



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL
ENERO 2022***

San Juan de Pasto, febrero de 2022



**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

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2022	18
1.1 Red de Vigilancia	18
1.2 Sismología	24
1.3 Deformación	28
1.3.1 Inclínometría Electrónica	28
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	29
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM	32
1.3.4 D_InSAR	32
1.4 Electromagnetismo	32
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	36
1.5.1 Pluviómetros	40
1.6 Actividad Superficial	40
1.7 Conclusiones	43
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2022	43
2.1 Red de Vigilancia	43
2.2 Sismología	46
2.3 Deformación	51
2.3.1 Inclínometría Electrónica	51
2.3.2 D_InSAR	51
2.4 Electromagnetismo	52
2.5 Geoquímica	52
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	52
2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO ₂)	52
2.6 Actividad Superficial	53
2.7 Conclusiones	57
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - ENERO DE 2022	57
3.1 Ubicación Geográfica	57
3.2 Red de Vigilancia	58
3.3 Sismología	61
3.4 Deformación	64
3.4.1 Inclínometría Electrónica	64
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	65
3.4.3 D_InSAR	67
3.5 Electromagnetismo	68

3.6.	Geoquímica	71
3.6.1	Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
3.6.2	Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	71
3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	71
3.7	Actividad Superficial	71
3.8	Conclusiones	71
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2022	72
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas	73
4.1.1	Red de Vigilancia	73
4.1.2	Sismología	75
4.1.3	Deformación	77
4.1.4	Geoquímica	82
4.1.5	Actividad Superficial	82
4.1.6	Conclusiones	82
4.2	Actividad del Volcán AzufraI	83
4.2.1	Red de Vigilancia	83
4.2.2	Sismología	86
4.2.3	Deformación	88
4.2.4	Electromagnetismo	91
4.2.5	Geoquímica	93
4.2.6	Actividad Superficial	95
4.2.7	Conclusiones	98
5.	MUESTREO GEOQUÍMICO DE AGUAS EN EL CAMPO MONOGENÉTICO GUAMUEZ- SIBUNDOY	98
5.1	Conclusiones	104
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022	20
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022	20
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022	22
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2022	23
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	24
Figura 6. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	25
Figura 7. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2022	26
Figura 8. Sismograma del evento TOR de enero 19 en el volcán Galeras	27
Figura 9. Sismogramas, señal filtrada y espectro en frecuencia del evento TOR de enero del 2022 en la componente vertical de la estación Anganoy del volcán Galeras	27
Figura 10. Comportamiento del inclinómetro Cráter para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	28
Figura 11. Comportamiento del inclinómetro Peladitos para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	29
Figura 12. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	30
Figura 13. 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	31
Figura 14. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y	

el 31 de enero de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	31
Figura 15. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Galeras	32
Figura 16. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022	34
Figura 17. Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde), DEF (roja) y KOU (negra), para el mes de enero de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo	35
Figura 18. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	36
Figura 19. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	37
Figura 20. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	38
Figura 21. Temperatura, en grados Celsius (°C) - volcán Galeras - Estación térmica Deformes, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	39
Figura 22. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 1 de enero de 2022 a las 9:19 a.m., (izquierda) y para el día 4 de enero de 2022 a las 8:24 a.m., (derecha)	40
Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 7 de enero de 2022 a la 1:12 p.m., (izquierda) y para el día 8 de enero de 2022 a las 6:02 a.m., (derecha)	41
Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 9 de enero de 2022 a las 7:11 a.m., (izquierda) y para el día 10 de enero de 2022 a las 8:14 a.m., (derecha)	41
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de enero de 2022 a las 6:15 p.m., (izquierda) y para el día 12 de enero de 2022 a las 7:55 a.m., (derecha)	41
Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 13 de enero de 2022 a las 5:36 p.m., (izquierda) y para el día 15 de enero de 2022 a las 3:55 p.m., (derecha)	42

Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 16 de enero de 2022 a las 6:47 p.m., (izquierda) y para el día 22 de enero de 2022 a las 7:39 a.m., (derecha)	42
Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 24 de enero de 2022 a la 1:02 p.m., (izquierda) y para el día 25 de enero de 2022 a las 7:41 a.m., (derecha)	42
Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 27 de enero de 2022 a las 7:54 a.m., (izquierda) y para el día 29 de enero de 2022 a las 6:36 p.m., (derecha)	43
Figura 30. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2022	45
Figura 31. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2022	45
Figura 32. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2022	46
Figura 33. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado	47
Figura 34. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado	48
Figura 35. Sismogramas y espectros en frecuencia de 6 eventos TOR de enero del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC	49
Figura 36. Sismos localizados en el CVC, enero 2022	50
Figura 37. Comportamiento del inclinómetro Limones para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	51
Figura 38. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal	52
Figura 39. Estimación de SO ₂ obtenido con la aplicación TROPOMI, en la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores	53
Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada el 1 de enero de 2022 por la cámara ubicada en el sector del Boliche a las 6:20 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja para el día 2 de enero a las 7:44 a.m., (derecha)	54

Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 3 de enero de 2022 a las 6:46 p.m., (izquierda) y para el día 4 de enero de 2022 a las 2:51 p.m., (derecha)	54
Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 5 de enero de 2022 a las 5:47 a.m., (izquierda) y para el día 6 de enero de 2022 a las 6:37 p.m., (derecha)	54
Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 7 de enero de 2022 a las 6:16 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja para el día 8 de enero de 2022 a las 6:41 a.m., (derecha)	55
Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 11 de enero de 2022 a las 2:24 p.m., (izquierda) y para el día 12 de enero de 2022 a las 6:21 a.m., (derecha)	55
Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja para el día 14 de enero de 2022 a las 8:41 p.m., (izquierda) y para el día 17 de enero de 2022 a las 5:59 a.m., (derecha)	55
Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Boliche para el día 22 de enero de 2022 a las 5:18 p.m., (izquierda) y por Punta Vieja el día 24 de enero de 2022 a las 8:27 a.m., (derecha)	56
Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 25 de enero de 2022 a las 6:59 a.m., (izquierda) y para el día 26 de enero de 2022 a las 6:07 a.m., (derecha)	56
Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 27 de enero de 2022 a las 6:30 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja el día 28 de enero de 2022 a las 6:12 a.m., (derecha)	56
Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja para el día 29 de enero de 2022 a las 10:46 a.m., (izquierda) y para el día 30 de enero de 2022 a las 8:29 a.m., (derecha)	57
Figura 50. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	58
Figura 51. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2022	59

Figura 52. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2022	61
Figura 53. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado	62
Figura 54. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro indica el periodo evaluado	62
Figura 55. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero 2022	63
Figura 56. Comportamiento del inclinómetro El Morro para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior: componente Este, inferior: componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	65
Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido 6 de julio de 2019 y 15 de enero de 2022 (izquierda) y 1 de enero de 2021 y 15 de enero de 2022 (derecha)	66
Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLS instalada sobre Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 15 de enero de 2022, estación que pertenece a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN	67
Figura 59. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro	68
Figura 60. CMT-F en la estación de monitoreo magnético de Chiles – Cerro Negro: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para los meses comprendidos entre octubre de 2021 y enero de 2022.	69
Figura 61. Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de enero de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo	70
Figura 62. 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 63. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2022	74
Figura 64. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2022	74

Figura 65. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante diciembre 2021 y enero 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado	75
Figura 66. Energía diaria liberada de eventos VT, registrados durante diciembre 2021 y enero 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado	76
Figura 67. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2022	77
Figura 68. Comportamiento del inclinómetro Petroglifo para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	78
Figura 69. Comportamiento del inclinómetro Páramo para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	79
Figura 70. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022	80
Figura 71. 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 72. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de enero de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	81
Figura 73. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas	82
Figura 74. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2022	84
Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de enero de 2022	84
Figura 76. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante enero de 2022	85
Figura 77. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufral, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado	86
Figura 78. Energía diaria de sismos por tipo en Azufral, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado.	86
Figura 79. Localizaciones de sismos VT en Azufral, enero 2022	87

Figura 80. Comportamiento del inclinómetro La Roca para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura	88
Figura 81. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna y Ventana instaladas en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK	89
Figura 82. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufra, 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	90
Figura 83. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de enero de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	90
Figura 84. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Azufra	91
Figura 85. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), juntamente con el registro de lluvia, instalado en la parte alta del volcán Azufra	92
Figura 86. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), para el mes de enero de 2022, con el promedio móvil, graficada en la serie amarilla superpuesta, ubicado en la zona de influencia del volcán Azufra	93
Figura 87. Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)	94
Figura 88. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán Azufra. Septiembre de 2021 – enero de 2022 (región sombreada: enero)	95
Figura 89. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas el 5 de enero de 2022 a las 8:20 a.m., (izquierda) y el 9 de enero de 2022 a las 6:20 a.m., (derecha) capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas el 10 de enero de 2022 a las 10:10 a.m., (izquierda) y el 12 de enero de 2022 a las 6:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	96
Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas el 14 de enero de 2022 a las 6:35 a.m., (izquierda) y el 23 de enero de	

2022 a las 7:10 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 24 de enero de 2022 a las 6:30 p.m., (izquierda) y el 25 de enero de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 27 de enero de 2022 a las 7:15 p.m., (izquierda) y el 28 de enero de 2022 a las 8:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	97
Figura 94. Ubicación geográfica de los manantiales muestreados en el campo volcánico monogenético Guamuéz- Sibundoy, con 17 estructuras volcánicas: 1) Campanero, 2) Victoria, 3) Manoy, 4) Mijoy, 5) Bijinchoy, 6) Fuisanoy, 7) Mujundinoy, 8) Corota, 9) Yaku, 10) Guayapungo, 11) Encano, 12) Guamuez, 13) Estero, 14) Patascoy, 15) Muchivioy, 16) Laurel y 17) Santa Teresita - Modificado de Rivera, 2021	99
Figura 95. Distribución de la composición iónica del manantial Alevinos	100
Figura 96. Distribución de la composición iónica del manantial La Josefina	100
Figura 97. Distribución de la composición iónica del manantial DantaKunapa	101
Figura 98. Distribución de la composición iónica del manantial Santa Teresita	102
Figura 99. Distribución de la composición iónica del manantial La Cumbre	103
Figura 100. Distribución de la composición iónica del manantial Casa Blanca	103
Figura 101. Distribución de la composición iónica del manantial Ambiaku	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de enero de 2022	19
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2022	21
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2022	21
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2022	22
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo 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 sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2021 y enero 2022	24
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2021 y enero 2022	25
Tabla 9. Sismos con ML de 1.5 y 2.0, volcán Galeras, enero 2022	26
Tabla 10. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Lavas - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022	37
Tabla 11. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Lirios - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022	37
Tabla 12. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m ³ - estación Parques - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022	38
Tabla 13. Valores de temperatura en grados Celsius (° C) - Estación Térmica Deformes - Volcán Galeras - enero de 2022	39
Tabla 14. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2022	44
Tabla 15. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2021, enero 2022	46
Tabla 16. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2021 y enero 2022	47
Tabla 17. Sismos con ML entre 1.0 y 2.5 en el CVC, enero 2022	50
Tabla 18. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	59
Tabla 19. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro	60
Tabla 20. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre 2021 y enero 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	61
Tabla 21. Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022	63
Tabla 22. Sismos VT con ML de 1.0 y 1.2, Chiles - Cerro Negro, enero 2022	64
Tabla 23. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2022	73
Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2021 y enero 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	76
Tabla 25. Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2021 y enero 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	76
Tabla 26. Sismos con ML de 0.9 y 1.0 en Doña Juana y Las Ánimas, enero 2022	76

Tabla 27. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de enero de 2022	85
Tabla 28. Número de eventos volcánicos por tipo en Azufral, diciembre 2021 y enero 2022	87
Tabla 29. Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufral, diciembre 2021 y enero 2022	87
Tabla 30. Sismos con ML entre 1.0 y 2.5, volcán Azufral, enero 2022	88
Tabla 31. Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azufral - enero de 2022	94
Tabla 32. Datos parámetros estación climatológica La Roca – enero de 2022	95

RESUMEN

Para el mes de enero de 2022 y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó un pequeño descenso en la ocurrencia sísmica, pasando de 121 a 109 eventos, 91 de ellos asociados con fractura de roca. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 1 y 2 de enero con 9 eventos respectivamente. En enero del 2022 la energía liberada por la sismicidad disminuyó considerablemente, ya que solamente alcanzó el 1% del valor registrado en diciembre del 2021, pasando de 7.87×10^{14} ergios a 8.85×10^{12} ergios. En general, los sismos se ubicaron de manera dispersa alrededor de la zona de influencia volcánica, en distancias entre 0.4 y 16 km, con profundidades entre 0.5 y 20 km con respecto a su cima y magnitud local máxima de 2.0 Richter.

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico de Cumbal disminuyó en un 35% en comparación con el mes de diciembre de 2021. Con un total para este periodo de 2510 eventos, donde el 50% está asociado con fractura al interior del volcán, seguida por la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con el 39% del total. La gran mayoría de los sismos se ubicaron en dos grupos, uno de ellos siguiendo un alineamiento estructural inferido en la zona, con orientación SE – NW y el otro grupo ubicado de manera paralela a la izquierda del anterior, la mayor magnitud local fue de 2.5 Richter, eventos registrado el 16 de enero a las 11:15 p.m.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero se incrementó un 14% de lo reportado en diciembre de 2021, pasando de 163 a 186 eventos. Los eventos VT con 182 sismos representan el 98% del total, también se registraron 4 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 28 de enero con 20 sismos. La mayoría de los sismos se ubicaron en el cuadrante suroccidental del volcán Chiles, en distancias entre 0.3 y 15 km, profundidades menores de 12 km con respecto a la cima de Chiles y con ML máxima de 1.2 Richter.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas para enero, mostraron niveles bajos en el número de sismos con un total de 11 eventos asociados con fractura de roca, ubicados en un grupo situado al SW de la cima de Las Ánimas, en distancias entre 3 y 5 km, con profundidades entre 1 y 16 km con respecto a su cima y con magnitud local máxima de 1.0 Richter.

