, 474 y 406 eventos VT, respectivamente. La sismicidad VT incrementó su ocurrencia en un 44.8%, pasando de 3838 a 5556 eventos, los LP aumentaron un 90%, pasando de 10 a 19 eventos (Figura 52).

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	VLF	HYB	VC	TOTAL
01-jun-20 a 30-jun-20	863	40	6	10	3	922
01-jul-20 a 31-jul-20	746	26	5	2	2	781
01-ago-20 a 31-ago-20	3838	10	0	1	3	3852
01-sep-20 a 30-sep-20	5556	19	0	0	1	5576

La energía sísmica liberada en septiembre de 2020 descendió un 74%, pasando de 1.40×10^{16} ergios a 3.64×10^{15} ergios, en comparación con lo registrado en agosto. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 99.98% de la energía sísmica liberada en el mes. Los sismos de tipo LP aumentaron su energía en 2.4 veces pasando de 1.07×10^{11} ergios a 2.58×10^{11} ergios. Los picos de energía se presentaron en los días 8, 10 y 30 de septiembre, con 2.67×10^{14} ergios, 4.53×10^{14} ergios y 1.35×10^{15} ergios, respectivamente (Tabla 17, Figura 53).

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	VLF	HYB	VC	TOTAL
01-jun-20 a 30-jun-20	1,04E+16	8,27E+12	2,70E+11	1,70E+12	9,78E+10	1,04E+16
01-jul-20 a 31-jul-20	1,06E+14	3,80E+13	4,45E+10	3,82E+11	6,27E+10	1,45E+14
01-ago-20 a 31-ago-20	1,40E+16	1,07E+11	0,00E+00	1,07E+09	3,55E+10	1,40E+16
01-sep-20 a 30-sep-20	3,64E+15	2,58E+11	0,00E+00	0,00E+00	2,77E+08	3,64E+15

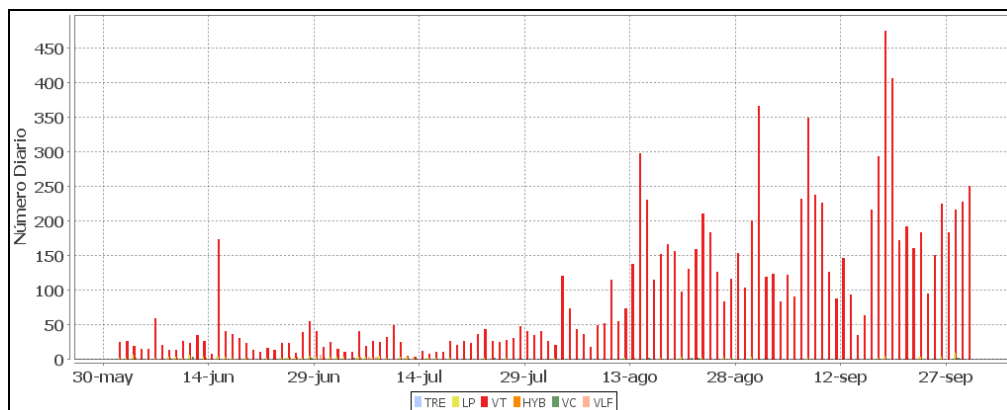


Figura 52. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

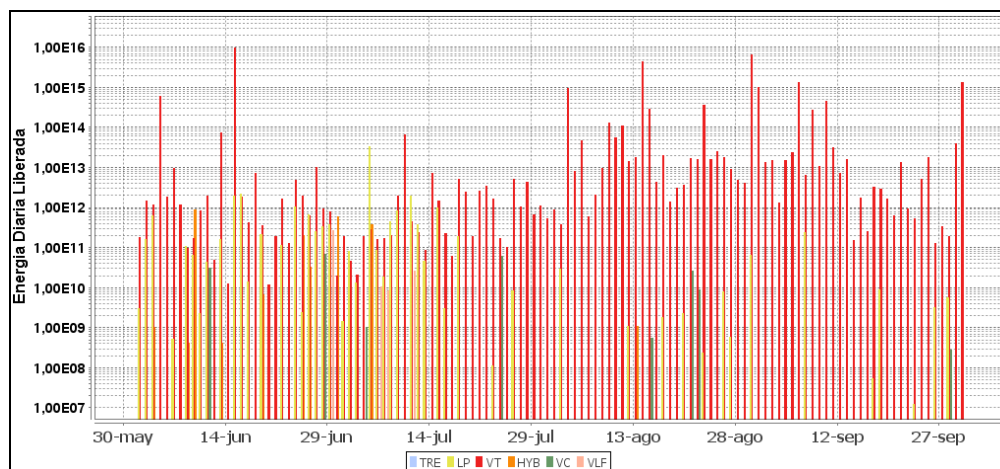


Figura 53. Energía diaria de sismos registrados entre junio y septiembre de 2020 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar dos fuentes sismogénicas bien definidas tanto al sur, como al sur-orienté. Se localizaron 1315 sismos, en su gran mayoría ubicados al sur a distancias inferiores a los 4 km respecto al volcán Chiles y profundidades menores de 11 km respecto a la cima. La magnitud local máxima registrada fue de 3.7 en la escala de Richter (Figura 54). Se resalta el sismo registrado el 30 de septiembre a las 10:51 p.m. con magnitud de 3.7, el cual fue reportado como sentido por habitantes del municipio de Cumbal en su cabecera municipal y en los Resguardos Indígenas de Chiles y Panán, al igual que en Tufiño, población vecina del lado ecuatoriano. Como se ha manifestado en los diferentes boletines emitidos por el SGC, se reitera que este proceso no ha terminado, tiene fluctuaciones y puede seguir registrando sismos con niveles energéticos importantes.

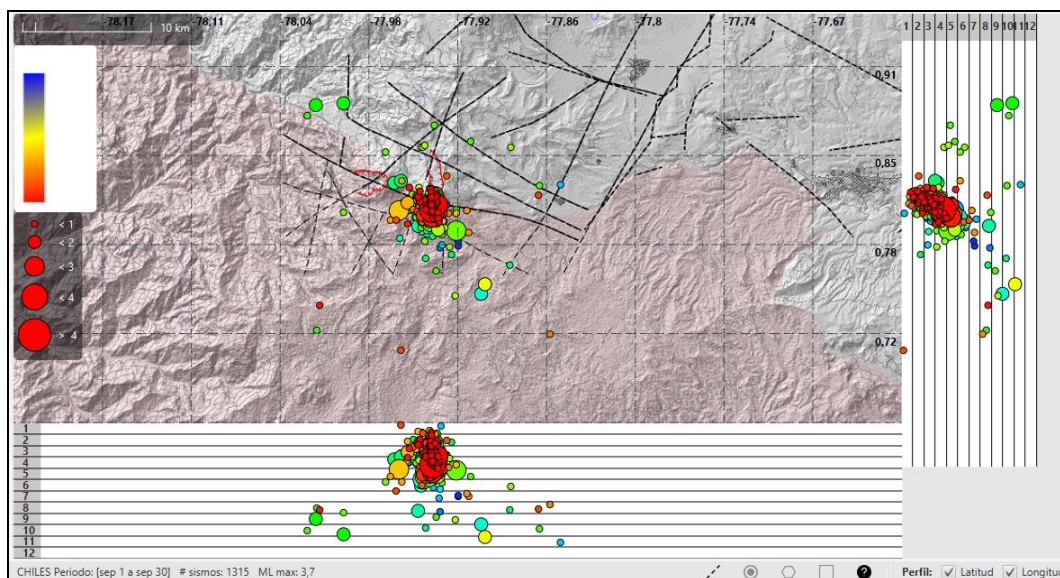


Figura 54. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en septiembre de 2020

3.4 Deformación

3.4.1 Inclínometría Electrónica

Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, se distinguen tres periodos: el primero entre mayo 26 de 2016 y el 10 de octubre de 2018, el segundo, entre octubre 11 de 2018 y mayo 27 de 2019 y el tercero entre mayo 28 de 2019 y mayo 15 de 2020 (Figuras 55 y 56). En el inclinómetro Chiles continua la tendencia ascendente en la componente Este, acumulando cerca de 2780 μrad desde mayo de 2019, estabilidad en la Norte (Figura 55). De igual forma continua el comportamiento ascendente en las componentes de inclinación de la estación Cerro Negro, la Este registra 300 μrad y la Norte, cerca de 180 μrad , desde mayo de 2019 (Figura 56).

En el inclinómetro El Morro, pese a las fluctuaciones en el registro, se evidencian dos tendencias principalmente en la componente Este, la primera, un descenso entre julio de 2019 y marzo de 2020 registrando alrededor de 30 μrad , y la segunda, entre marzo y octubre de 2020 registrando 44 μrad en ascenso (Figura 57).

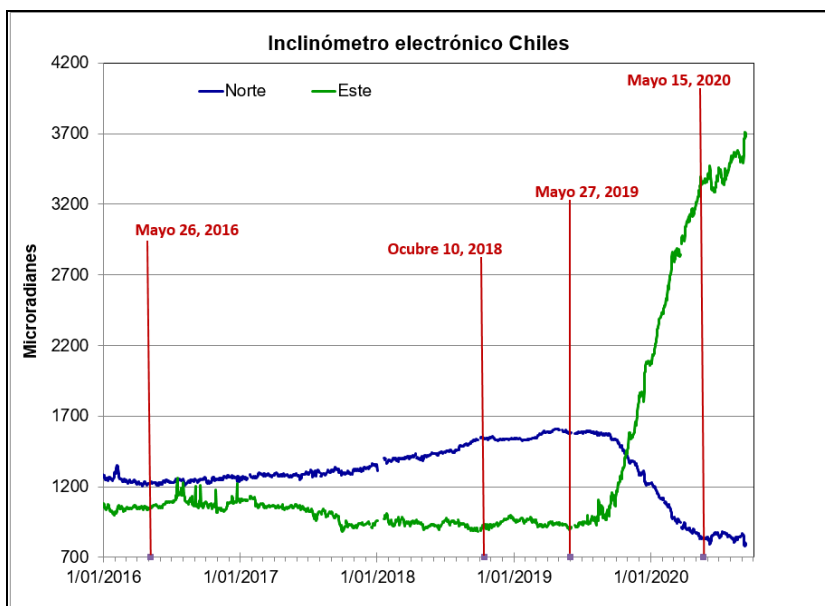


Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 11 de septiembre de 2020. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación

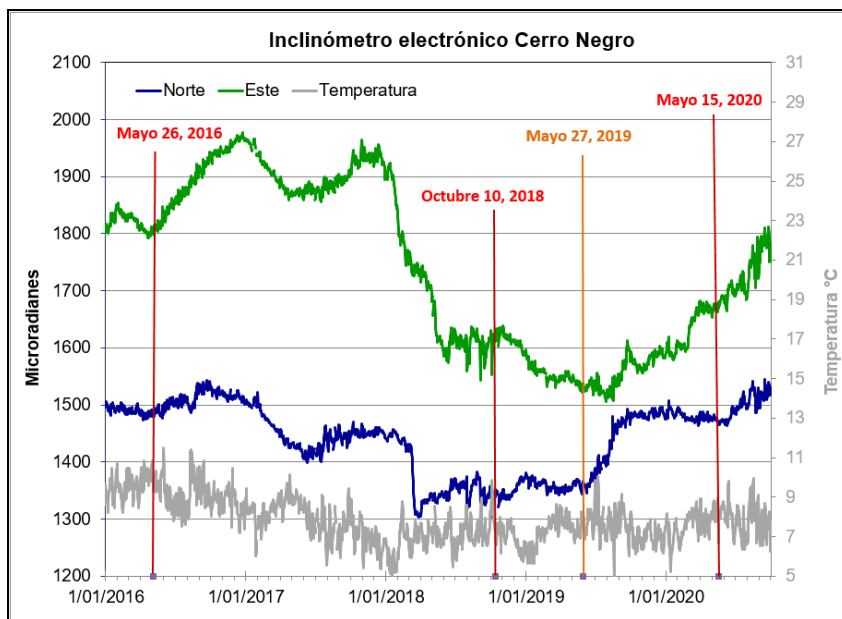


Figura 56. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de septiembre de 2020. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación

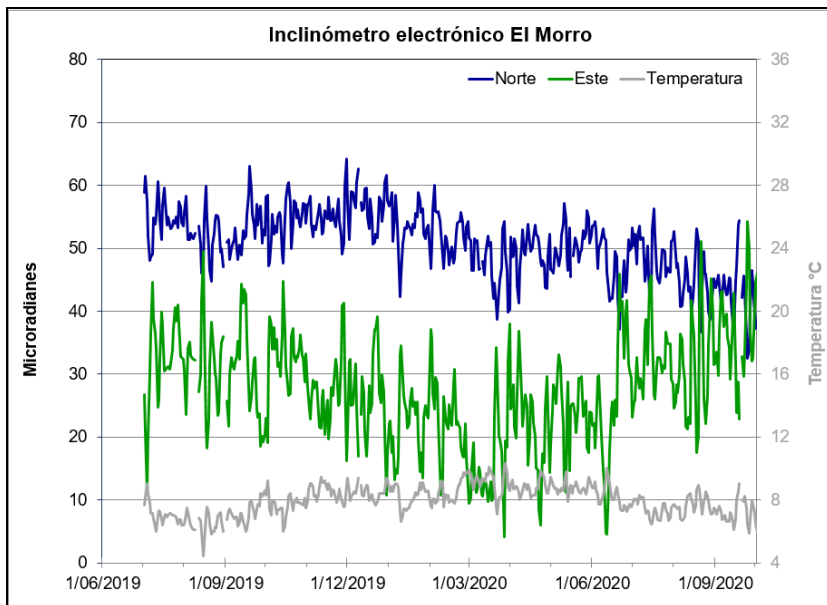


Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 30 de septiembre de 2020

En la Figura 58, se muestra la orientación del vector resultante calculado teniendo en cuenta las tendencias en los inclinómetros Morro y Cerro Negro.