En enero, la sismicidad del volcán Azufral incremento su ocurrencia pasando de 41 a 51 sismos, de los cuales 46 están asociados con fractura de roca, la mayoría ubicados hacia

el norte y noreste de la Laguna Verde, en distancias epicentrales entre 0.5 y 11 km, profundidades menores de 15 km respecto a su cima y ML máxima de 2.5 Richter.

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de enero de 2022, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Azufral, Doña Juana y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

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

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

1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2022

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de enero de 2022, 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).
- Cinco 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, otras al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo y otra, en Morasurco (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Once 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).
- Un 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 edificio volcánico (Figura 3, Tabla 6).

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento del 85% (Figura 4).

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras para el mes de enero de 2022

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

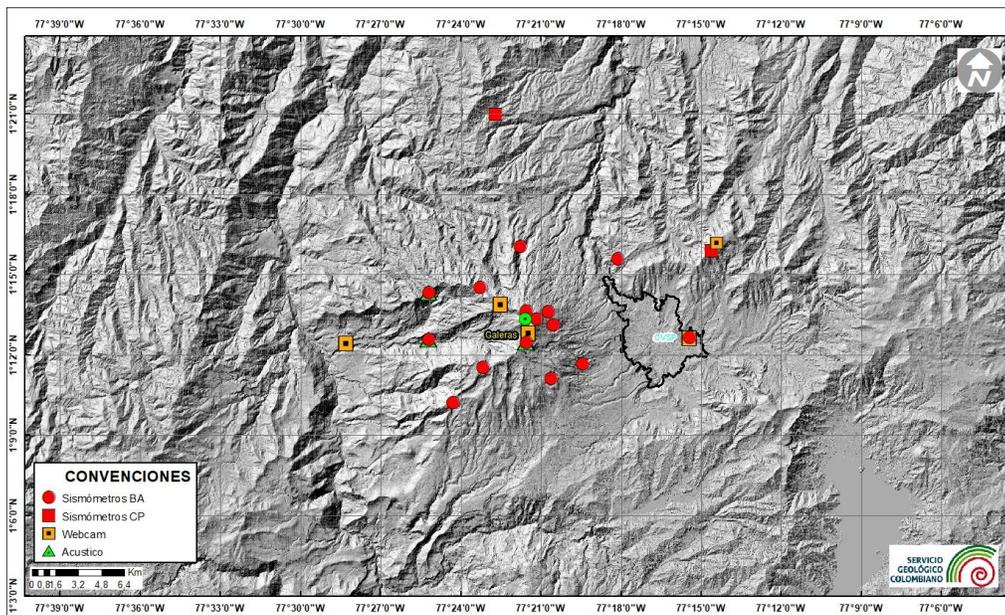


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022

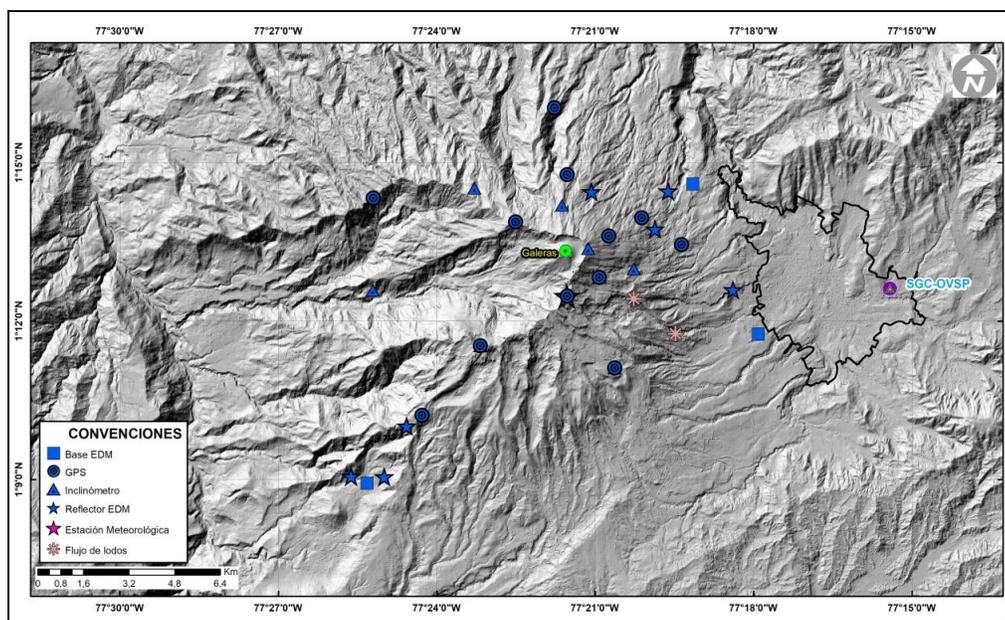


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) y sensores de flujo de lodos, que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2022

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 enero de 2022

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

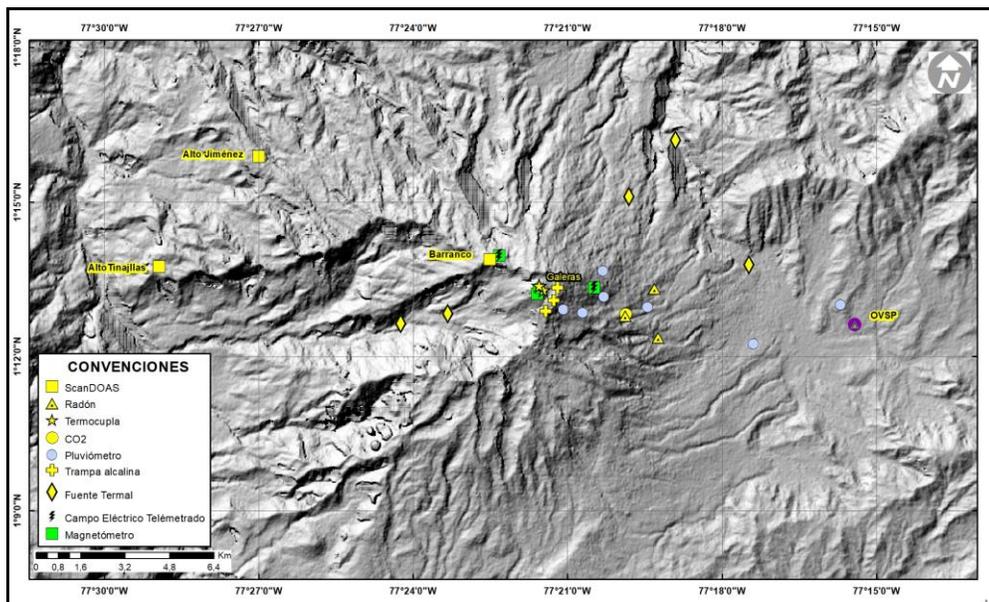


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2022

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2022

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	3865
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	WNW	2402
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	WNW	2095

* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm)

Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo 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	3330
Lavas	4,5	NE	3260
Lirios	4,7	ESE	3053

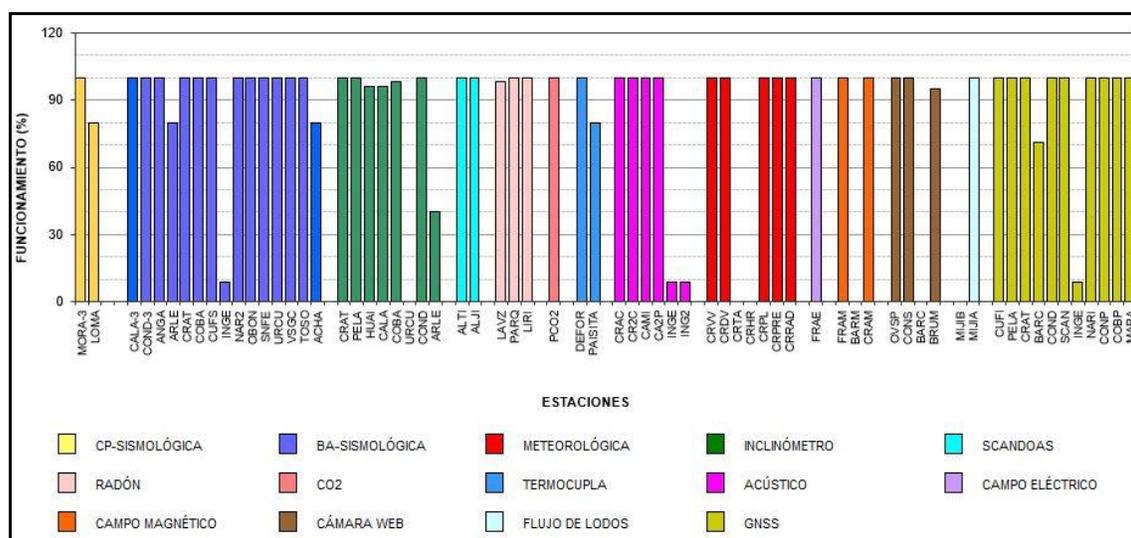


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2022

1.2 Sismología

En comparación con diciembre 2021, la ocurrencia sísmica disminuyó un 9%, pasando de 121 a 109 eventos, 91 de ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), que representan el 84%, 10 asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LPS), que representan el 9% y 8 asociados con tránsito de fluidos de fuente permanente (TRE), que representan el 7%. Los picos de ocurrencia sísmica se registraron en los días 1 y 2 de enero con 9 eventos (Tabla 7, Figura 5).

Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	96	17	7	1	121
Enero 2022	91	10	8	0	109

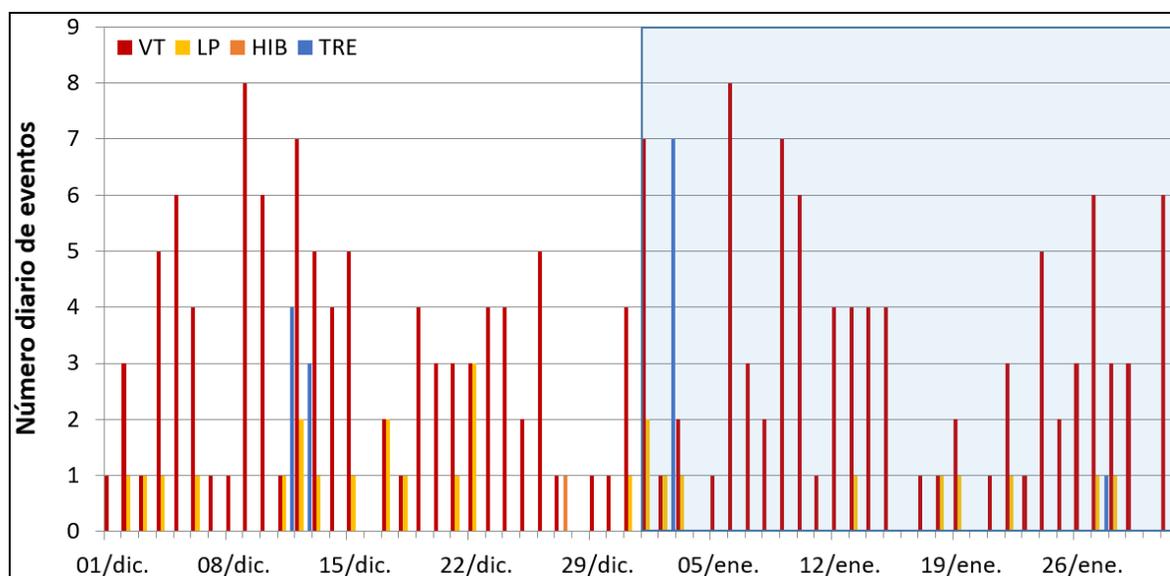


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

En enero del 2022 la energía liberada por la sismicidad disminuyó considerablemente, ya que solamente alcanzó el 1% del valor registrado en diciembre del 2021, pasando de 7.87×10^{14} ergios a 8.85×10^{12} ergios. En el mes evaluado el mayor aporte energético fue debido principalmente a los eventos de tipo TRE, con 6.36×10^{12} ergios que corresponden al 72%, seguida de los eventos VT con 2.41×10^{12} ergios que corresponden al 27% y finalmente los eventos LP con 8.31×10^{10} ergios, que corresponde al 1% de la

energía sísmica total liberada (Tabla 8 y Figura 6). El pico de energía se registró el 2 de enero con 6.38×10^{12} ergios, debida a 9 eventos, 7 de los cuales fueron de tipo TRE.