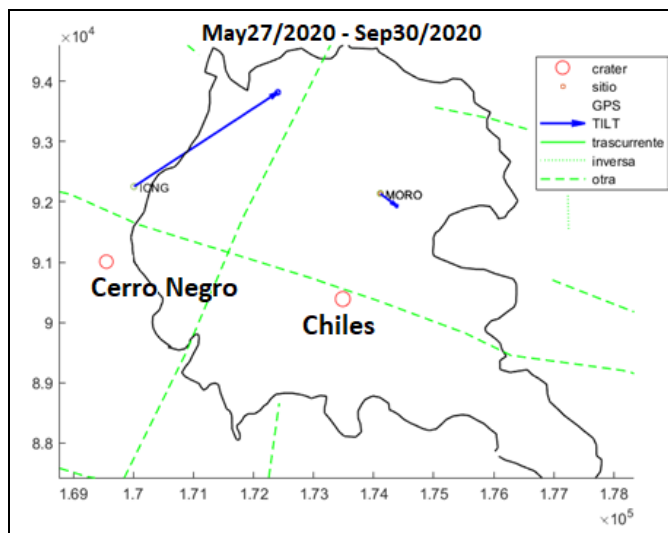


Figura 58. Orientación del vector resultante para los inclinómetros electrónicos de Morro y Cerro Negro, los círculos de color rojo, indican el punto más alto de estos volcanes y ejes coordenadas en UTM

3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.7, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso. Desde su instalación muestra una tendencia ascendente en la dirección Norte y en la componente Vertical, con cambios de unos 15 mm y 22 mm, respectivamente. La dirección Este muestra una tendencia descendente de unos 6 mm (Figura 59).

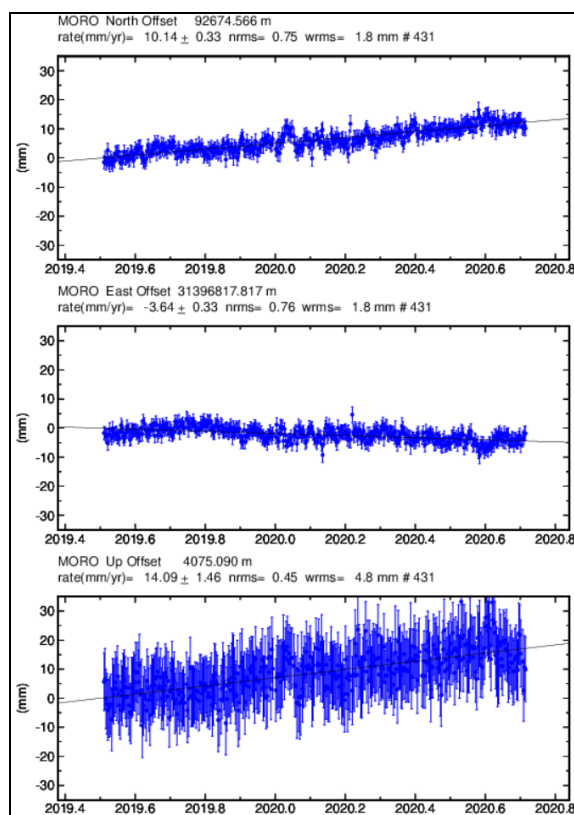


Figura 59. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262)

Del lado ecuatoriano (IGEPN) para el monitoreo de estos cambios en superficie se tienen los GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 60, se muestra la serie temporal desde el 1 de enero de 2020 y el 18 de septiembre de 2020 (262), de igual forma se evidencia un ascenso en la dirección Norte y en la componente Vertical.

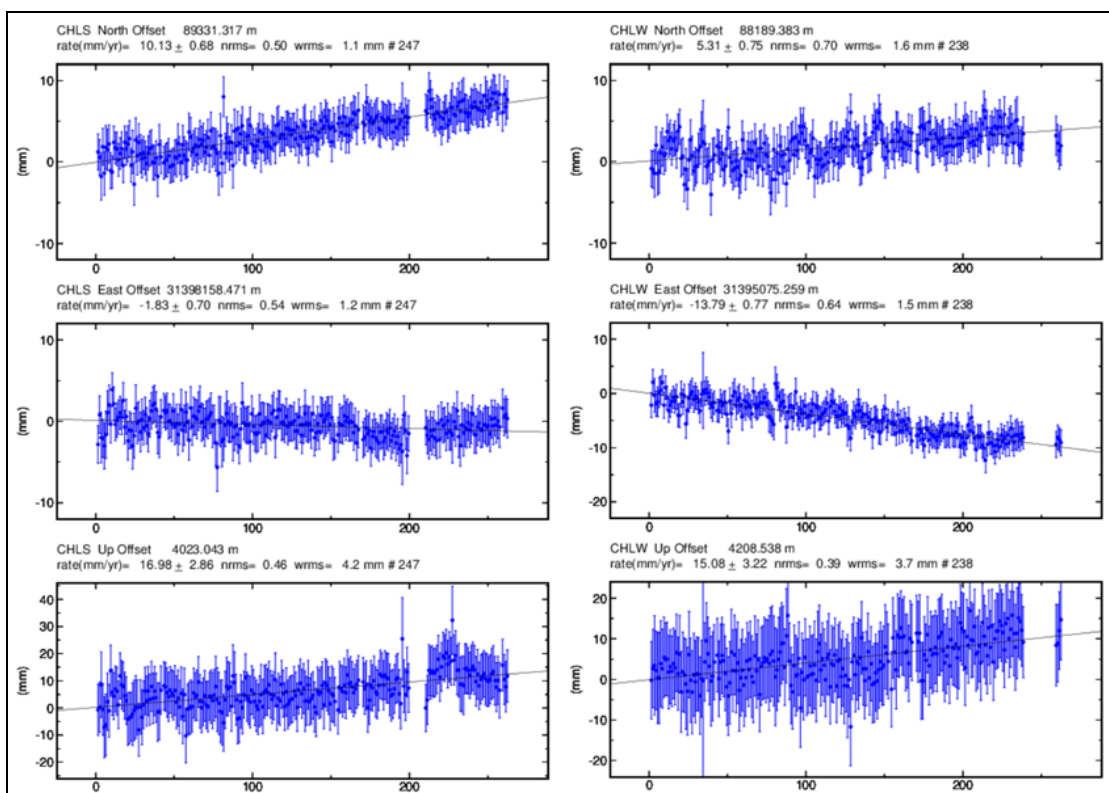


Figura 60. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 18 de septiembre de 2020 (262), estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano - IGEPN

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 61, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS El Moro, CHLS, CHLW y COEC (Cueva de Osos – estación permanente Carchi, Tulcán, Ecuador) y en la Figura 62, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando

orbitas rápidas, se alcanza a observar un leve ascenso en las líneas base, excepto en CHLS – MORO, la cual muestra estabilidad.

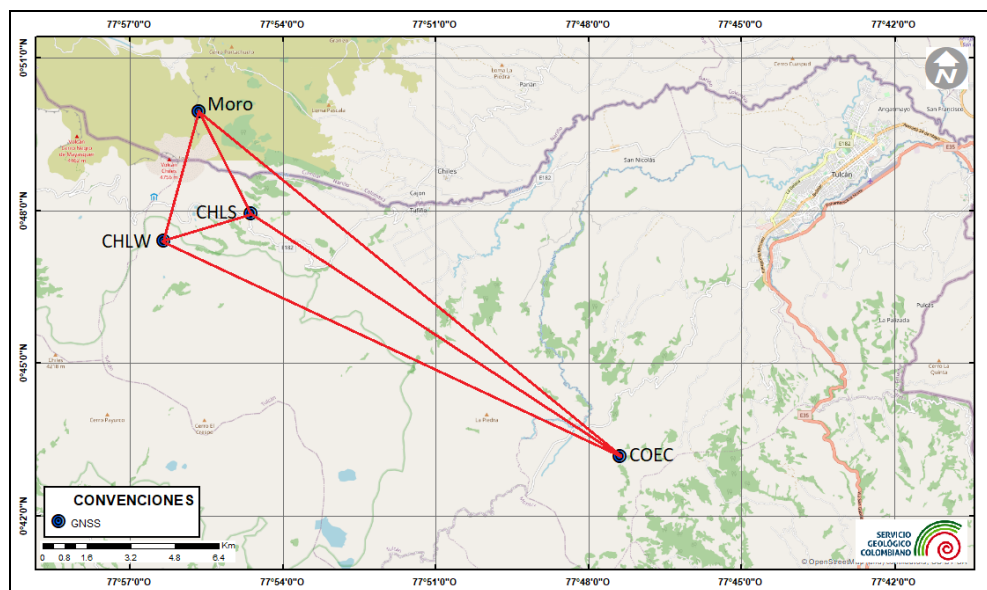


Figura 61. Ubicación de las estaciones GNSS El Moro, CHLS, CHLW (instaladas sobre la superficie de Chiles) y COEC (Permanente, red geodésica del Ecuador), empleadas para determinar las variaciones de la línea base

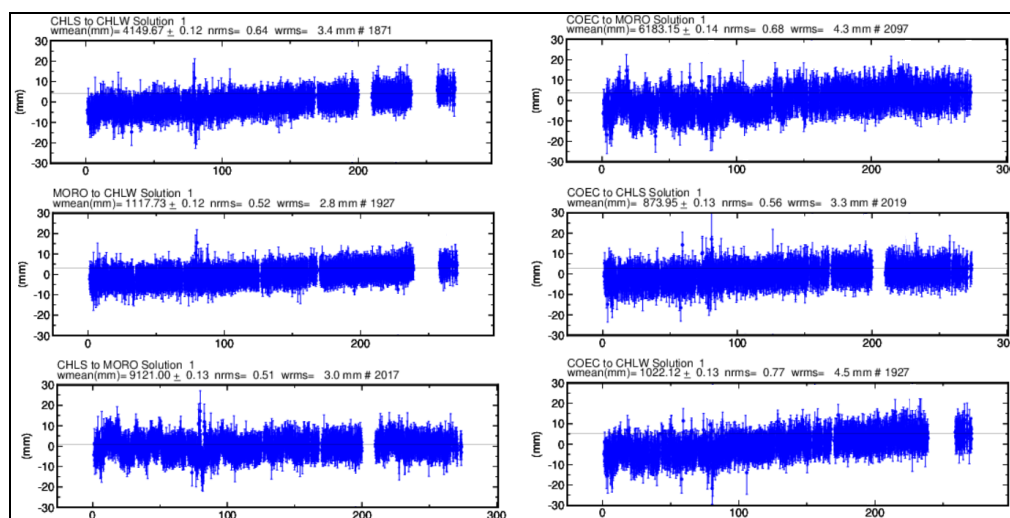


Figura 62. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiqueta para las estaciones que fue determinada

3.5 Electromagnetismo

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

Tomando el periodo entre junio y septiembre de 2020 (Figura 63), el comportamiento del registro magnético de la estación MOR mostró un comportamiento relativamente estable, donde se resaltan principalmente las variaciones seculares día-noche y, saltos abruptos que están muy relacionados con la ocurrencia de tormentas solares magnéticas externas, principalmente aquellas registradas a partir del 23 de septiembre, que para los días 28 y 29 alcanzaron un índice Kp de 6, que afectan la amplitud del registro de la estación magnética y su comportamiento posterior, por algunos días, en las dos estaciones usadas para los análisis de la información; MOR y KOU. Verificando los registros magnéticos, se ha podido identificar que tanto las variaciones seculares como las asociadas con las tormentas eléctricas provienen de fuentes externas a la actividad volcánica, por cuanto se registran tanto en la estación MOR como en la estación KOU, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia, que se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, en la zona del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 53).