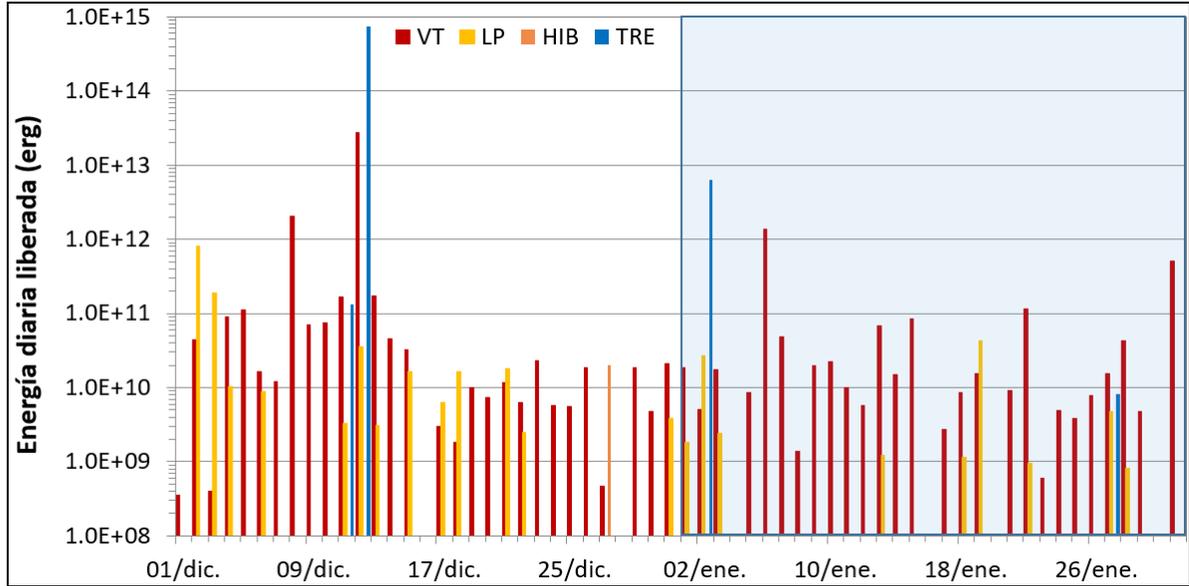


Figura 6. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	3.09E+13	1.12E+12	7.55E+14	2.01E+10	7.87E+14
Enero 2022	2.41E+12	8.31E+10	6.36E+12	0.00E+00	8.85E+12

Se localizaron 40 sismos VT, ubicados de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, en distancias entre 0.4 y 16 km, con profundidades entre 0.5 y 20 km con respecto a su cima (4200 msnm) y magnitud local máxima de 2.0 Richter (Figura 7). El evento de mayor magnitud ocurrido en enero 2022 se registró el día 6 de enero, a las 13:27 hora local, ubicado a 9.7 km al NE de la cima de Galeras, con profundidad de 20 km y magnitud local de 2.0 Richter. No hubo reportes de sismo sentido. La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 2 eventos VT con ML de 1.5 y 2.0 Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características.

Tabla 9. Sismos con ML de 1.5 y 2.0, volcán Galeras, enero 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
06/01/2022	13:27	1-18.17	77-19.55	20	2.0
28/01/2022	06:22	1-16.84	77-14.02	12	1.5

En enero 19 a las 05:10 hora local se registró un evento de baja energía asociado con tránsito de fluidos de fuente transitoria, con características de Tornillo (Figura 8), decaimiento lento de su coda y un espectro frecuencial con varios picos dominantes en 9.1Hz, 13.4Hz, 14Hz, 14.8Hz y 18.2Hz en la estación Anganoy (Figura 9). Su sismograma y su espectro en frecuencia indican que este evento está asociado con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del volcán Galeras.

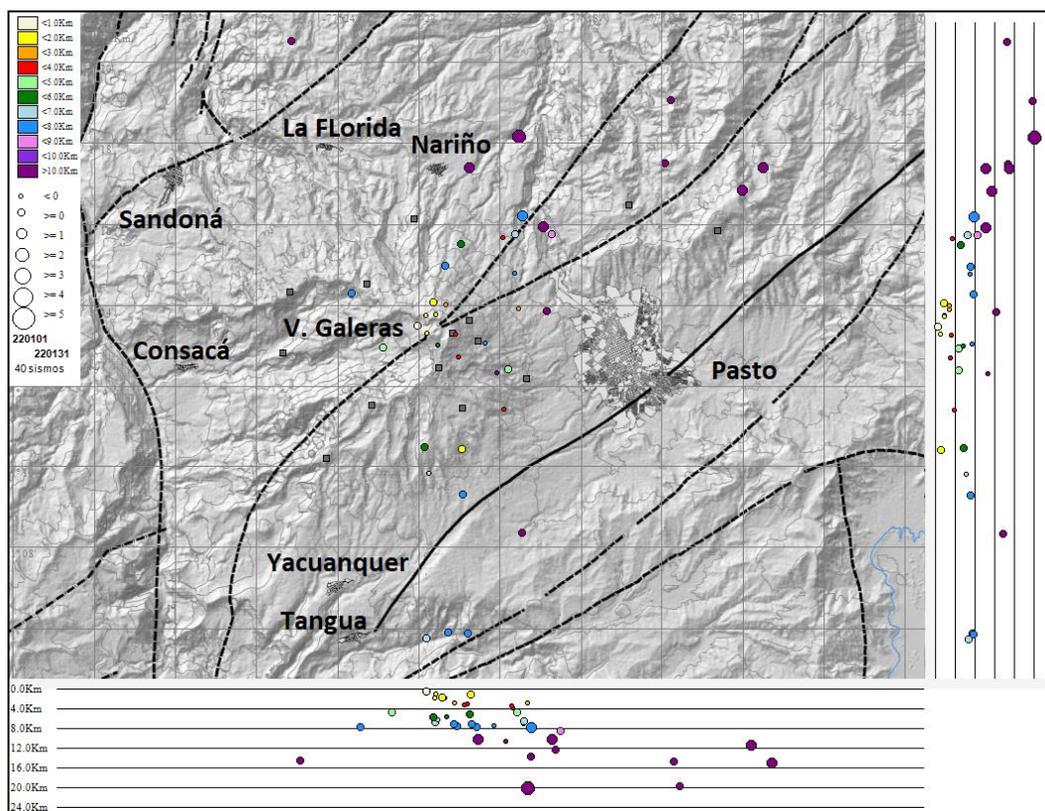


Figura 7. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2022

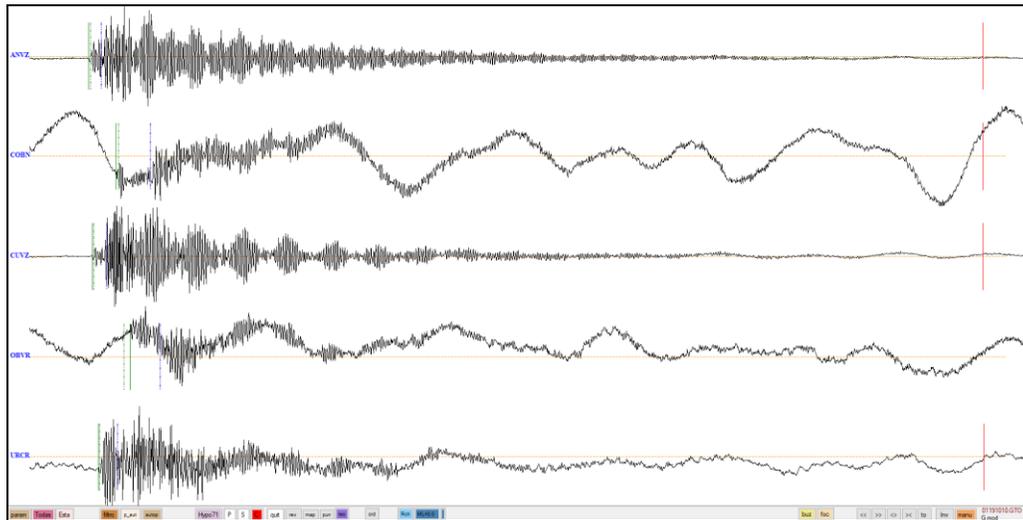


Figura 8. Sismograma del evento TOR de enero 19 en el volcán Galeras

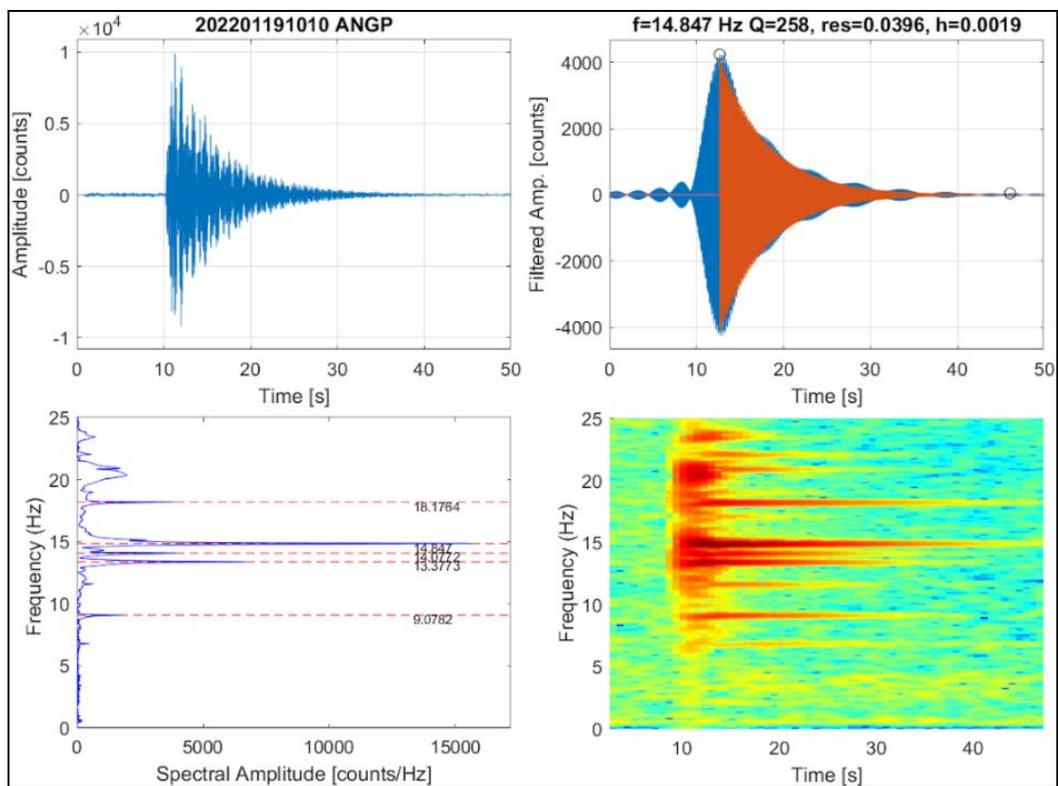


Figura 9. Sismogramas, señal filtrada y espectro en frecuencia del evento TOR de enero del 2022 en la componente vertical de la estación Angany del volcán Galeras

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

Las componentes de inclinación de las estaciones Cráter, Cobanegra, Cóndor, Calabozo, Peladitos y Huairatola continúan con tendencias estables, con variaciones que pueden estar asociadas con las condiciones atmosféricas imperantes en la zona. En las Figuras 10 y 11 se muestra el comportamiento de las estaciones Cráter y Peladitos realizando la corrección por temperatura. El inclinómetro Urcunina está por fuera de funcionamiento desde el 20 de diciembre de 2021 y Arlés, entre el 23 de octubre de 2021 y el 20 de enero de 2022.

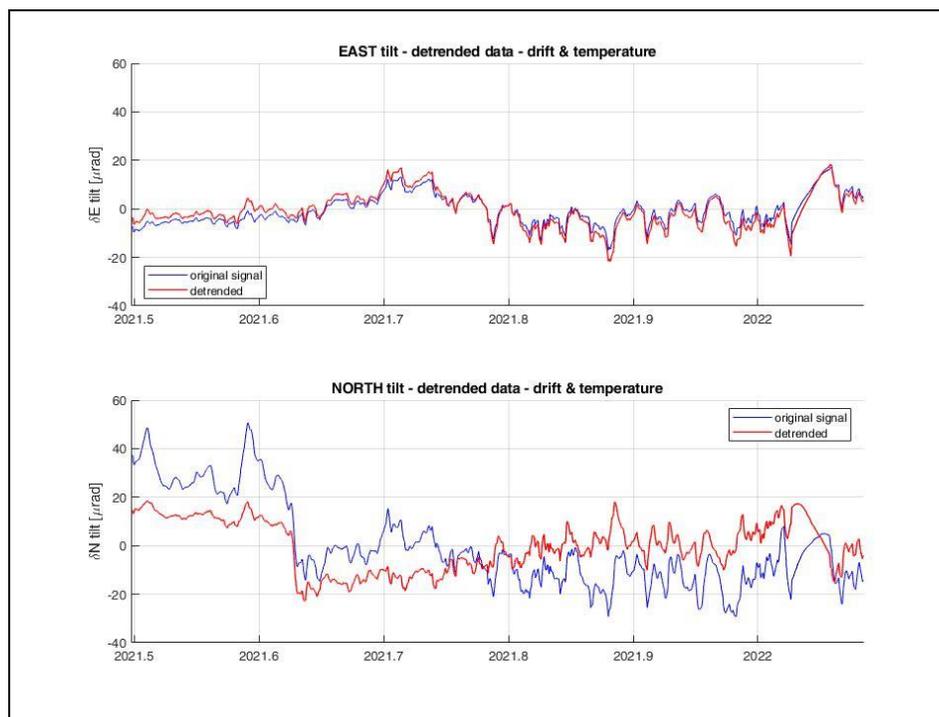


Figura 10. Comportamiento del inclinómetro Cráter para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