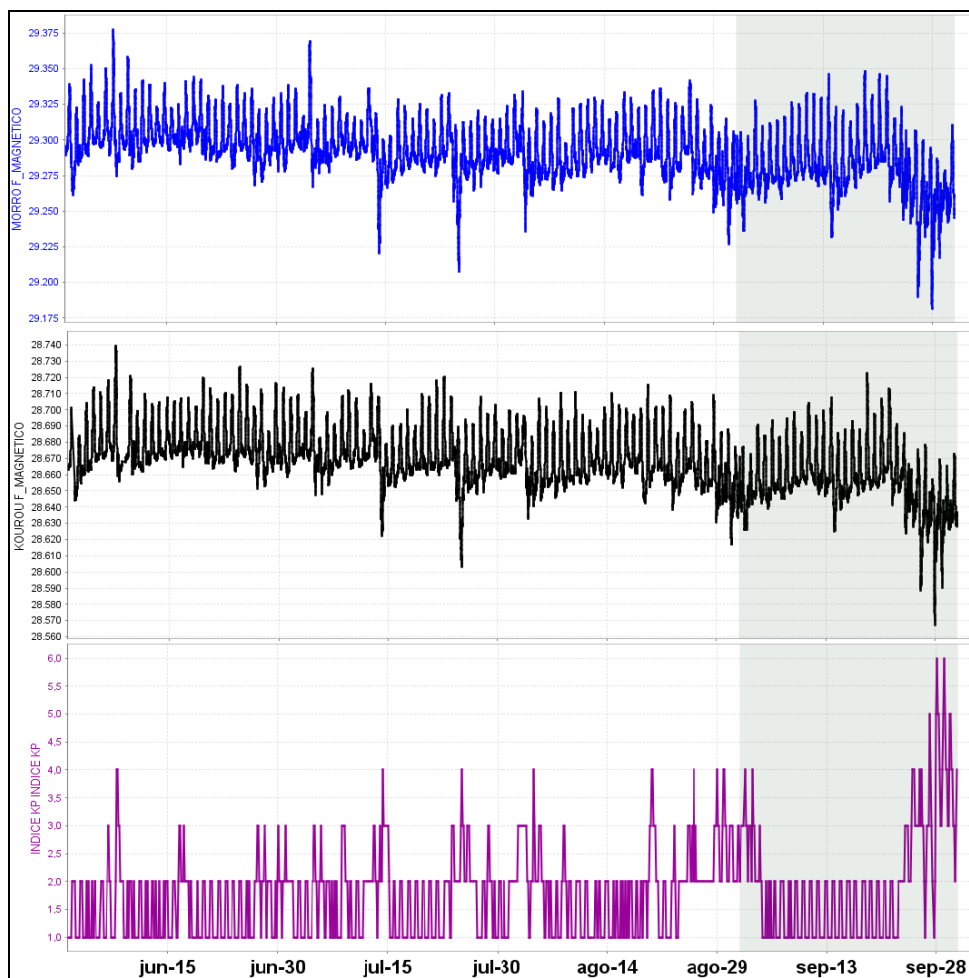


Figura 63. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones MOR, perteneciente a la red de monitoreo magnético del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (azul), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp. Periodo entre junio y septiembre de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)

Para septiembre de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en MOR fue de alrededor de 29.275 nT y de 28.640 nT para KOU (Figura 63); mostrando en general un comportamiento estable, similar al registrado en los meses anteriores. La variación diaria del CMT, en MOR es de alrededor de 50 nT, en tanto que para KOU es de alrededor de 30 nT (Figura 64), incrementando específicamente a partir del 23 de septiembre debido a la ocurrencia un ciclo de tormentas geomagnéticas, que llegaron a clase G2, que se clasifican como moderadas (Figura 63).

El análisis espectral de los registros magnéticos en MOR, resalta las frecuencias dominantes de las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 3.5 días,

que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto estas frecuencias se eliminaron, obteniendo las variaciones asociadas con el campo magnético local que son de alrededor de ± 15 nT para las estaciones de MOR y KOU; incrementando para las fechas mencionadas con tormentas magnéticas externas (Figura 64).

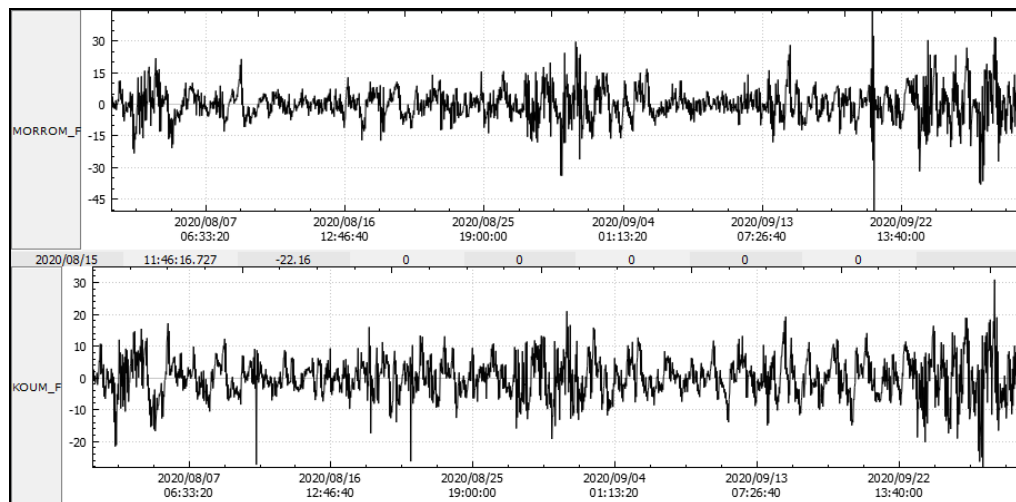


Figura 64. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones MOR y KOU entre agosto y septiembre de 2020

3.6 Geoquímica

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

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

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

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

3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles


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

3.7 Actividad Superficial

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

3.8 Conclusiones

- En septiembre de 2020 la sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró incremento en su ocurrencia, con predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT). Se destaca que continúa el registro de eventos asociados a movimiento de fluidos, aunque en menor cuantía.
- La sismicidad registrada desde finales de 2013 hasta la fecha se asocia con una posible intrusión magmática en profundidad, que hasta el momento no ha mostrado manifestaciones en superficie. A pesar de la estabilidad de los otros parámetros medidos, ocasionalmente se presentan enjambres de sismos VT, con sismos sentidos por los habitantes de la zona, que elevan los niveles de energía y ocurrencia, lo cual indica que los volcanes Chiles y Cerro Negro aún no han retornado a un estado de equilibrio. Por lo anterior, se mantiene la probabilidad de que se registren sismos con magnitudes importantes que podrían ser sentidos por los habitantes de su zona de influencia.

La evaluación de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante septiembre de 2020 permitió mantener el nivel **AMARILLO**  (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – SEPTIEMBRE DE 2020

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 65).

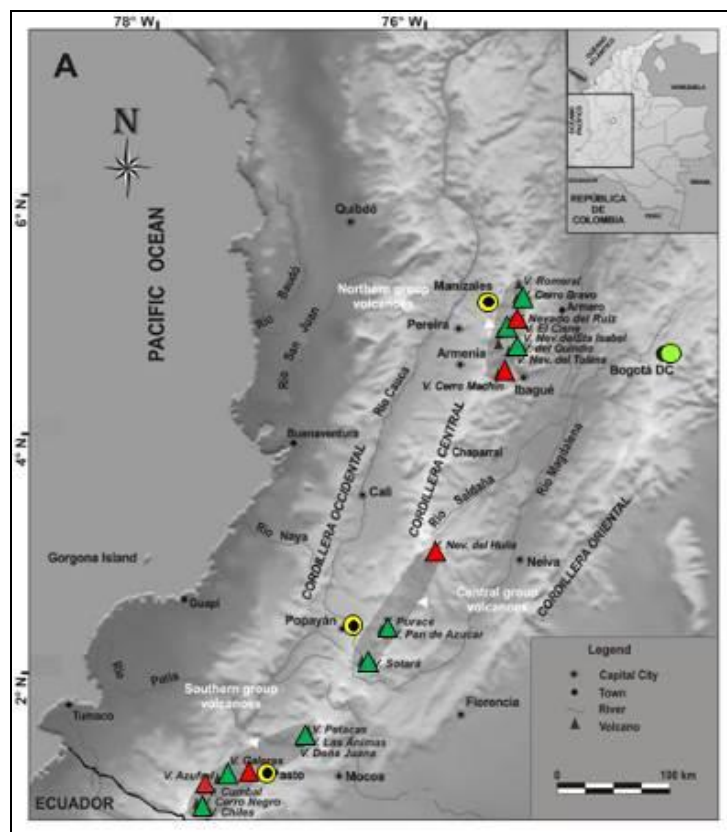


Figura 65. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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

4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juana y las Ánimas.

4.1.1 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas está distribuida de la siguiente manera: sobre la superficie del volcán Las Ánimas, tres estaciones sísmicas, en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos localizados en Altamira y Troje. En el volcán Doña Juana se tiene instalado dos estaciones sísmicas telemétricas

triaxiales, dos inclinómetros localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparámetrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 18, Figura 66). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 18), Figura 66. 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 99 % (Figura 67).

Tabla 18. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en septiembre de 2020

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

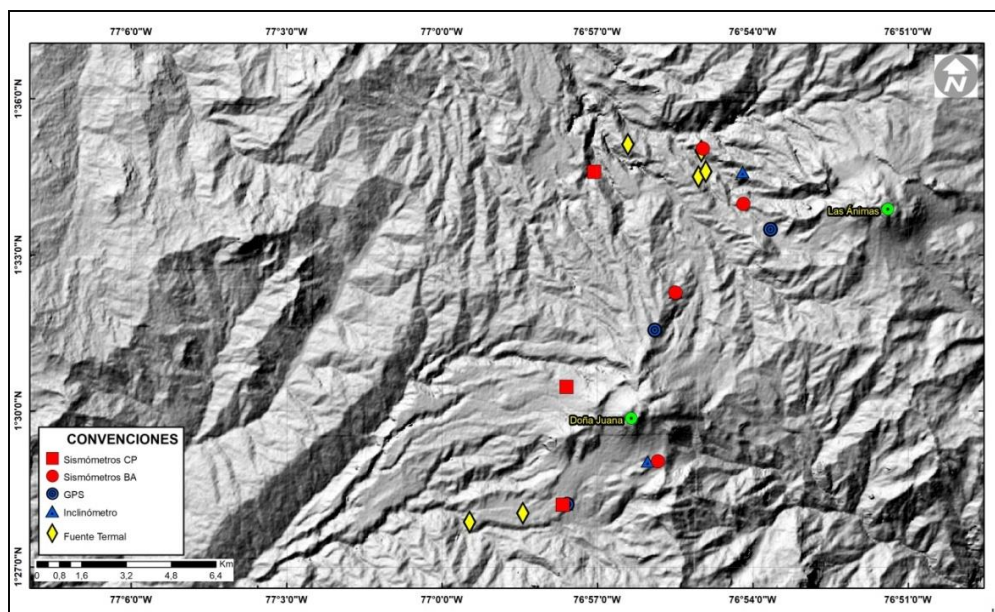


Figura 66. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de septiembre de 2020

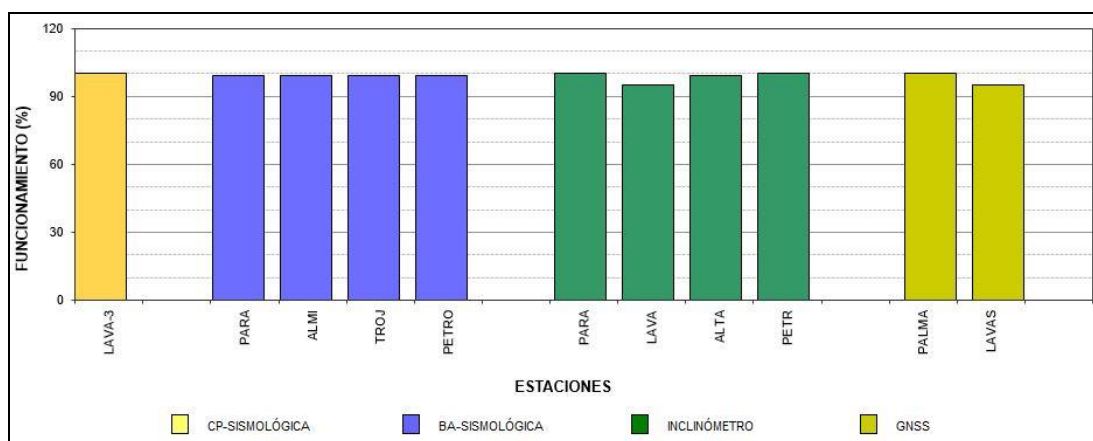


Figura 67. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en septiembre de 2020

4.1.2 Sismología

La sismicidad en septiembre de 2020 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas se mantuvo constante respecto a lo reportado para el mes anterior, con un total de 10 sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) (Tabla 19, Figura 68) de los cuales se localizaron 5 que se ubicaron hacia el noroccidente de la zona de influencia del volcán Doña Juana, a distancias entre 7.5 y

15.5 km, profundidades entre 5.5 y 14 km con respecto a la cima de Doña Juana (4300 msnm) y magnitud local máxima de 2.0 en la escala de Richter (Figura 69).

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jun-20 a 30-jun-20	13	0	0	0	13
01-jul-20 a 31-jul-20	46	0	0	0	46
01-ago-20 a 31-ago-20	10	0	0	0	10
01-sep-20 a 30-sep-20	10	0	0	0	10

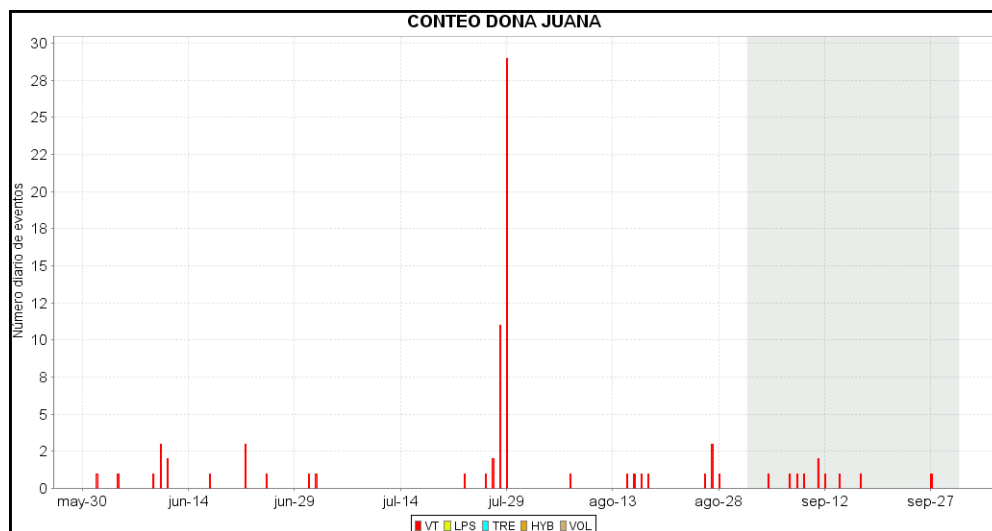


Figura 68. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas entre junio y septiembre de 2020. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe

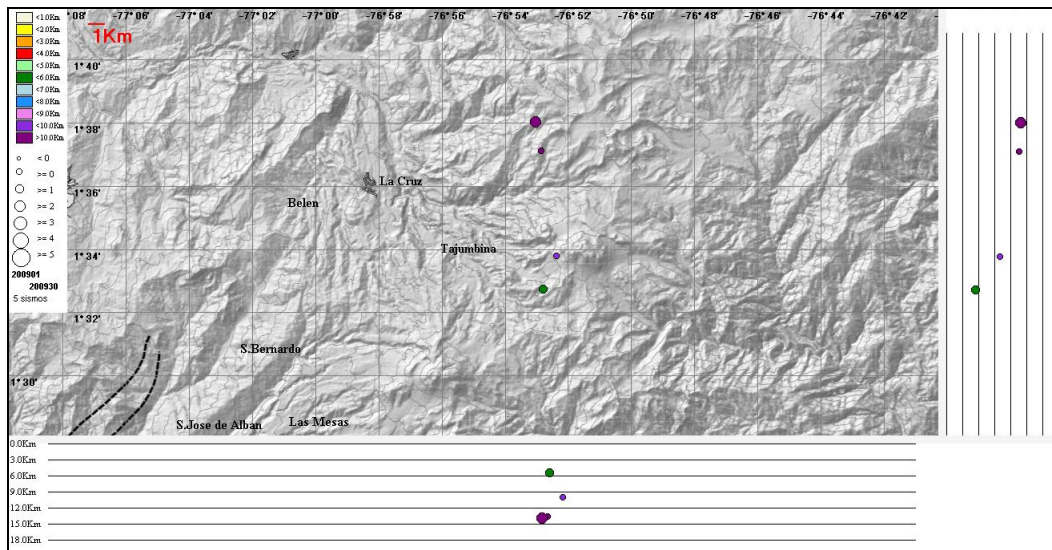


Figura 69. Localizaciones de VT registrados en septiembre de 2020 en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

En el volcán las Ánimas el inclinómetro Altamira, se resalta el cambio de tendencia, de ascendente a descendente, cambio ocurrido desde el 9 de junio de 2020, el cual registra 27 μrad en la componente Este y 18 μrad en la Norte (Figura 70).

En la Figura 71, se muestra la serie temporal para la estación de inclinometría Petroglifo, en la componente Norte, continua la tendencia descendente, acumulando 190 μrad desde febrero de 2019. Por su parte en la componente Este persiste el comportamiento estable.

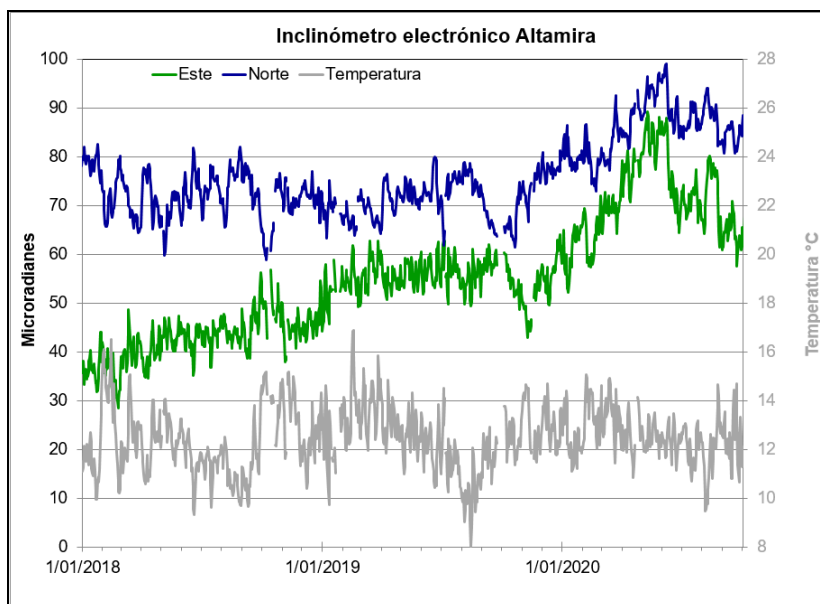


Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

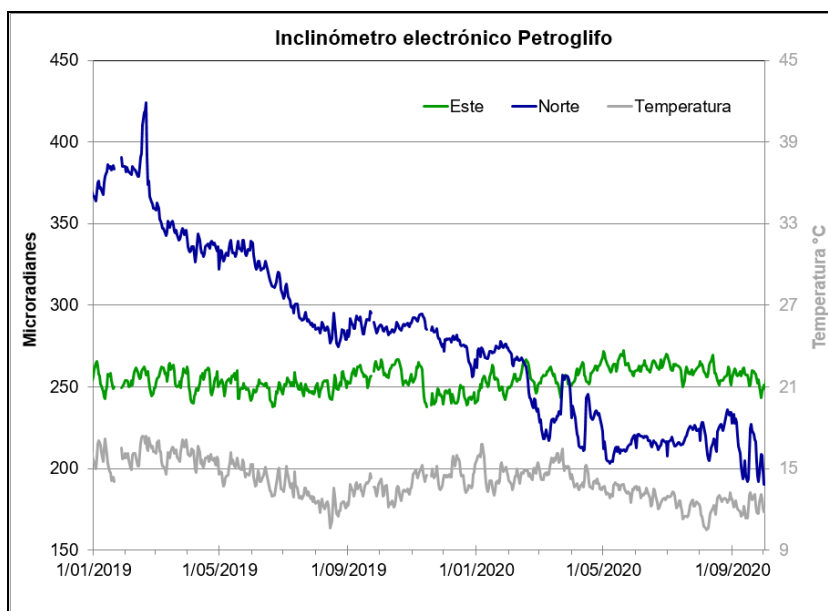


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 30 de septiembre de 2020

En cuanto al volcán Doña Juana continua el descenso en la componente Norte del inclinómetro electrónico Páramo, con una variación de 115 μrad desde el mes de octubre de 2019, en la Este se presenta estabilidad (Figura 72).

Se observa estabilidad en la componente de inclinación Norte de la estación de inclinometría Lavas, y un ligero descenso en la Este, con un registro de 62 μrad desde noviembre de 2019 (Figura 73).

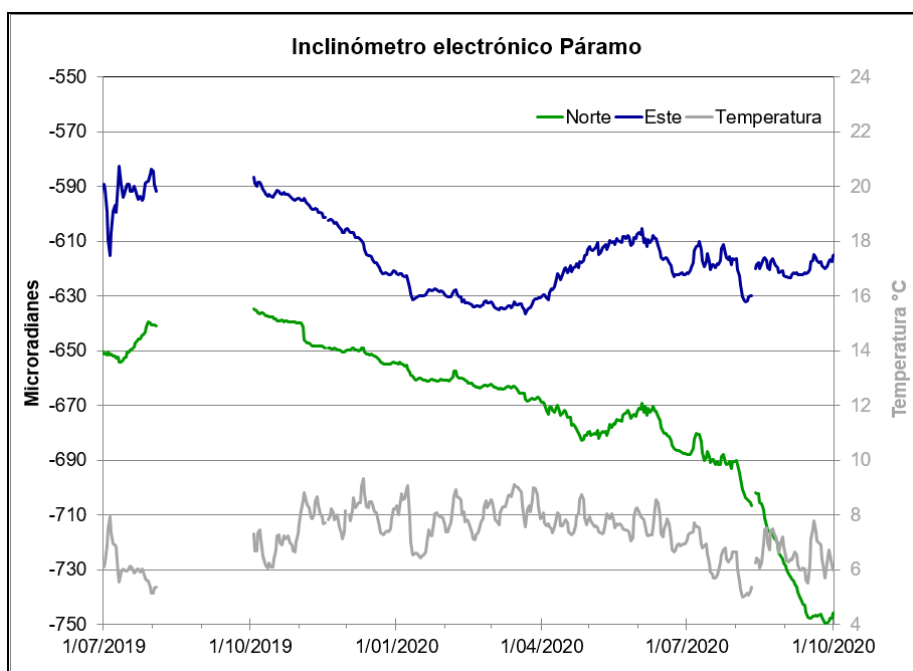


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 30 de septiembre de 2020

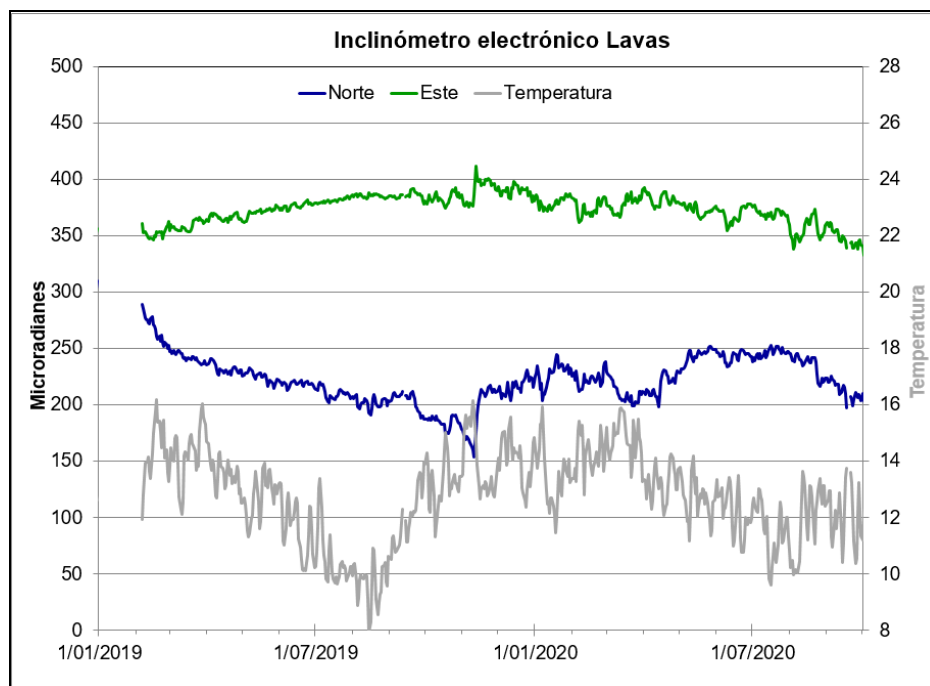


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 30 de septiembre de 2020

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

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

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso.