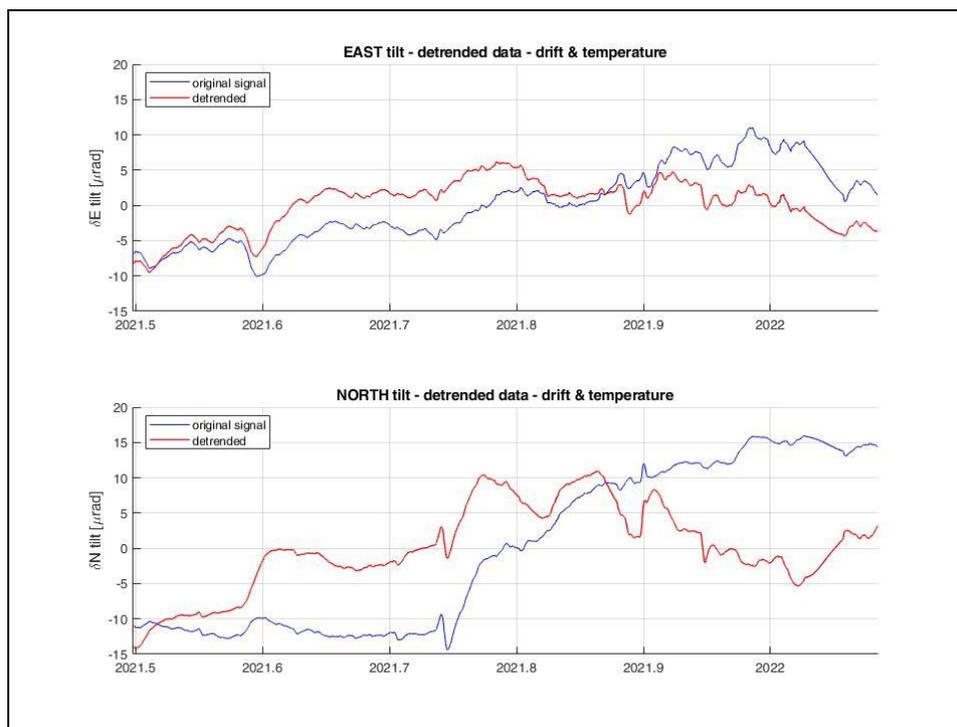


Figura 11. Comportamiento del inclinómetro Peladitos para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 11 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, ubicada al norte del volcán. De igual forma en este mes sustrajeron del sitio de instalación equipos de la estación GNSS El Ingenio, al noroccidente del cráter volcánico.

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.

Las estaciones que forman parte de la red de GNSS en el volcán Galeras continúan mostrando tendencias estables en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. Es de resaltar que se alcanza a notar un cambio en la componente vertical del GNSS Cráter desde mediados de 2021, sin embargo, ese comportamiento ya se había observado en el año anterior, lo cual puede estar asociado al comportamiento bimodal del clima en la zona. En la Figura 12, se indica el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra.

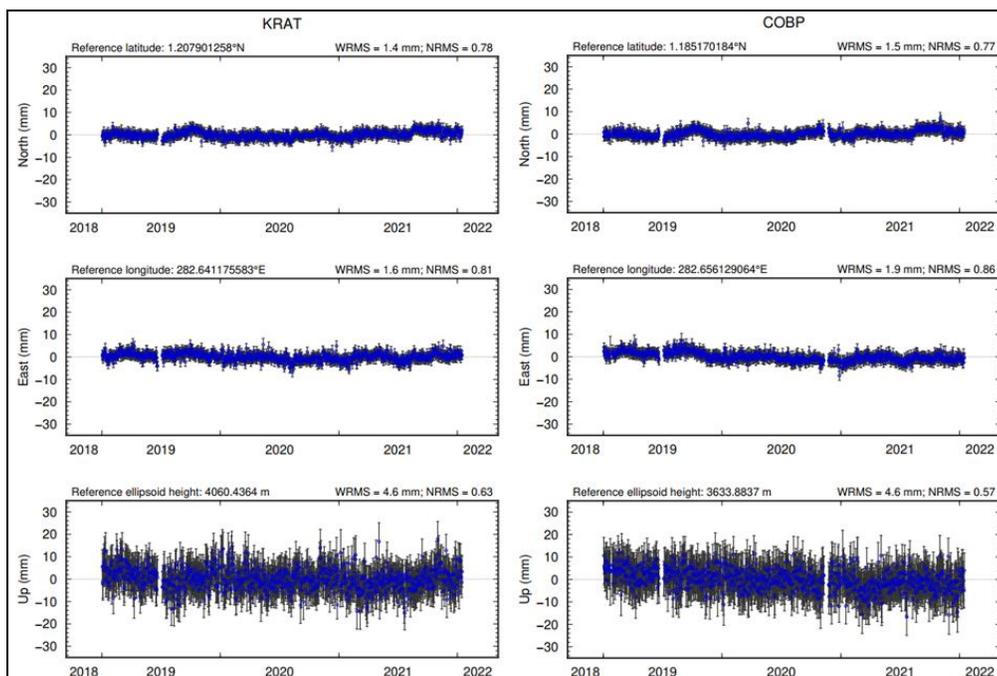


Figura 12. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cobanegra, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

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 13, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 14, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

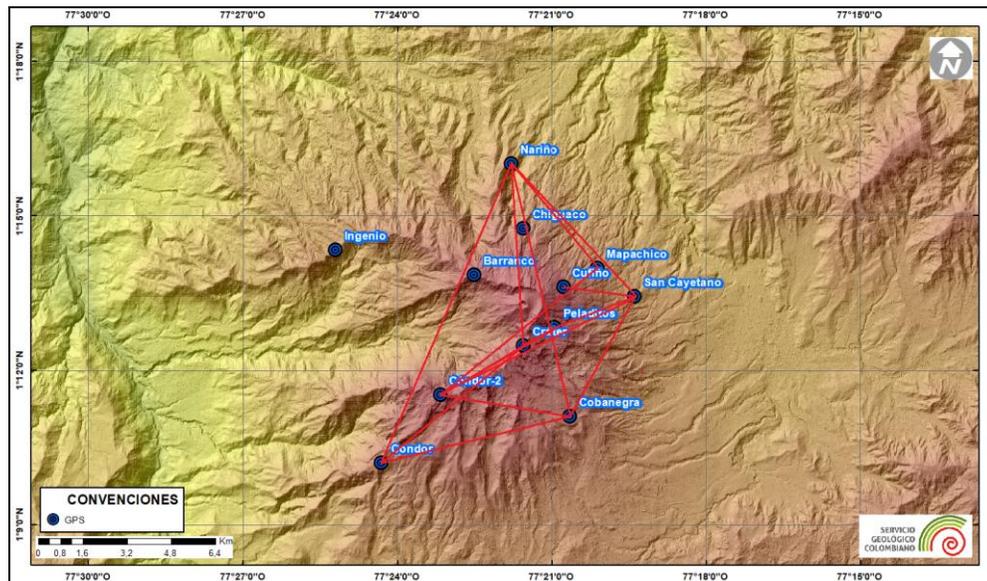


Figura 13. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

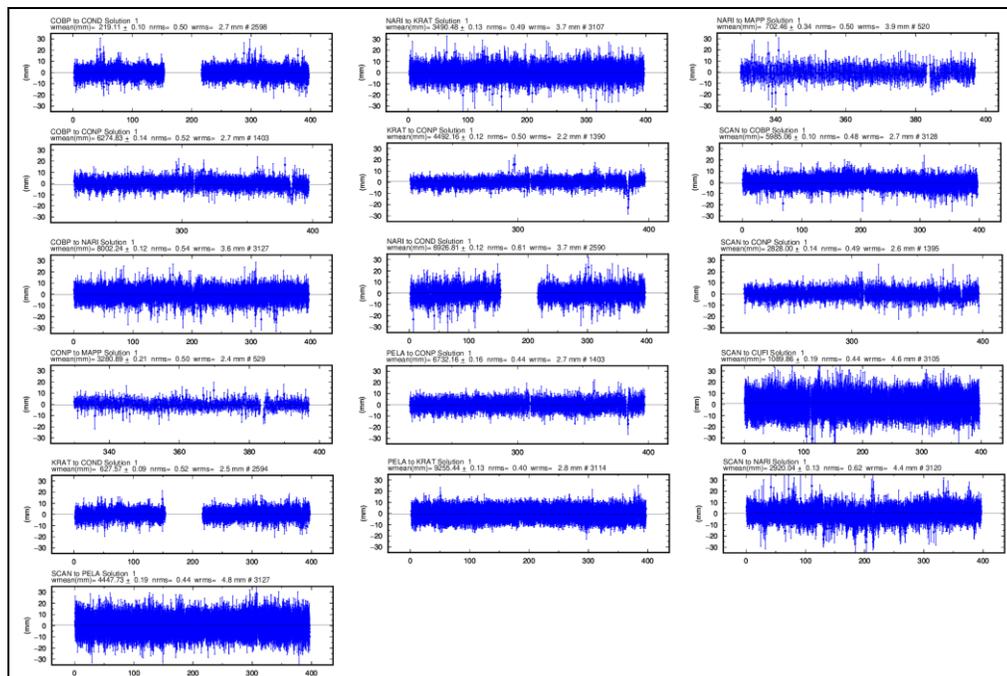


Figura 14. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de enero de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

1.3.4 D_InSAR

En la Figura 15, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona del volcán Galeras obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.

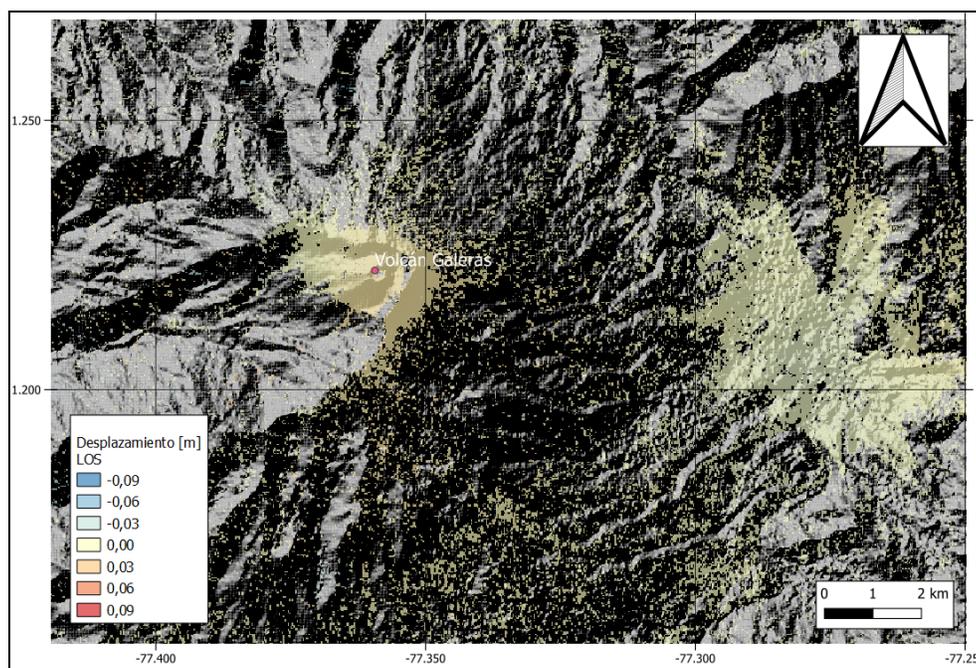


Figura 15. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Galeras

1.4 Electromagnetismo

En enero de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras se realizó usando la información de las estaciones Frailejón (FRA) y Deformes (DEF), que cuentan con sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Se ha tomado también la información de una estación de referencia llamado Kourou (KOU), ubicada en Guayana Francesa; para tratar de identificar efectos externos a la zona volcánica. El

sensor de campo eléctrico instalado en la estación FRA, aún no ha podido registrar por falta de sistema de digitalización.

En el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022, se evidencia que el comportamiento de las series de tiempo, de las estaciones monitoreadas, mostraron una tendencia promedio estable; con un valor de campo magnético total (CMT F) de alrededor de 28.315 nT en FRA y de alrededor de 29.150 nT en DEF; en tanto que la estación de referencia KOU, tuvo un valor promedio de alrededor de 28.575 nT.

A mediados de enero el comportamiento de las series de tiempo estuvo significativamente afectado por variaciones importantes, tanto en amplitud, como en frecuencia. Estas variaciones se asociaron con el fenómeno ocurrido en el clima espacial y que se originan por las llamaradas o eyecciones de masa del núcleo del Sol (Coronal Mass Ejection - CME), que son grandes expulsiones de masa o plasma y campo magnético del núcleo del sol, que se producen en los periodos de mayor actividad solar. Esos fenómenos ocurren con regularidad. Las velocidades de estas CME viajan a velocidades que van desde menos de 250 kilómetros por segundo (km/s) hasta cerca de 3.000 km/s, por lo que pueden llegar a nuestro planeta en términos de 15-18 horas, y las perturbaciones más lentas pueden tardar varios días en llegar.

Estas CME producen fenómenos como tormentas solares y tormentas geomagnéticas que ocurren en la atmosfera superior de la Tierra y afectan los datos registrados en los sensores magnéticos instalados en inmediaciones de las zonas volcánicas de estudio, mostrando variaciones, tanto en amplitud, como en frecuencia, en las fechas cuando las CME llegan a la Tierra. En los sensores magnéticos de FRA, DEF e incluso en el de la estación de referencia KOU es evidente la afectación de estas tormentas, que se pueden ver en los registros del índice Kp que mide la intensidad de estas tormentas geomagnéticas (Figura 16). Para el periodo entre octubre de 2021 a enero de 2022, la intensidad de las tormentas geomagnéticas, estuvieron en un rango entre 1 a 7; para el periodo evaluado la de mayor intensidad se presentó entre el 14 y 15 de enero (Kp 5). Se hace evidente la perturbación que estas tormentas de alto índice Kp ejercen sobre los registros, modificando el nivel base de las series de tiempo de las estaciones, así como también su amplitud y la frecuencia (Figuras 16 y 17).