En general, en la red de GNSS de Doña Juana, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 74, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de la estación GNSS Palma.

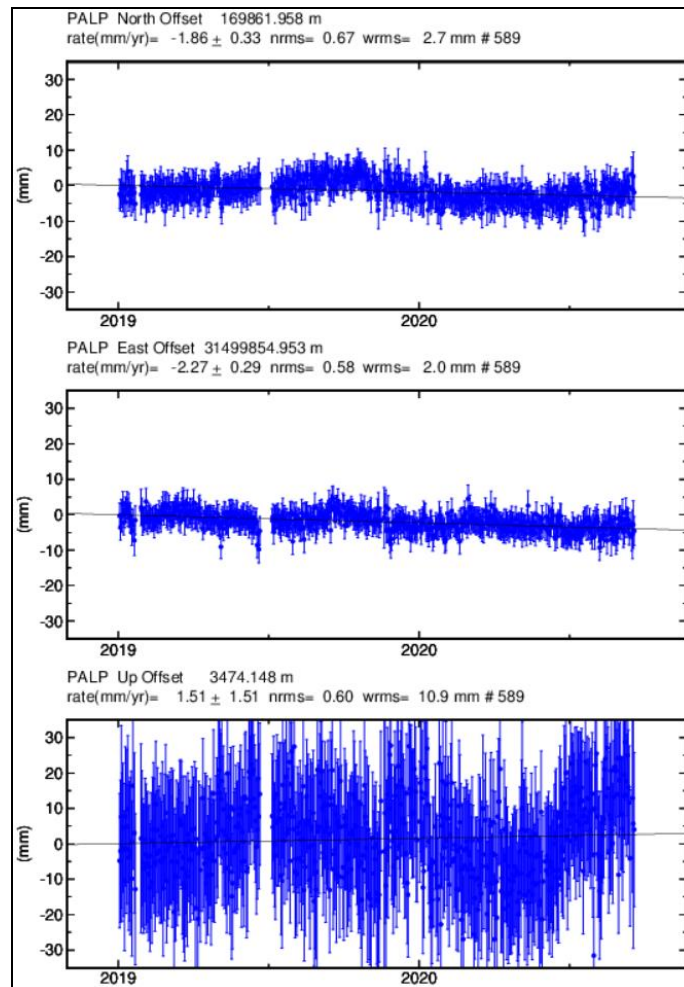


Figura 74. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262)

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes, en la Figura 75, se muestra su ubicación y en la Figura 76, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

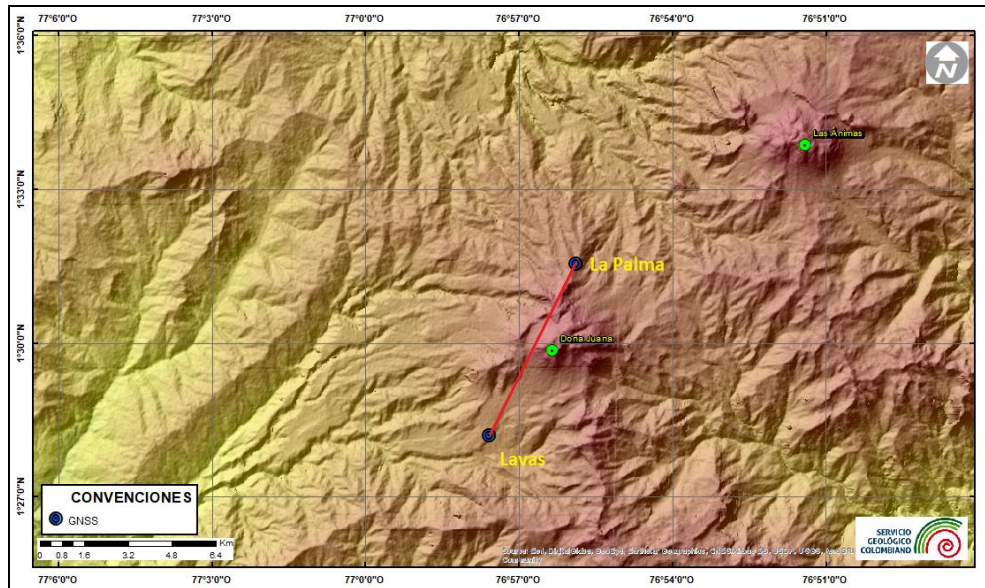


Figura 75. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

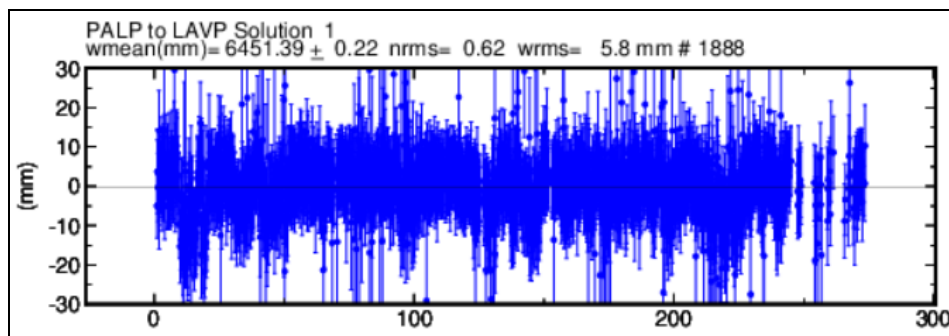


Figura 76. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

4.1.4 Geoquímica

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

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

4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de septiembre de 2020 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas y Doña Juana.

4.1.6 Conclusiones

- En septiembre de 2020 se registró estabilidad en la ocurrencia sísmica, la cual estuvo asociada con fractura de roca de bajo nivel energético.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante septiembre de 2020 permitió mantener el **NIVEL VERDE** (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

4.2 Actividad del Volcán AzufraI

4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 77 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán AzufraI, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 20 se consignan sus características.

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

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

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de AzufraI 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 78).

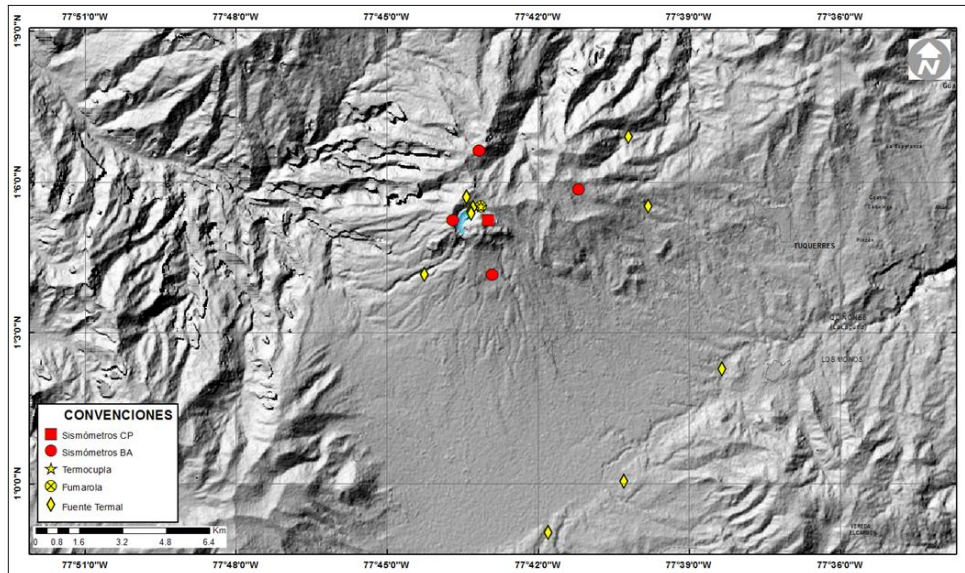


Figura 77. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufzal durante el mes de septiembre de 2020

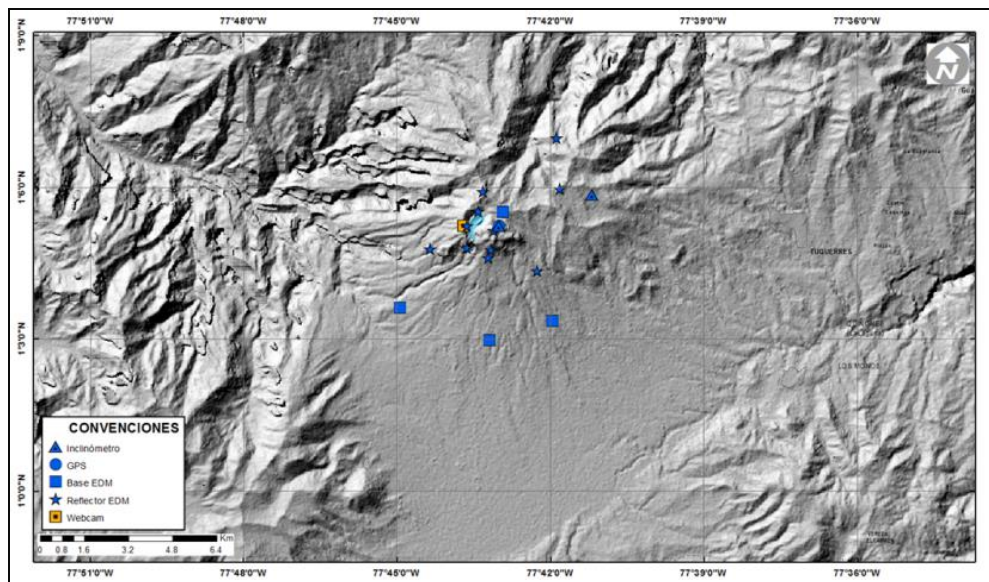


Figura 78. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufzal en el mes de septiembre de 2020

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de septiembre de 2020

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a la Laguna Verde (Km)	Ubicación respecto a la Laguna Verde	Altitud (msnm)
La Roca	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4.3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.5	NE	3981
La Roca	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	4.3	ENE	3730
Mallama	Digital	Termocupla	Uniaxial	0.5	NE	3805
Lobo	Digital	Autopotencial	Biaxial	0,4	SE	3569
Lobo_EM	Digital	Magnetómetro	Biaxial	0,5	SE	3569
La Roca	Digital	GNSS	Triaxial	1.2	E	4025
Laguna	Digital	GNSS	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	GNSS	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	GNSS	Triaxial	2.5	NE	3981

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 99 % para este mes (Figura 79).

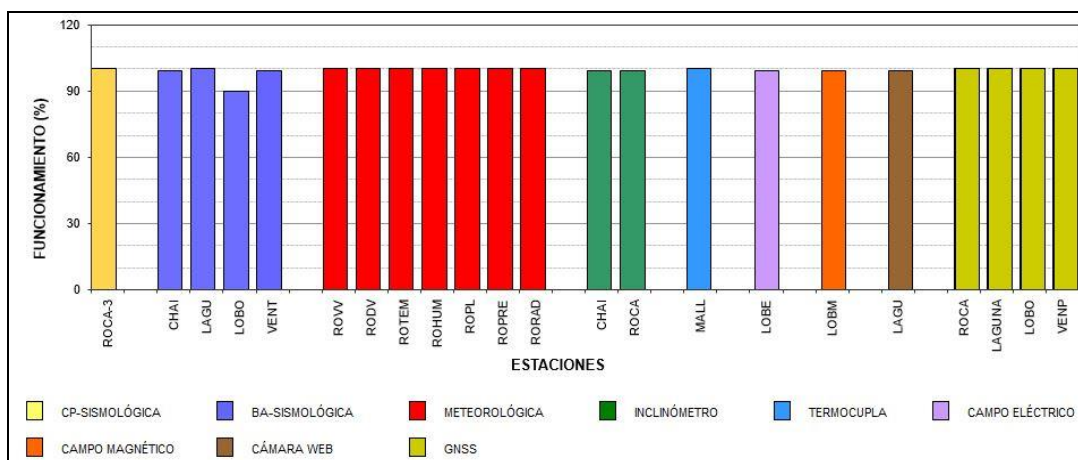


Figura 79. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante septiembre de 2020

4.2.2 Sismología

En septiembre de 2020 la sismicidad de Azufral aumentó un 41.7% en comparación a lo registrado en el mes de agosto, pasando de 12 a 17 eventos. El mayor aporte en ocurrencia provino de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 16 eventos que corresponden al 94.1% y se registró un evento tipo VC (eventos que por sus bajas amplitudes y características son difíciles de clasificar) que corresponde al 5.9% del total de sismos (Tabla 21, Figura 80). Se localizaron 7 sismos, 3 de ellos se ubicaron al noroccidente bordeando la laguna cratérica y el resto en la misma dirección a distancias de hasta 10.5 km con profundidades menores a 7.5 km con respecto a su cima (4200 msnm) y magnitud local máxima de 1.8 en la escala de Richter. La energía sísmica liberada por estos eventos fue de 4.4×10^{11} ergios. (Figura 81).

Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo, registrados en el volcán Azufral entre junio y septiembre de 2020

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HYB	VC	
01-jun-20 a 30-jun-20	39	0	0	0	2	41
01-jul-20 a 31-jul-20	24	1	0	0	0	25
01-ago-20 a 31-ago-20	12	0	0	0	0	12
01-sep-20 a 30-sep-20	16	0	0	0	1	17

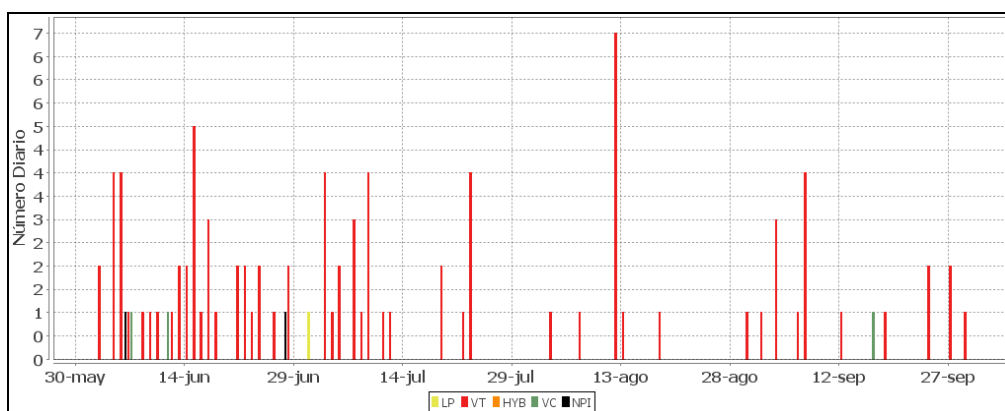


Figura 80. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, entre junio y septiembre de 2020

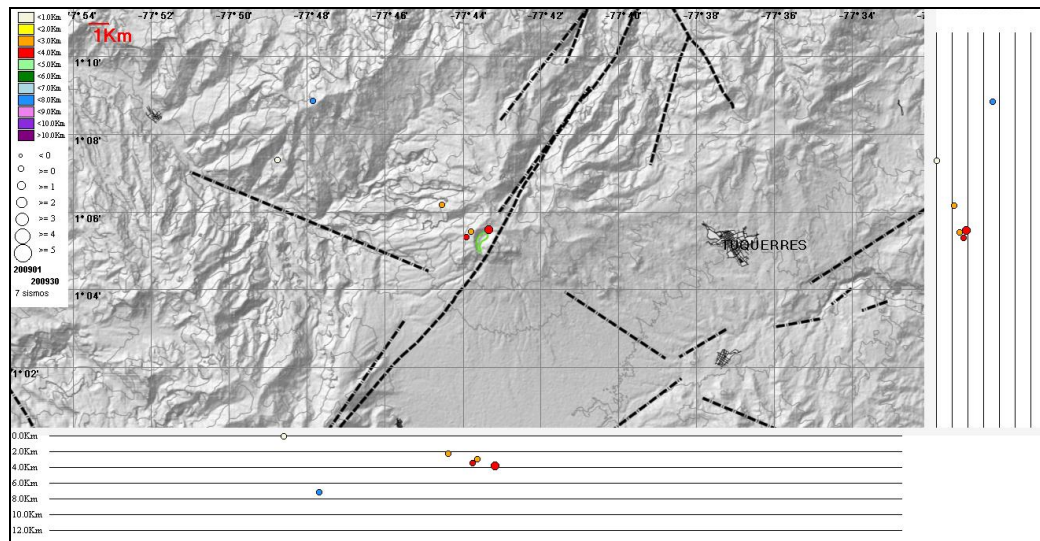


Figura 81. Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral en septiembre de 2020

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

La componente Norte del inclinómetro La Roca tiende a estabilizarse, en contraste se observa un ligero descenso en la Este, alcanzando 15 μrad desde julio de 2020 (Figura 82).

Para el inclinómetro Chaitán, se observa hacia finales del 2019 una tendencia descendente en la componente Norte que hasta la fecha acumula 40 μrad y la Este, desde abril de 2020 registra un cambio de tendencia con 37 μrad en ascenso (Figura 83).

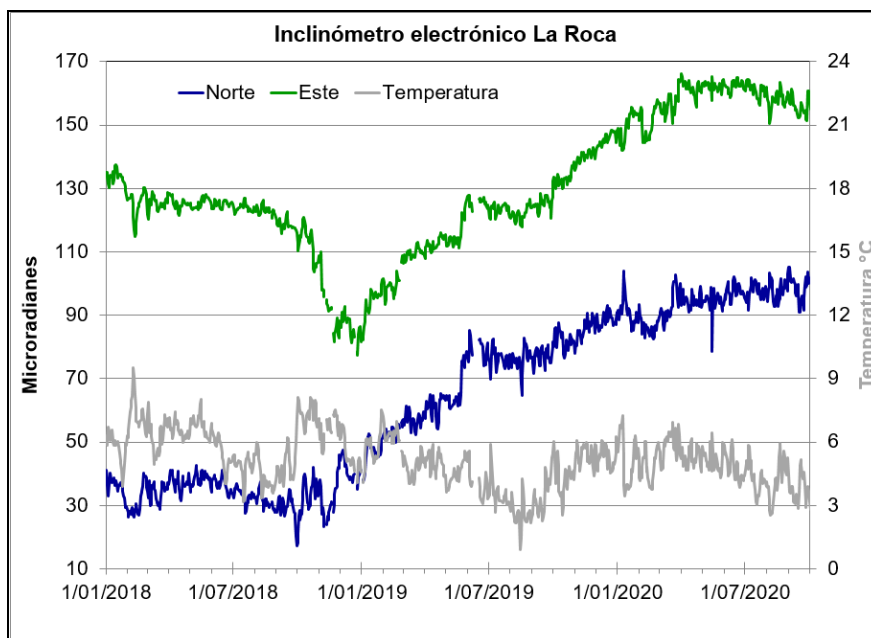


Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 30 de septiembre de 2020

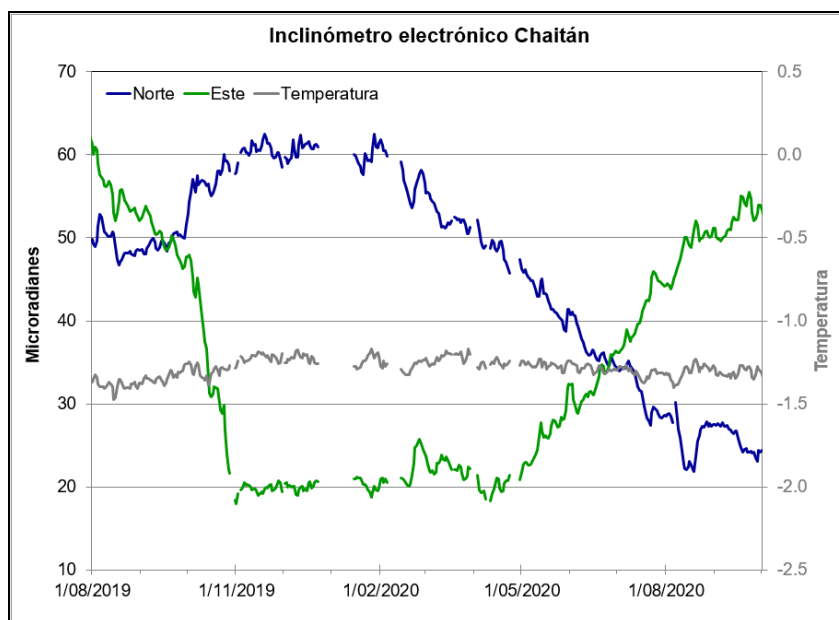


Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2019 y el 30 de septiembre de 2020

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azufra, cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Laguna, Lobo y Ventana. La estación GNSS Lobo fue saqueada el 29 de septiembre de 2020, en horas de la mañana y hurtados algunos de sus equipos, hasta el momento no se ha recuperado esta estación.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo, por lo cual el procesamiento se presenta con 15 días de retraso.

En la Figura 84, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura del GNSS Laguna, se resalta la tendencia ascendente que se presenta principalmente en la dirección Este, acumulando desde mediados de 2019 hasta la fecha, 4 mm en la componente Norte, y 6 mm en la Este. Las estaciones Lobo, Ventana y Roca mantienen tendencias estables, en la Figura 85 se muestran las series temporales de la estación Roca.