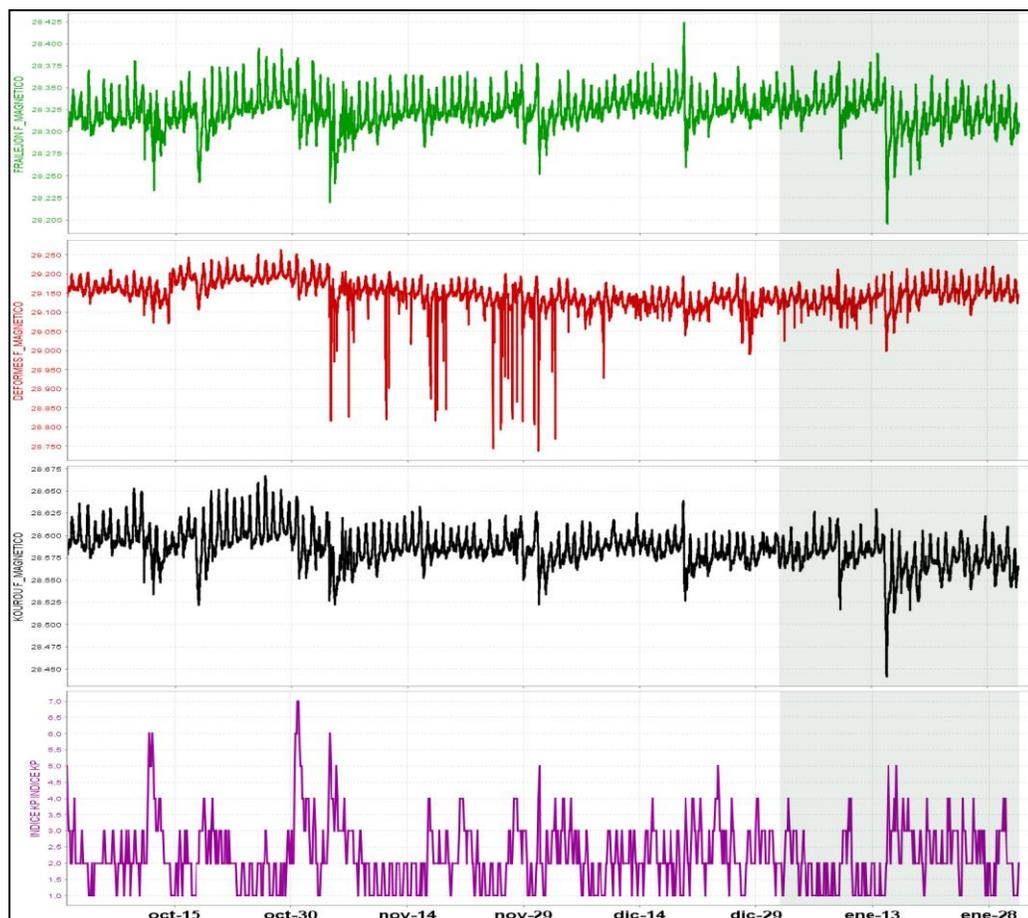


Figura 16. CMT-F en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y DEF (rojo), comparadas con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022

Las alertas de tormentas geomagnéticas las recibimos por medio del sistema de alertas 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). Por otra parte, la estación Kourou (KOU) se ha seleccionado como estación de referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia y porque KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cercana a la zona de los volcanes de Nariño.

En el mes de enero de 2022, los fenómenos más evidentes en los registros magnéticos fueron las variaciones periódicas con periodos de; un día (variaciones día/noche), 12 y 8 horas y, muy especialmente, los efectos de las perturbaciones por las tormentas

geomagnéticas. En general y tomando el valor promedio móvil de las series de tiempo para disminuir los efectos de las variaciones seculares diarias, las variaciones periódicas tuvieron amplitudes máximas de hasta 70 nT en la estación FRA, de 60 nT en DEF y de 65 nT en KOU; en las fechas cuando se presentaron tormentas geomagnéticas (Figura 17) lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del volcán Galeras.

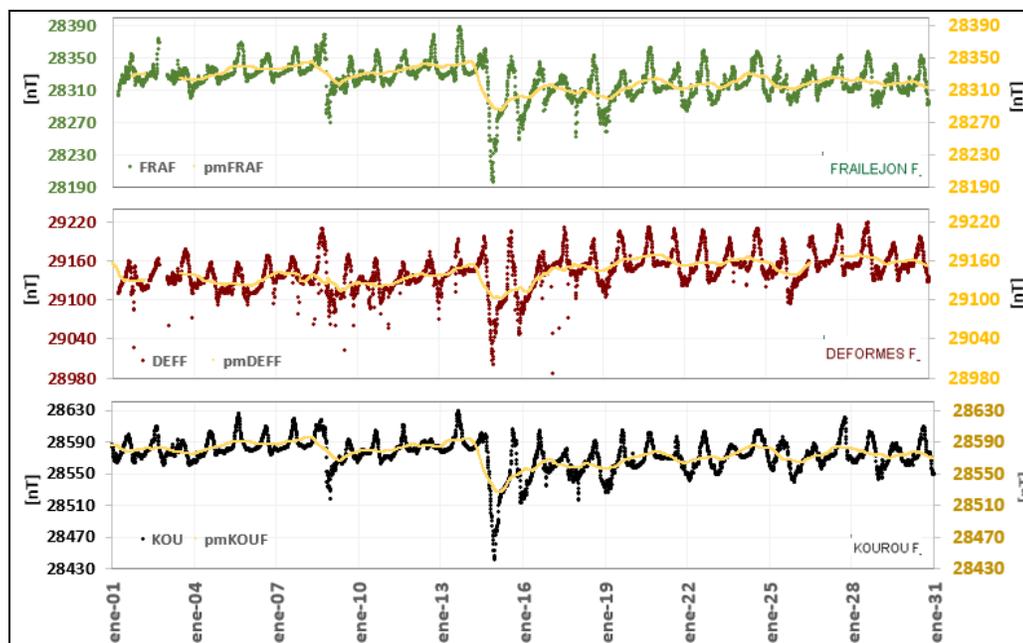


Figura 17. Variaciones del CMT-F, en las estaciones FRA (verde), DEF (roja) y KOU (negra), para el mes de enero de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas, razón por la cual, en zona de influencia del volcán Galeras, se tiene instalado tres estaciones para seguimiento de este gas (Figura 3 – Red de Vigilancia).

El comportamiento de radón emitido desde las estaciones Lavas, Lirios y Parques, presentan oscilaciones diferentes entre sí, posiblemente influenciadas por factores externos, tales como la temperatura, las lluvias, la porosidad del suelo, entre otros.

En la Figura 18 y Tabla 10 se presenta la información correspondiente a la estación Lavas, se puede identificar que para el periodo evaluado se presenta mayor dispersión en el registro, en comparación con fechas anteriores, dificultando identificar algún tipo de tendencia o relación con la lluvia o la actividad sísmica.

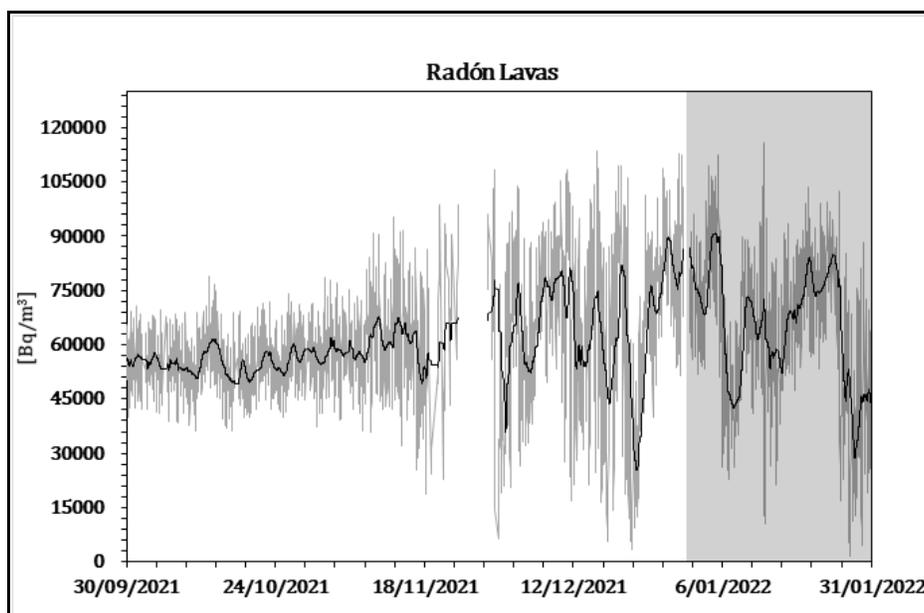


Figura 18. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lavas (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 10. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³ - estación Lavas - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022

Valor	Diciembre 2021	Enero 2022
Mínimo	3452	1479
Promedio	63412	64457
Máximo	113491	115965

En la Figura 19 y Tabla 11, se presenta la información correspondiente a la estación Lirios, la media móvil, representada en la línea de coloración negra, permite evidenciar estabilidad en los valores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

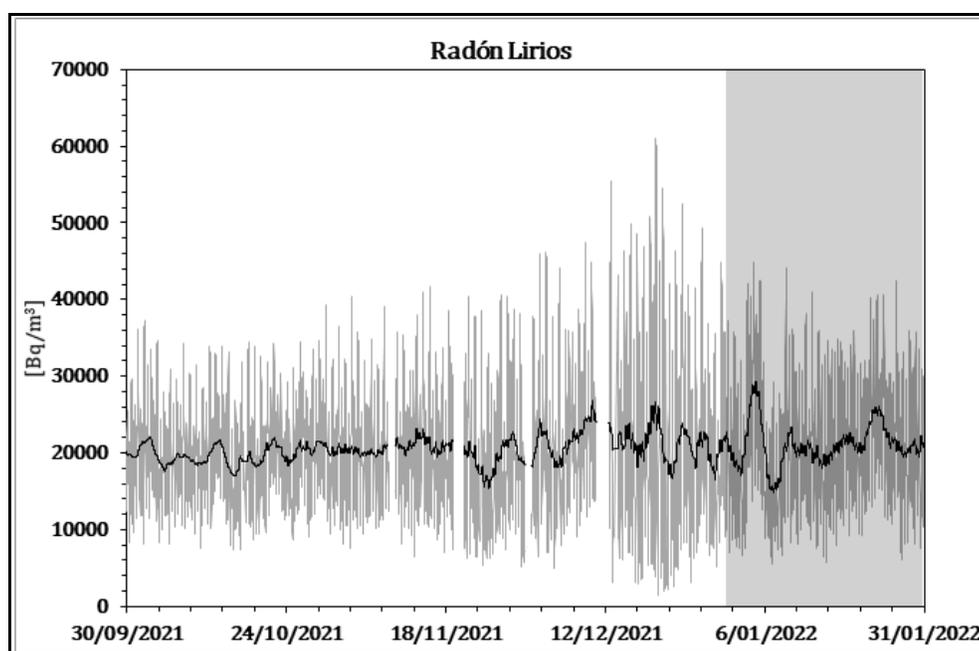


Figura 19. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Lirios (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 11. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³ - estación Lirios - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022

Valor	Diciembre 2021	Enero 2022
Mínimo	1425	5560
Promedio	21458	21071
Máximo	61048	44945

La Figura 20 y Tabla 12, muestra la información correspondiente a la estación Parques, la media móvil, permite evidenciar estabilidad en los valores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

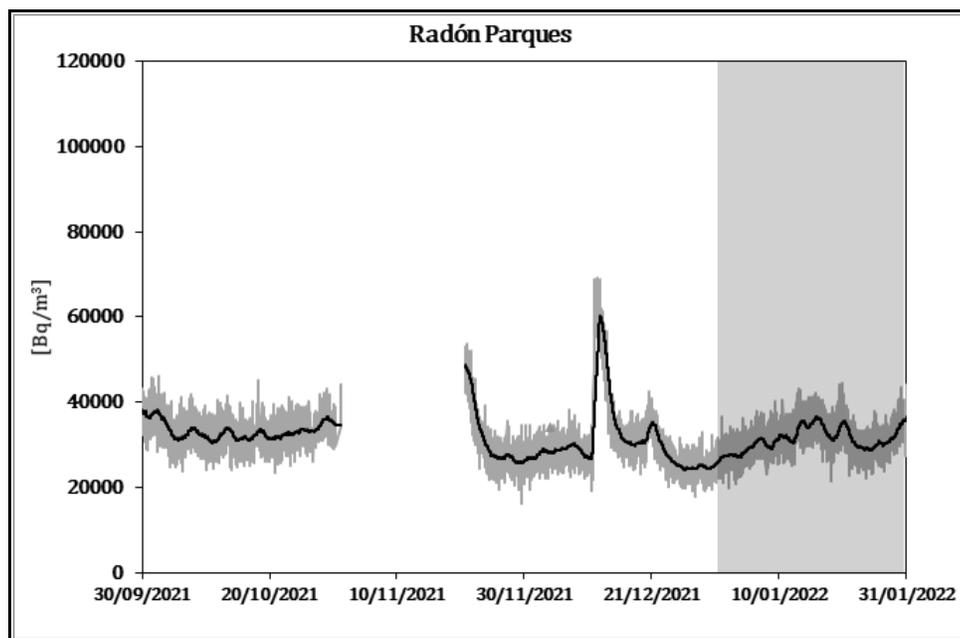


Figura 20. Concentración radón difuso en suelo - volcán Galeras - estación Parques (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 12. Valores de concentración de radón en unidades de Bq/m³- estación Parques - Volcán Galeras diciembre de 2021 - enero de 2022

Valor	Diciembre 2021	Enero 2022
Mínimo	19109	19869
Promedio	31336	31660
Máximo	69079	47609

1.5.1.2 Estación Térmica Deformes

Desde agosto de 2018, en esta fumarola se tiene instalada una estación telemétrica para medida de la temperatura (Figura 3 en Red de Vigilancia), sin embargo, en sitios extremos como lo son los campos fumarólicos, en donde la temperatura es elevada y el ambiente es altamente corrosivo, se hace difícil mantener en funcionamiento continuo este tipo de estaciones. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, no fue posible dejar en funcionamiento la termocupla en el campo fumarólico, razón por la cual se

optó por al menos dejarla cerca para medir la temperatura ambiente y en caso de presentarse cambios importantes, se espera que se vean reflejados en este registro, en la Figura 21 y Tabla 13, se muestra el comportamiento gráfico y la estadística básica respectivamente, los máximos se registran en el día, mientras que los mínimos en la noche, en el mes evaluado se evidencia un leve descenso a mediados de enero pero que se encuentra dentro de la línea base que se está construyendo.