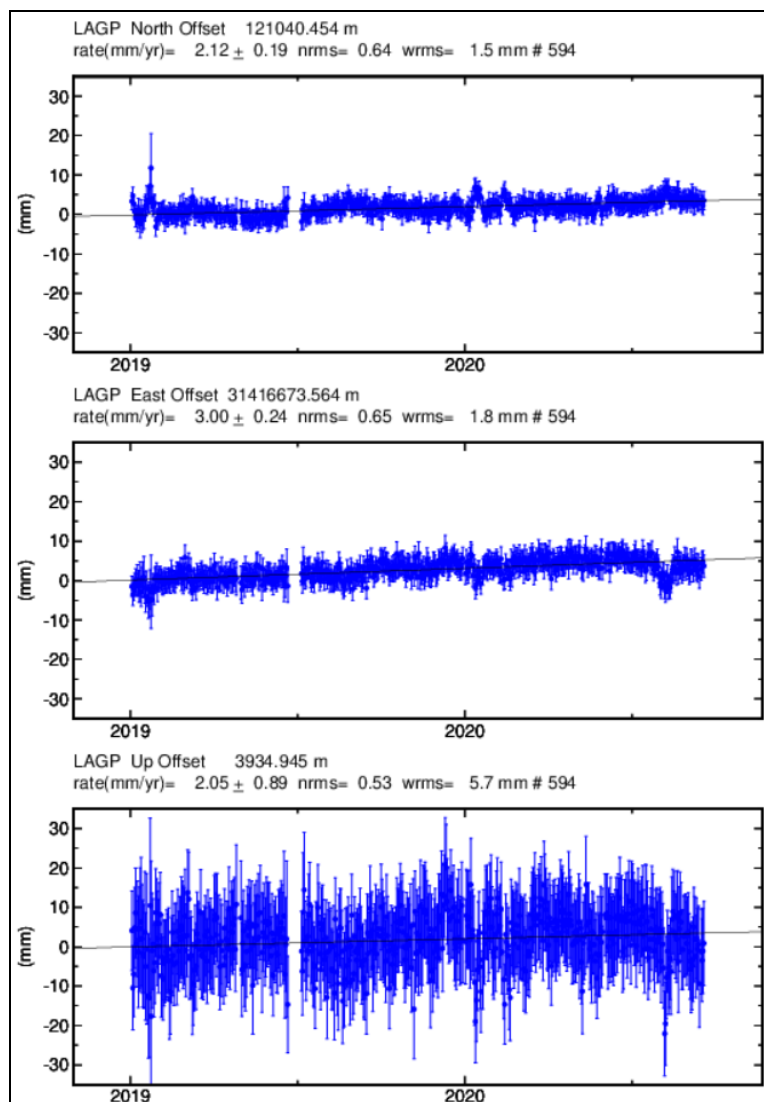


Figura 84. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK

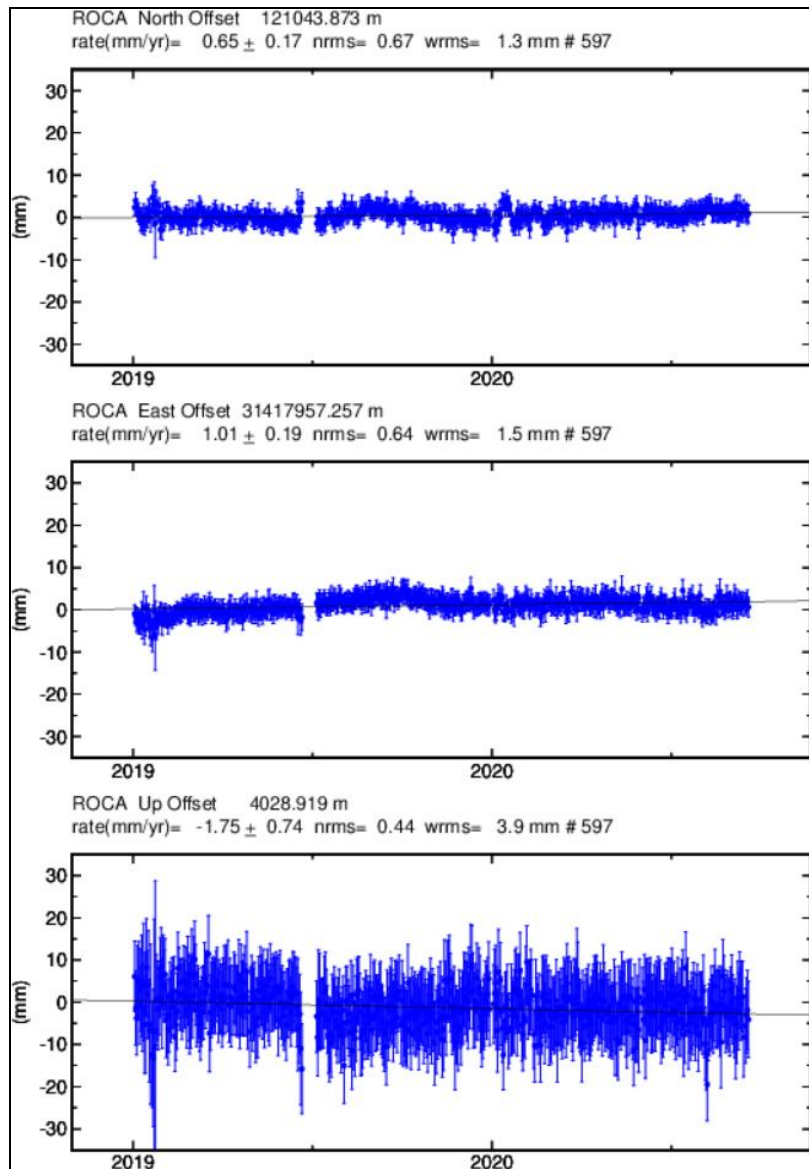


Figura 85. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Roca instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de septiembre de 2020 (262), procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

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

cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 86, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 87, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

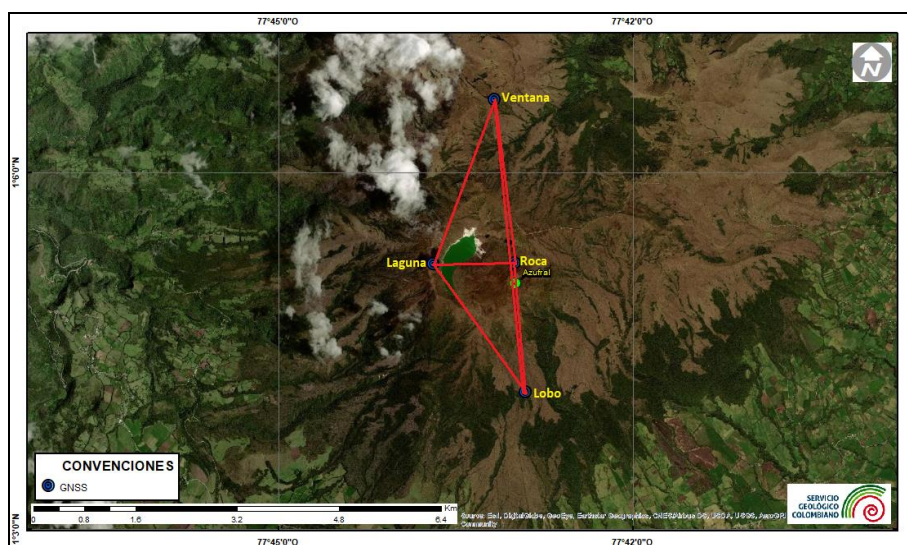


Figura 86. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

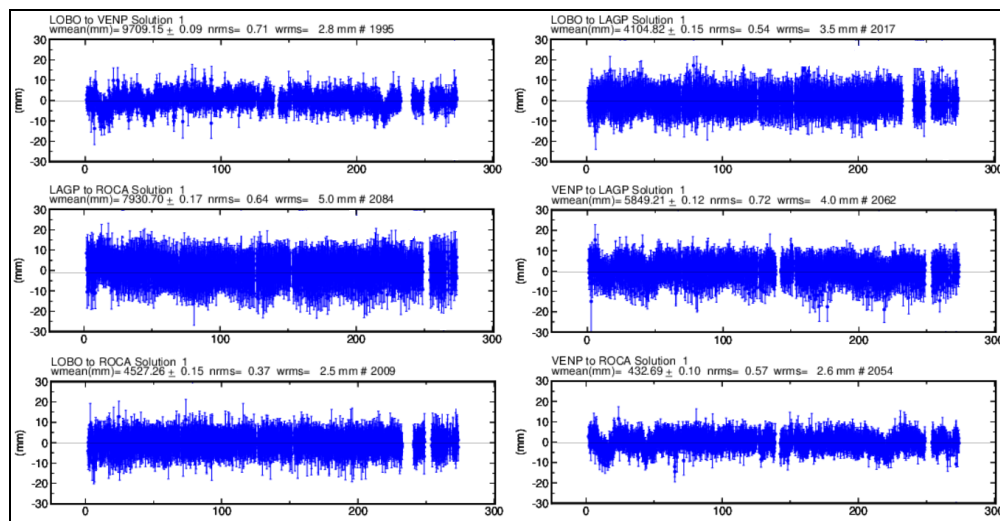


Figura 87. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 30 de septiembre de 2020 (274). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

4.2.4 Electromagnetismo

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

En el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020 (Figura 88), el registro magnético de la estación LOB resalta las variaciones seculares día-noche, con un valor promedio de 40 nT, resaltando principalmente las variaciones seculares día-noche y variaciones más pronunciadas, relacionadas con la ocurrencia de tormentas magnéticas externas, principalmente aquellas con índice Kp entre 4 y 6. Tanto las variaciones seculares como las asociadas con las tormentas magnéticas externas se registran tanto en la estación LOB como en la estación magnética Kourou, ubicada en Guayana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia, que se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, provenientes de la estación LOB. Al comparar los registros en las estaciones de LOB y Kourou, se resaltan las variaciones simultaneas en los tres registros a partir del 23 de septiembre cuando se inició un ciclo de tormentas geomagnéticas, que llegaron a clase G2, que se clasifican como moderadas, llegando a índices físicos de intensidad Kp=6, los 28 y 29 que generó variaciones con forma de onda y amplitudes muy similares en las dos estaciones (Figura 88) y que corresponde a la variación más significativa del CMT. Los valores de predicción de tormentas magnéticas solares se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 88).

En septiembre de 2020, el valor promedio del Campo Magnético Total (CMT) en LOB fue de alrededor de 25.750 nT y de 28.640 nT para Kou (Figura 88); mostrando en general estabilidad respecto al mes anterior. La variación diaria del CMT, en cada una de las estaciones, fue de alrededor de 40 nT (Figura 88), incrementando a partir del 23 de septiembre, debido a la ocurrencia de tormentas magnéticas que alcanzaron un índice Kp=6 (Figura 88).

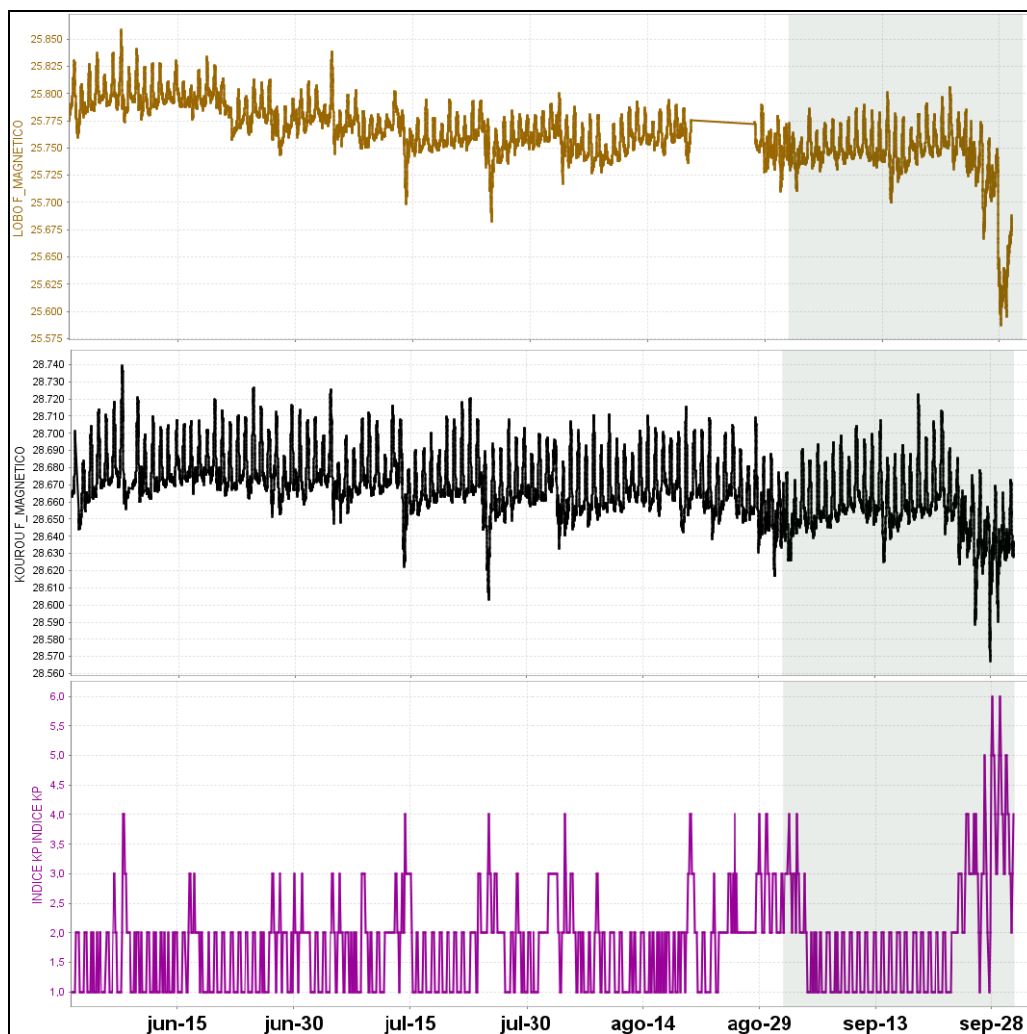


Figura 88. Variaciones del CMT-F calculado en las estaciones de monitoreo magnético de Azufraal, LOB (naranja), estación de referencia KOU (negra), y el índice Kp (morado). Periodo comprendido entre junio y septiembre de 2020. La escala de medición del Campo Magnético está dada en nano Teslas (nT)

El análisis espectral de los registros magnéticos resaltan frecuencias dominantes de las variaciones seculares, con ciclos menores a 3.5 días, que para el caso de actividad volcánica no son relevantes, así como los registros en frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, por lo tanto estas frecuencias se eliminaron de los registros y se obtuvieron las variaciones asociadas con el campo magnético local que están entre ± 10 nT para las estaciones de LOB y KOU; registrándose las mayores variaciones en aquellos días donde se tuvo registro de tormentas magnéticas (Figura 89). Cabe mencionar que la estación Lobo fue objeto de dos ataques vandálicos, el primero registrado el 19 de agosto (de la cual se recupera la señal el 27 del mismo mes) y el segundo registrado el 29 de

septiembre, por tanto, a partir de ésta última fecha se deja de recibir registro de ésta estación.