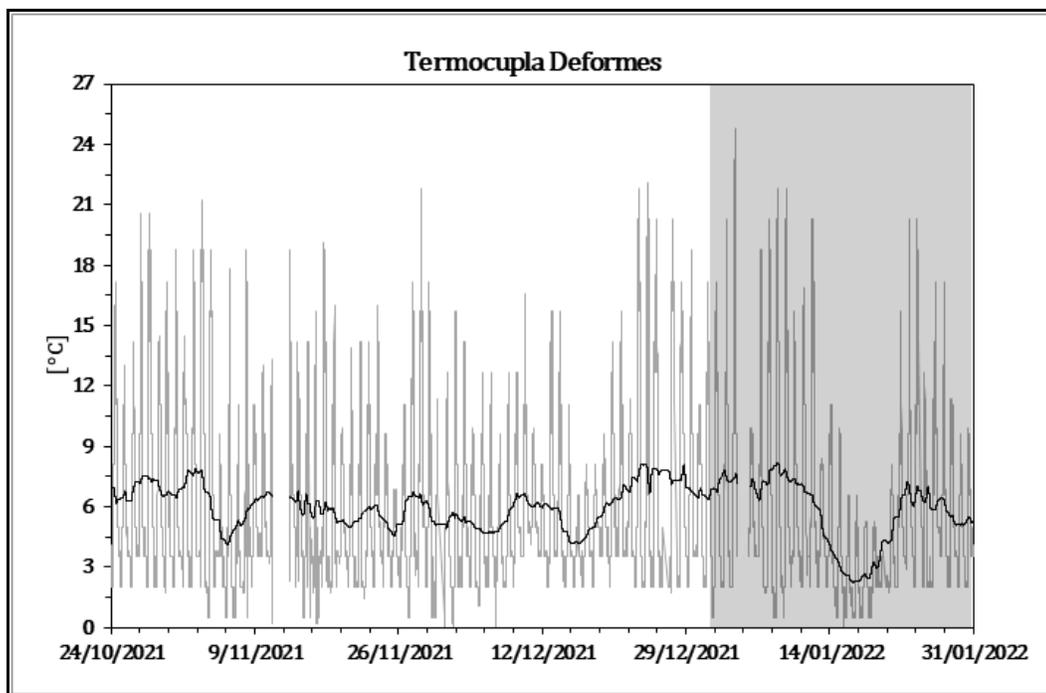


Figura 21. Temperatura, en grados Celsius (°C) - volcán Galeras - Estación térmica Deformes, (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 13. Valores de temperatura en grados Celsius (° C) - Estación Térmica Deformes - Volcán Galeras - enero de 2022

Valor	Enero 2022
Mínimo	0.5
Promedio	5.7
Máximo	24.8

1.5.1.3 Muestreo de aguas en fuentes Termales

1.5.1.3.1 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

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

1.5.1 Pluviómetros

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

1.6 Actividad Superficial

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

Durante los días 1, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 22, 24, 25, 27 y 29 del mes de enero de 2022, 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, con columnas de color blanco, poca altura y dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 22 a 29 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 22. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 1 de enero de 2022 a las 9:19 a.m., (izquierda) y para el día 4 de enero de 2022 a las 8:24 a.m., (derecha)



Figura 23. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 7 de enero de 2022 a las 1:12 p.m., (izquierda) y para el día 8 de enero de 2022 a las 6:02 a.m., (derecha)

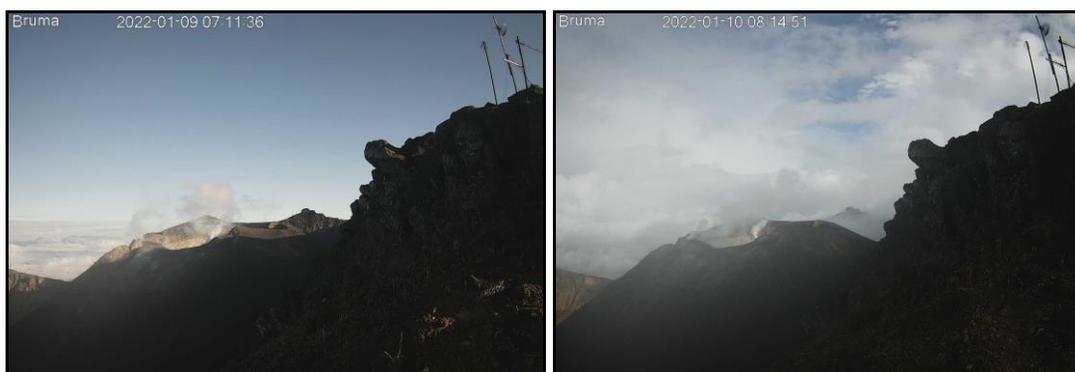


Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 9 de enero de 2022 a las 7:11 a.m., (izquierda) y para el día 10 de enero de 2022 a las 8:14 a.m., (derecha)

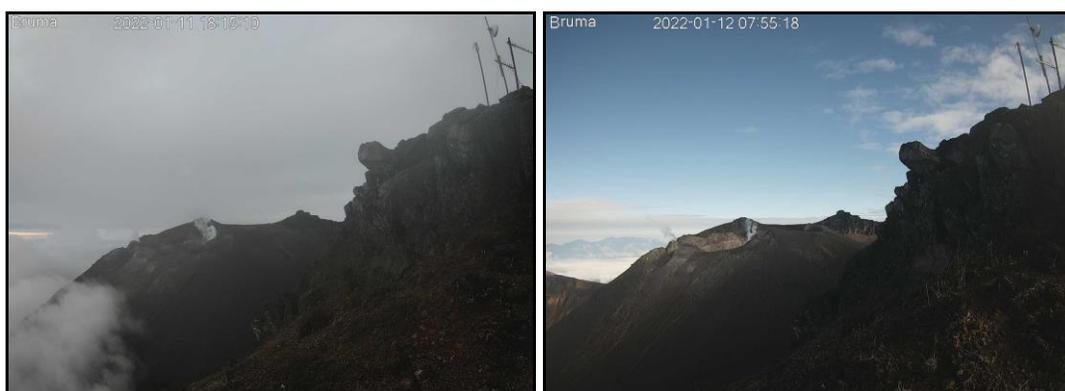


Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 11 de enero de 2022 a las 6:15 p.m., (izquierda) y para el día 12 de enero de 2022 a las 7:55 a.m., (derecha)



Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 13 de enero de 2022 a las 5:36 p.m., (izquierda) y para el día 15 de enero de 2022 a las 3:55 p.m., (derecha)

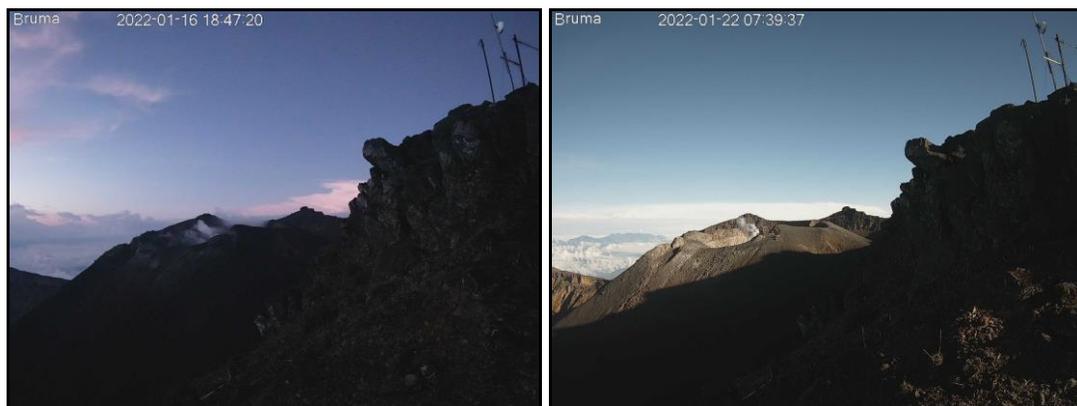


Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 16 de enero de 2022 a las 6:47 p.m., (izquierda) y para el día 22 de enero de 2022 a las 7:39 a.m., (derecha)



Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 24 de enero de 2022 a la 1:02 p.m., (izquierda) y para el día 25 de enero de 2022 a las 7:41 a.m., (derecha)



Figura 29. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma para el día 27 de enero de 2022 a las 7:54 a.m., (izquierda) y para el día 29 de enero de 2022 a las 6:36 p.m., (derecha)

1.7 Conclusiones

- En enero del 2022 en el volcán Galeras se registró disminución en la ocurrencia y la energía de los sismos, la mayoría de ellos asociados con fractura de material cortical. Se destaca la ocurrencia de un evento con magnitud local de 2.0 Richter, sin reportes de sismo sentido.
- El gas radón emitido y registrado en enero de 2022 se encuentra dentro de la línea base registrada.
- Se registra estabilidad en la temperatura ambiente registrada cerca a la fumarola Deformes.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en enero 2022 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2022

2.1 Red de Vigilancia

En enero de 2022 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cinco estaciones sísmicas telemétricas: Tres de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 30, Tabla 14).
- Un sensor de presión acústica ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 30).
- 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 otra, en el sector del Boliche (Figura 30).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 31, Tabla 14).

Para el periodo evaluado las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 84% (Figura 32).

Tabla 14. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2022

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
Limonos	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
Agua Colorada	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	6,1	ESE	3505
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limonos	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

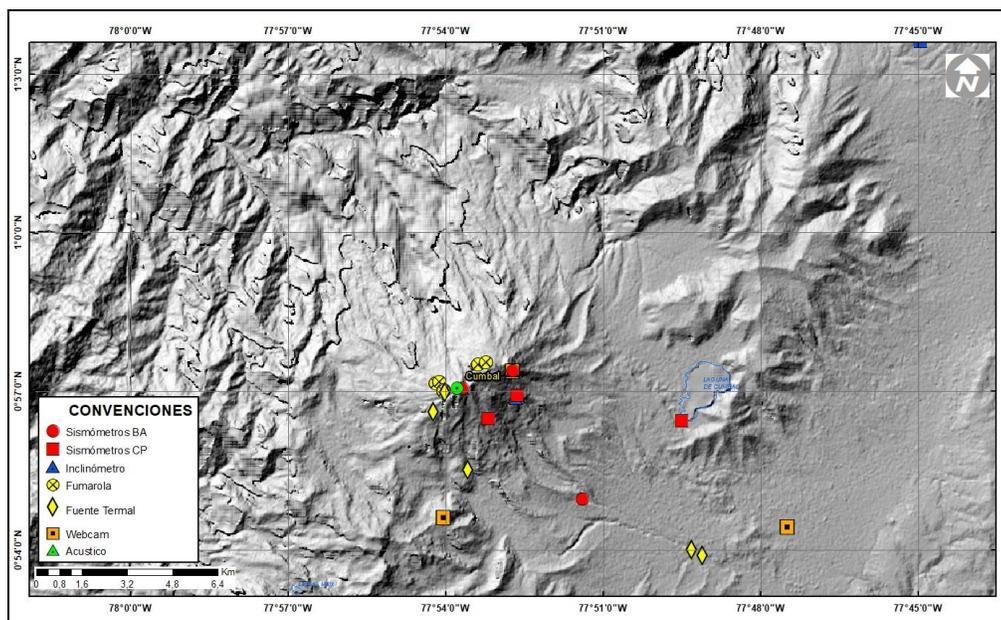


Figura 30. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2022

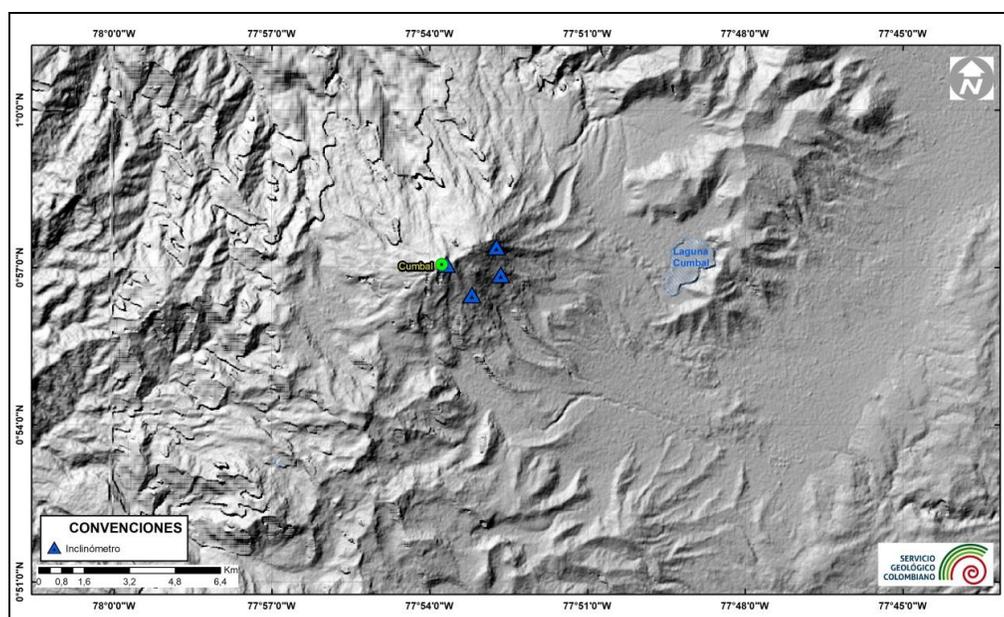


Figura 31. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2022

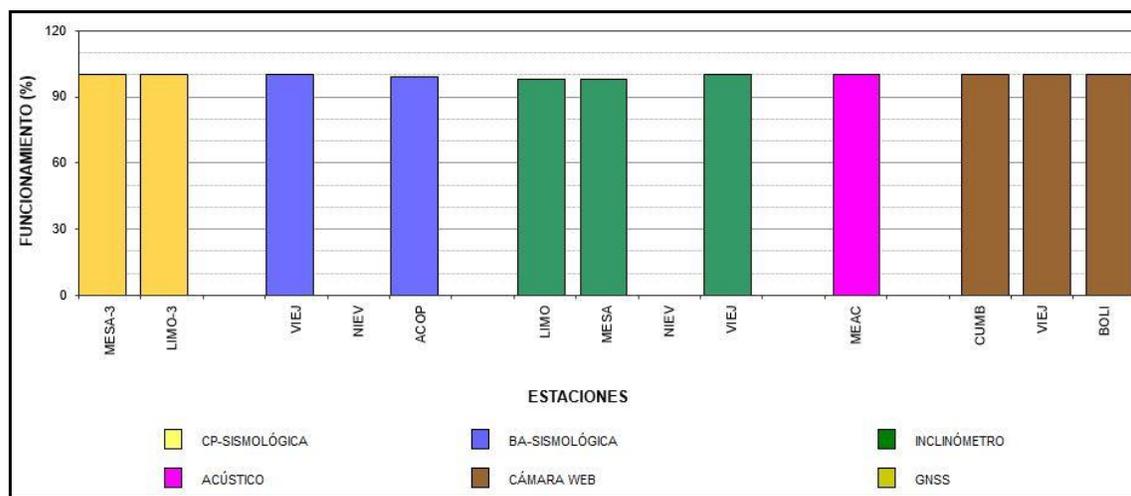


Figura 32. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2022

2.2 Sismología

En enero 2022 la ocurrencia sísmica en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), disminuyó un 35%, pasando de 3891 a 2510 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 1257 eventos, que equivalen al 50% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LP) con 993 eventos, que representan el 39%, seguida de 215 episodios de tremor (TRE), equivalentes al 9% y finalmente 45 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 2% (Tabla 15, Figura 33). El pico de ocurrencia se presentó el primero de enero con 215 eventos (116 VT, 88 LP, 10 TRE y 1 HIB).

Los sismos de tipo VT incrementaron su ocurrencia 13% pasando de 1114 a 1257 eventos, los LP disminuyeron 39% su número, pasando de 1627 a 993 eventos, los episodios de tremor TRE disminuyeron 80% su número, pasando de 1094 a 215 eventos, finalmente los HIB disminuyeron su número 2%, pasando de 56 a 45 eventos (Tabla 15, Figura 33).

Tabla 15. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2021, enero 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	1114	1627	1094	56	3891
Enero 2022	1257	993	215	45	2510

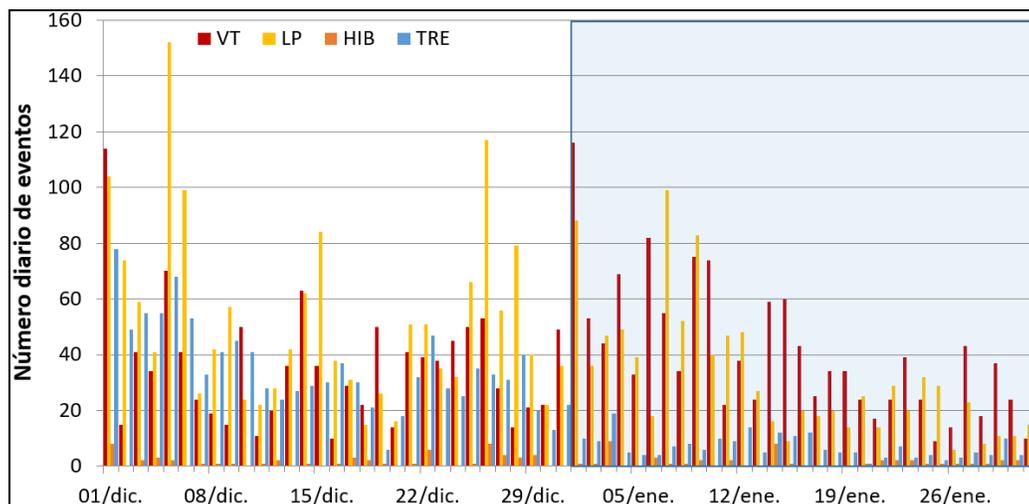


Figura 33. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado

La energía sísmica liberada disminuyó 5% su valor, pasando de 4.81×10^{10} ergios a 4.59×10^{10} ergios, correspondiendo un 99% a los eventos de tipo VT con 4.55×10^{10} ergios, el restante 1% corresponde a la energía sumada de los otros tipos de eventos, los LP con 2.13×10^8 ergios, los eventos de tipo TRE con 5.79×10^7 ergios y finalmente los eventos de tipo HIB con 1.63×10^8 ergios. El pico energético se presentó el 16 de enero, con 4.51×10^{10} ergios (Tabla 16, Figura 34).

La energía de VT incrementó 116 veces su valor, pasando de 3.92×10^8 ergios a 4.55×10^{10} ergios, la energía de LP disminuyó 98% su valor, pasando de 8.71×10^9 ergios a 2.13×10^8 ergios, la energía de los episodios de TRE disminuyó 673 veces su valor, pasando de 3.90×10^{10} ergios 5.79×10^7 ergios, finalmente la energía de los HIB incrementó 5 veces su valor, pasando de 3.29×10^7 ergios a 1.63×10^8 ergios (Tabla 16), Figura 34).

Tabla 16. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	3.92E+08	8.71E+09	3.90E+10	3.29E+07	4.81E+10
Enero 2022	4.55E+10	2.13E+08	5.79E+07	1.63E+08	4.59E+10

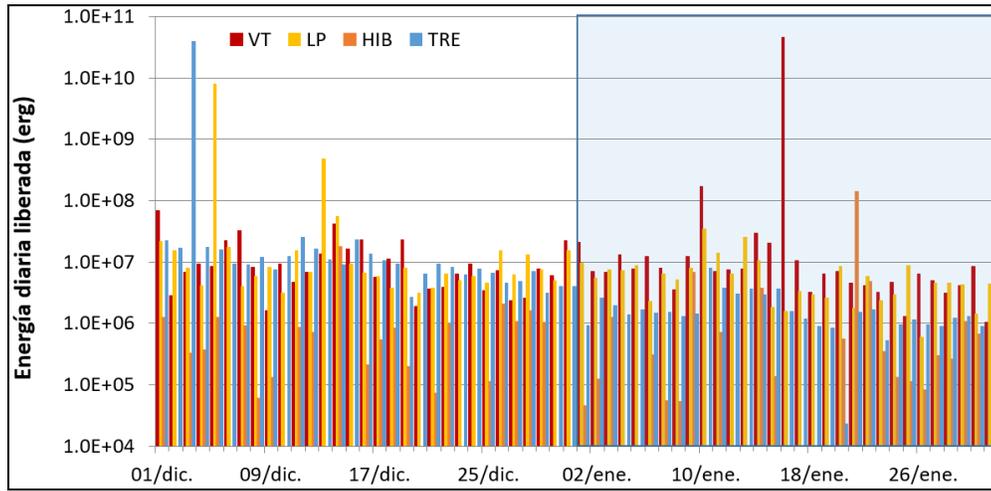


Figura 34. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante diciembre 2021 y enero 2022; el recuadro indica el periodo evaluado

Se registraron 20 eventos de tipo Tornillo (TOR) de baja energía en enero del 2022, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes, 6 de los cuales se muestran en la Figura 35, por presentar su sismograma más limpio o sea con menos ruido en la componente vertical de la estación Limones del CVC. Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de enero 2022, presentaron picos dominantes en 1.5Hz, 2.6Hz, 3.1 a 3.5Hz, 4.3 a 4.8Hz, 6.1 a 6.6Hz y 8.5Hz. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

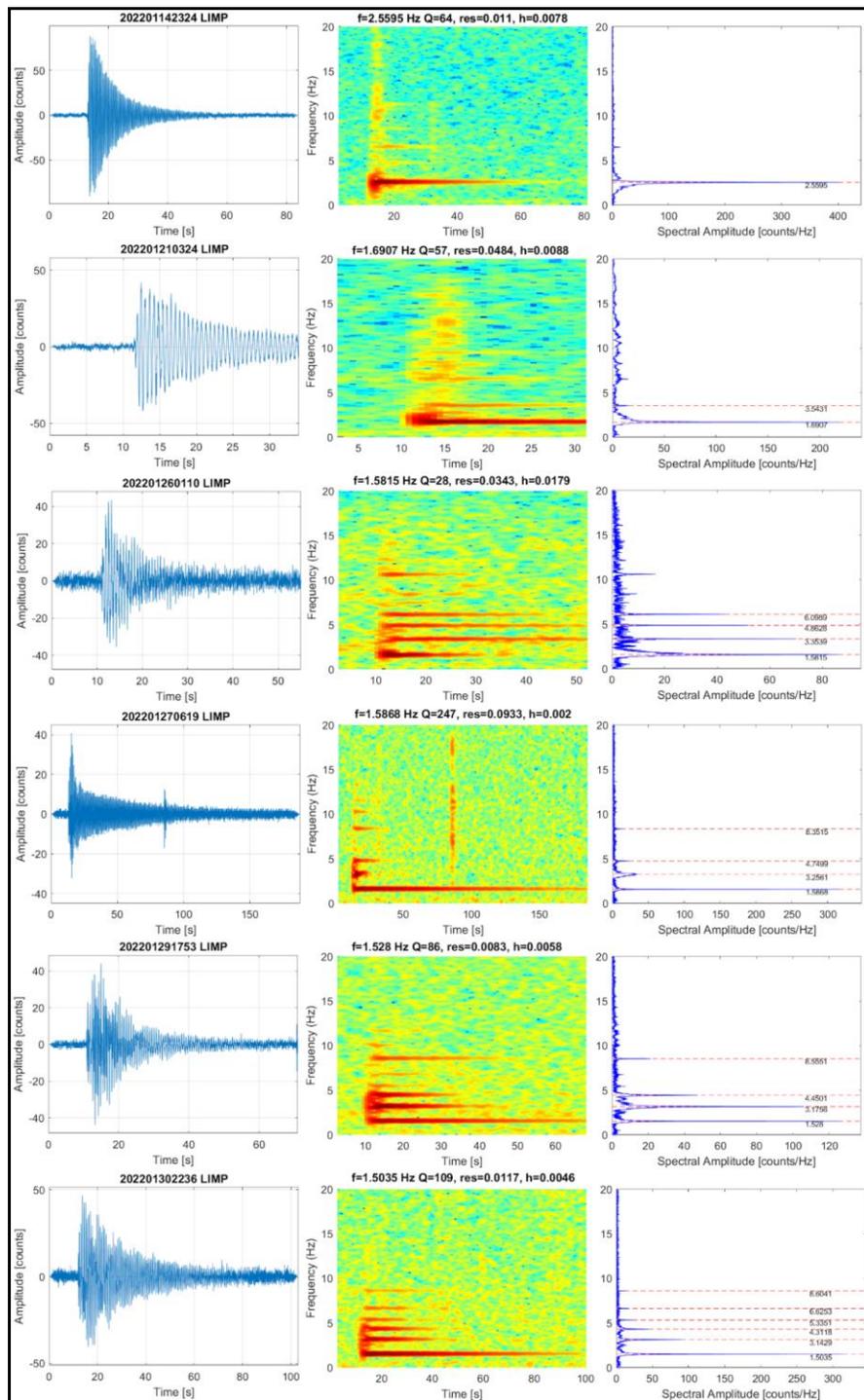


Figura 35. Sismogramas y espectros en frecuencia de 6 eventos TOR de enero del 2022 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

Se localizaron 178 sismos de baja energía, la gran mayoría de ellos ubicados en dos grupos definidos, uno de ellos siguiendo un alineamiento estructural inferido en la zona, con orientación SE – NW, el otro grupo ubicado de manera paralela a la izquierda del anterior, siguiendo la misma orientación, en profundidades menores de un kilómetro y unos pocos sismos se ubicaron dispersos en la zona de influencia del complejo. En general los sismos se ubicaron en profundidades entre 0.5 y 8 km, con respecto a la altura del cráter de Plazuelas (4700 m), distancias entre 0.3 y 11 km y con magnitud local máxima de 2.5 Richter (Tabla 17, Figura 36). El sismo de mayor magnitud se registró el 16 de enero del 2022 a las 23:15 hora local, se ubicó a 5.2 km al E - SE, con profundidad de 3.7 y ML de 2.5 Richter, sin reportes de sismo sentido. La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 5 sismos VT, con ML entre 1.0 y 2.5 en la escala de Richter y en la Tabla 17se consignan sus características de localización.