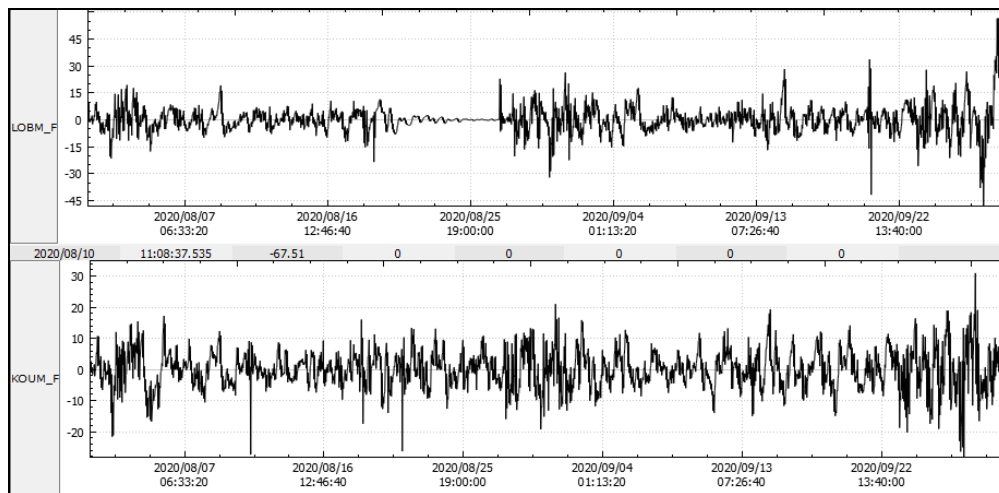


Figura 89. Variaciones del CMT-F, filtrando las frecuencias dominantes asociadas a variaciones seculares, en las estaciones LOB y KOU, entre agosto y septiembre de 2020

Las variaciones de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de Azufral, para el periodo febrero a mayo de 2020, muestran variaciones seculares, asociadas con las variaciones día-noche, y una ligera tendencia ascendente del comportamiento del campo al final del mes, que posiblemente estaría asociado con el incremento de las lluvias en la zona para este periodo de tiempo (Figura 90). El registro de las variaciones del CEH se ha comparado con los registros de la estación de pluviometría Geónica_Roc, ubicadas en la zona del volcán Azufral.

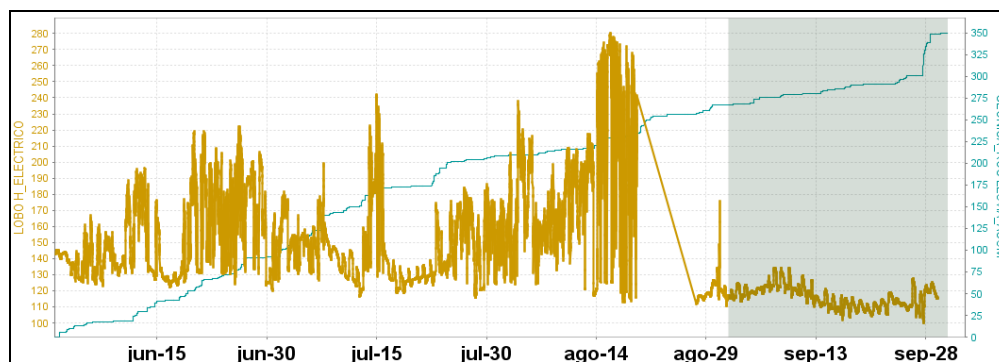


Figura 90. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral, LOB (naranja), para el periodo junio a septiembre de 2020 y registro del pluviómetro (azul). La escala de medición del CEH está en milivoltios (mV) y el pluviómetro en mm

Para el mes de septiembre de 2020, La CEH de LOB muestra una tendencia de variaciones diarias, más o menos estables, en un valor aproximado de 5 mV, acumulando variaciones alrededor de los 120 mV (Figura 90).

El análisis espectral del registro eléctrico muestra frecuencias dominantes asociadas con las variaciones seculares, las cuales tienen ciclos menores a 2 días, así también frecuencias de 1 día, 12 horas y 8 horas, una vez eliminadas las frecuencias asociadas con procesos periódicos, que no se asocian con la actividad volcánica, se obtuvieron los registros de la actividad propia de la zona, encontrando variaciones de alrededor de ± 3 mV, que corresponden a variaciones bajas del campo, asociadas con baja actividad volcánica; eventualmente se observaron variaciones mayores, asociadas con perturbaciones externas (Figura 91).

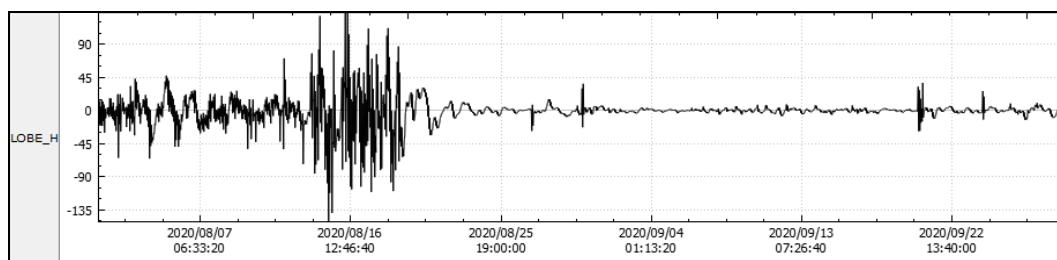


Figura 91. Variaciones del CEH, filtrando las frecuencias de variaciones seculares, en la estación de monitoreo eléctrico de Azufral LOB, entre agosto y septiembre de 2020

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral

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

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufral

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

4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán Azufral

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

4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el volcán Azufral se obtienen datos de las variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica, radiación solar y precipitación.

En la Figura 92, se evidencia la gráfica temporal de las variables estudiadas y los valores numéricos en la tabla 22, para el periodo evaluado se observan cambios en la dirección del viento para algunos días del mes de septiembre, los cuales no tienen relación con la actividad del volcán Azufral. Los otros parámetros presentan variaciones características de su respectivo comportamiento.

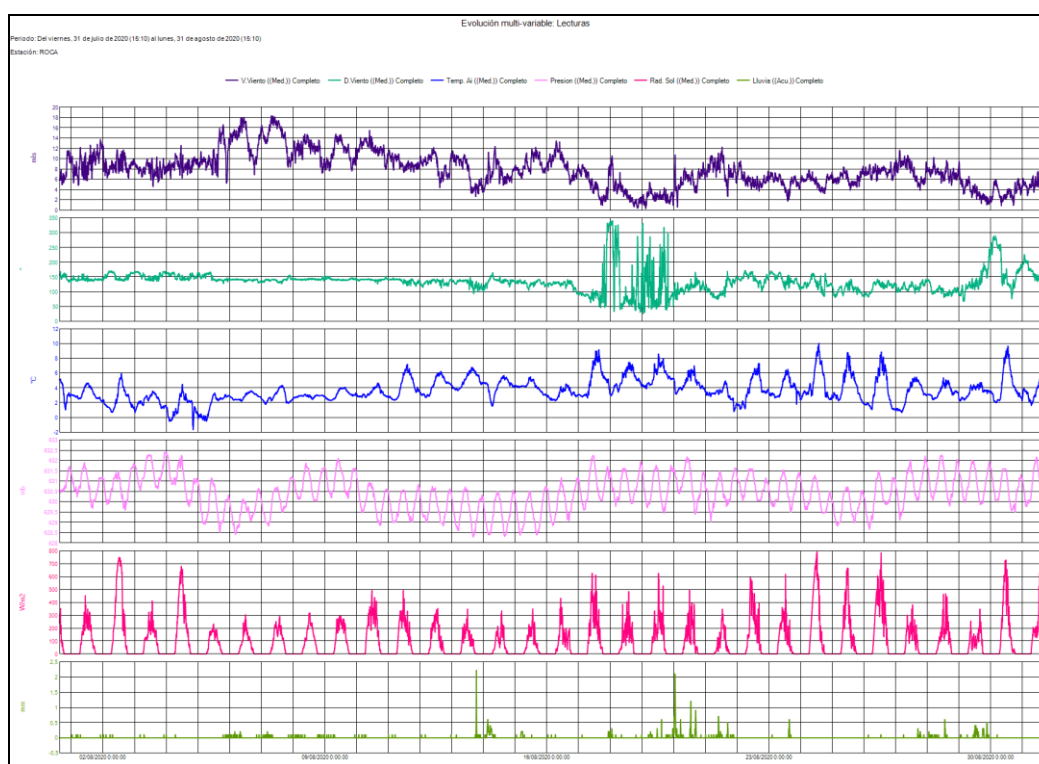


Figura 92. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufral – septiembre 2020

Tabla 22.Datos parámetros estación climatológica La Roca - septiembre 2020

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (Acu.) (mm)
Med.	7,4	137,1	3,4	630,4	76,4	0,0
Máx.	16,3	337,5	10,3	632,8	728,2	3,4
Mín.	0,1	23,9	0,2	627,9	0,1	0,0
Acu.	--	--	--	--	--	90,4

4.2.6 Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 3, 5, 11, 14, 17, 22, 26 y 27 del mes de septiembre de 2020.

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

En las Figuras 93 a 96 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.

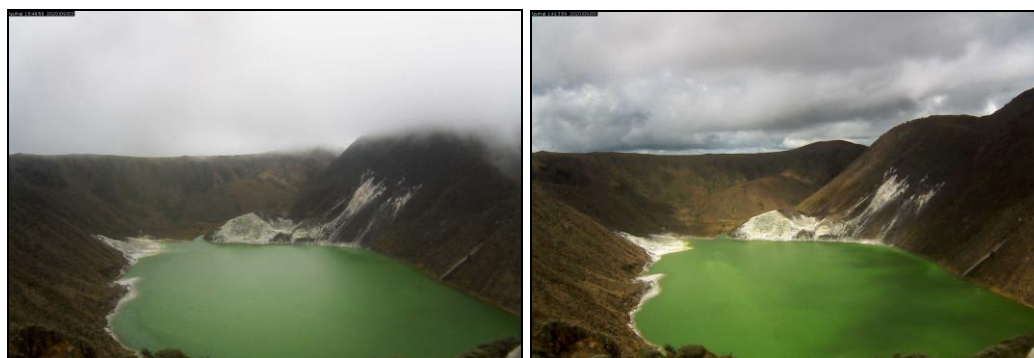


Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 3 de septiembre de 2020 a las 3:48 p.m., (izquierda) y el 5 de septiembre de 2020 a las 2:13 p.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

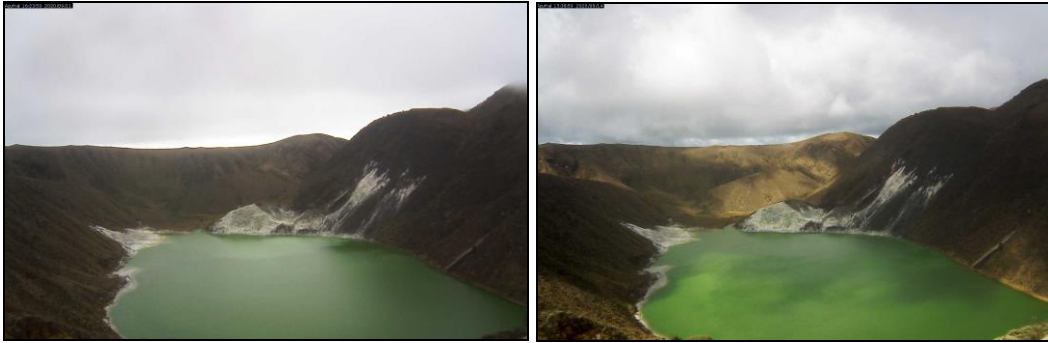


Figura 94. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 11 de septiembre de 2020 a las 4:23 p.m., (izquierda) y el 14 de septiembre de 2020 a las 3:38 p.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán




Figura 95. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 17 de septiembre de 2020 a las 7:18 a.m., (izquierda) y el 22 de septiembre de 2020 a las 6:53 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 96. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 26 de septiembre de 2020 a las 7:28 a.m., (izquierda) y el 27 de septiembre de 2020 a las 7:23 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

- En septiembre de 2020 la sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán Azufral aumentó su ocurrencia con eventos de bajo nivel energético asociados con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 1.8 en la escala abierta de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante septiembre de 2020 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 agosto y septiembre de 2020. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

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

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