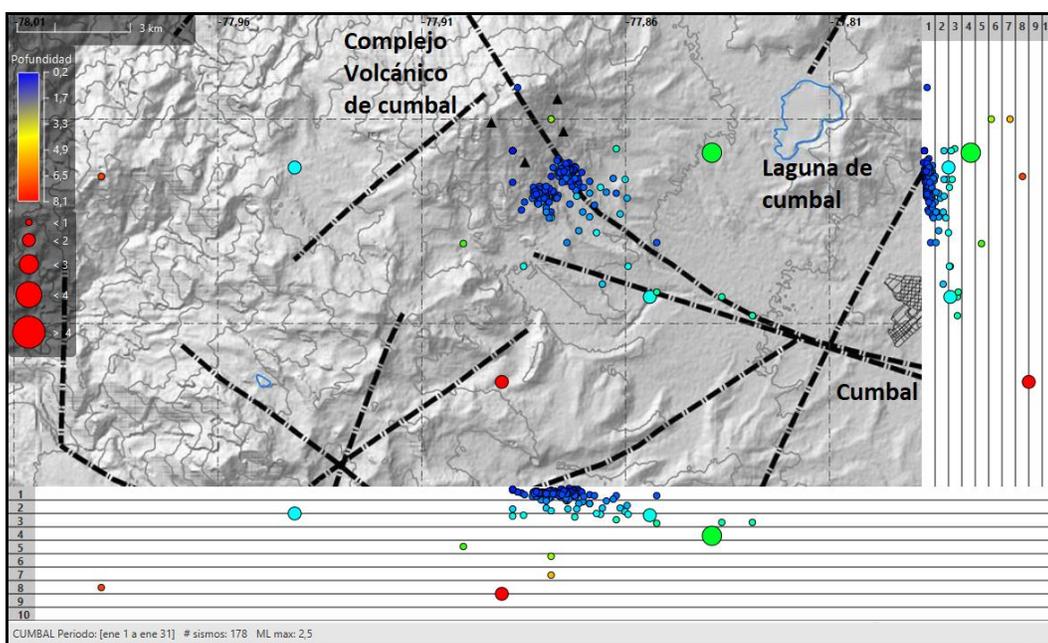


Figura 36. Sismos localizados en el CVC, enero 2022

Tabla 17. Sismos con ML entre 1.0 y 2.5 en el CVC, enero 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
09/01/2022	14:49	0-54.47	77-51.34	2	1.0
11/01/2022	18:34	0-53.25	77-53.45	8	1.1
16/01/2022	23:15	0-54.72	77-50.72	2	2.5
18/01/2022	12:51	0-56.34	77-56.41	2	1.2
22/01/2022	00:13	0-51.22	77-58.23	8	1.0

2.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 3 inclinómetros electrónicos. El inclinómetro Nieve está por fuera desde el 24 de octubre de 2020.

2.3.1 Inclinometría Electrónica

Las componentes de inclinación de las estaciones Limones, Punta Vieja y La Mesa, muestran tendencias estables. A manera de ejemplo en la Figura 37 se indica el comportamiento de la estación Limones.

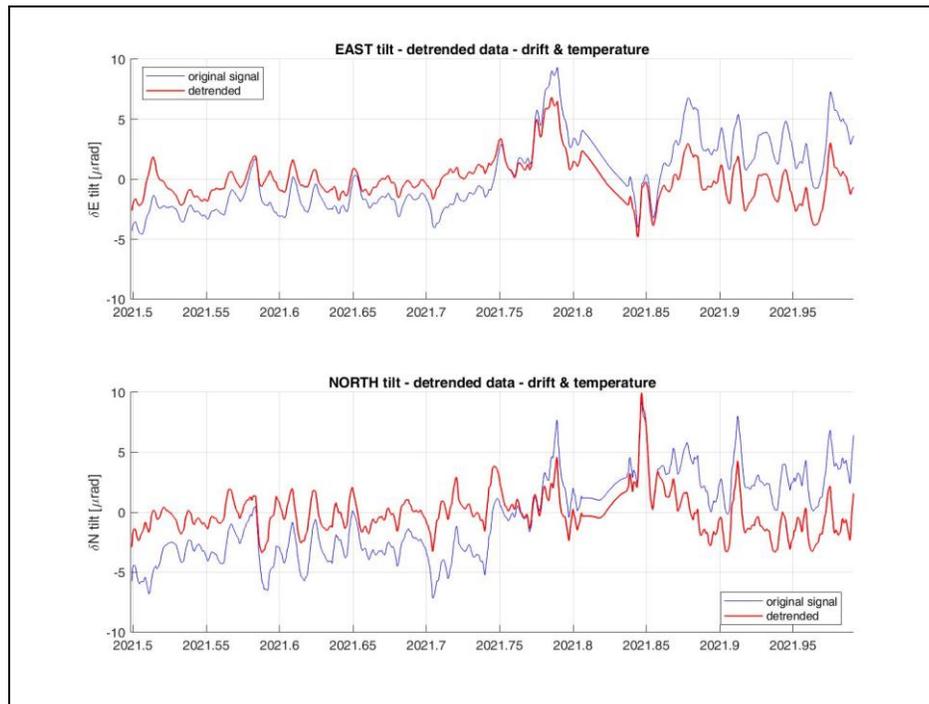


Figura 37. Comportamiento del inclinómetro Limones para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

2.3.2 D_InSAR

En la Figura 38, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Cumbal obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética

Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.

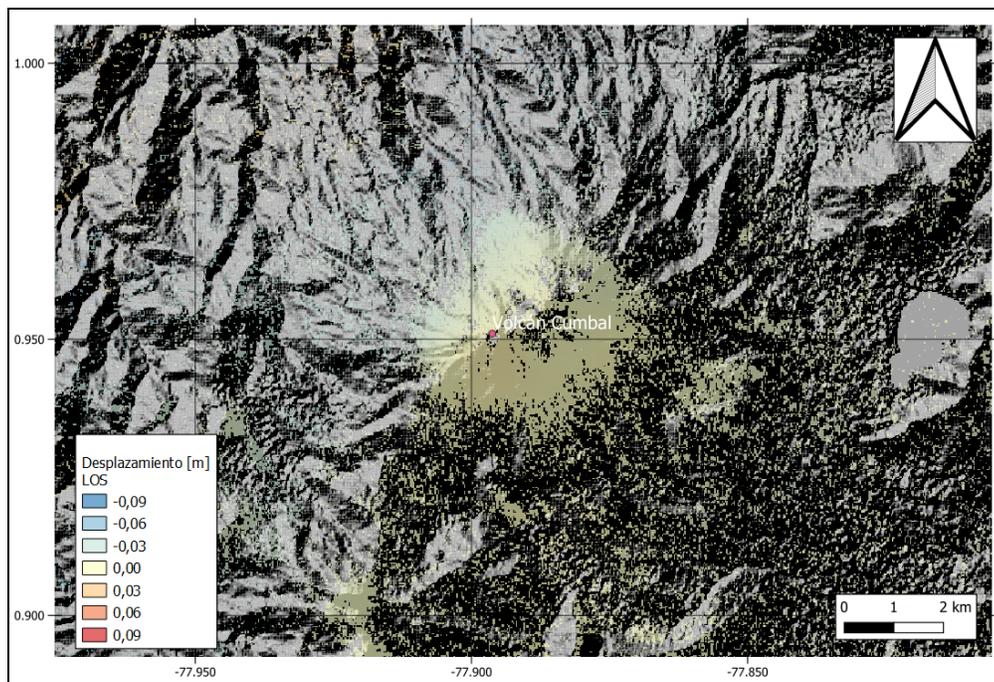


Figura 38. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Cumbal

2.4 Electromagnetismo

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

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

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

2.5.2 Estimación cualitativa de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂)

El satélite Sentinel-5 Precursor (S-5P), lanzado en el año 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la calidad del aire, cuenta con el instrumento TROPOMI (Instrumento de Monitoreo TROPOsférico), el cual es un sensor multispectral que registra concentraciones de ozono, metano, formaldehído, aerosol, monóxido de

carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Google Earth Engine, 2018). Dado que permite realizar estimaciones de SO_2 , a partir de la fecha en los informes mensuales se presentará graficas del comportamiento de las emisiones de SO_2 , obtenidas a través de la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días” desarrollada por el ingeniero Carlos Laverde del SGC y que usa información del satélite Sentinel-5 Precursor (Laverde, 2020).

En la Figura 39 se muestra el comportamiento de las emisiones de SO_2 que abarca el mes de enero de 2022, dividido en dos imágenes con mapas que corresponden al promedio de 15 días con centro en las fechas especificadas en cada una de las figuras. Se puede evidenciar que en los primeros 15 días se registraron emisiones cercanas a 0.2 Unidades Dobson (DU) identificadas por la coloración roja, mientras que en los últimos 15 días en el CVC las emisiones son aproximadamente de 0.12 DU, es decir que han disminuido levemente respecto al primer periodo.

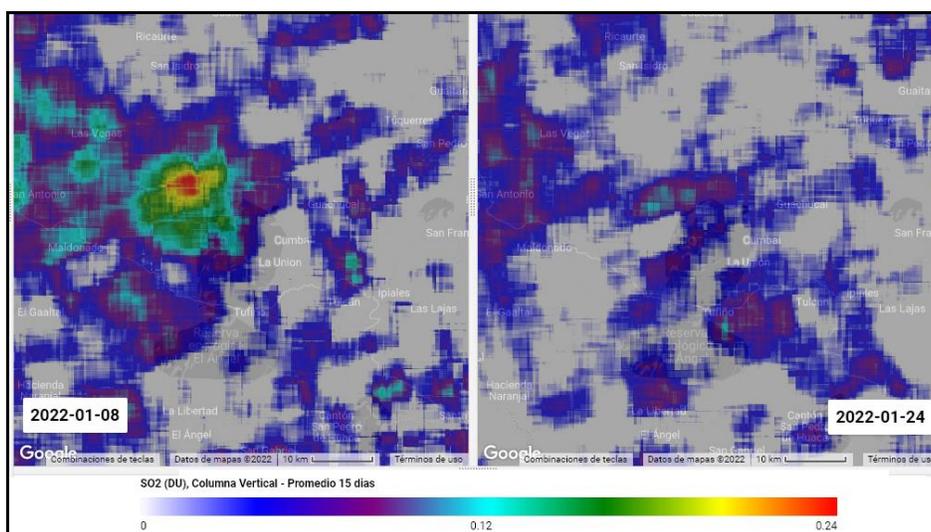


Figura 39. Estimación de SO_2 obtenido con la aplicación TROPOMI, en la parte inferior se muestra las unidades de medida (DU) y su representación con la respectiva escala de colores

2.6 Actividad Superficial

Para los días 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 17, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 del mes de enero de 2022 con las cámaras web de Cumbal, Punta Vieja y del Boliche se observó emisiones de gases provenientes principalmente desde los campos fumarólicos EL Verde en el cono de La Plazuela, al noreste del complejo y Los Rastrojos, Las Bandas y Boca Vieja, en el cono de Mundo Nuevo al suroccidente del complejo, con columnas de color blanco, altura y dirección variables por acción de los vientos.

En las Figuras 40 a 49 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.



Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada el 1 de enero de 2022 por la cámara ubicada en el sector del Boliche a las 6:20 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja para el día 2 de enero a las 7:44 a.m., (derecha)



Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 3 de enero de 2022 a las 6:46 p.m., (izquierda) y para el día 4 de enero de 2022 a las 2:51 p.m., (derecha)

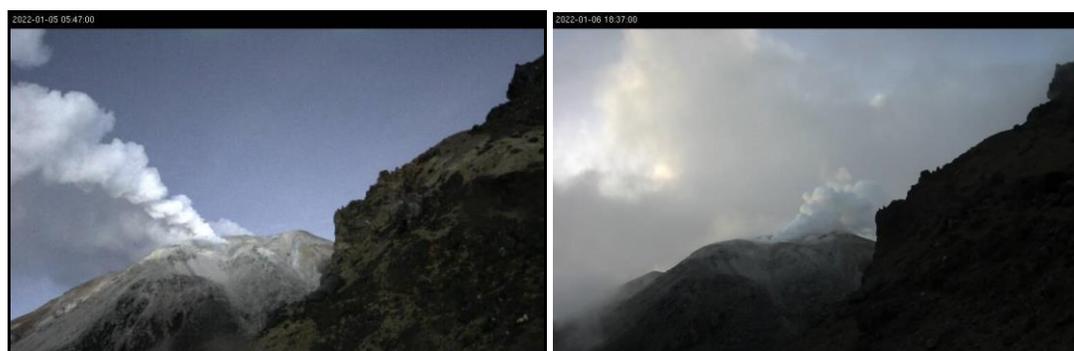


Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 5 de enero de 2022 a las 5:47 a.m., (izquierda) y para el día 6 de enero de 2022 a las 6:37 p.m., (derecha)

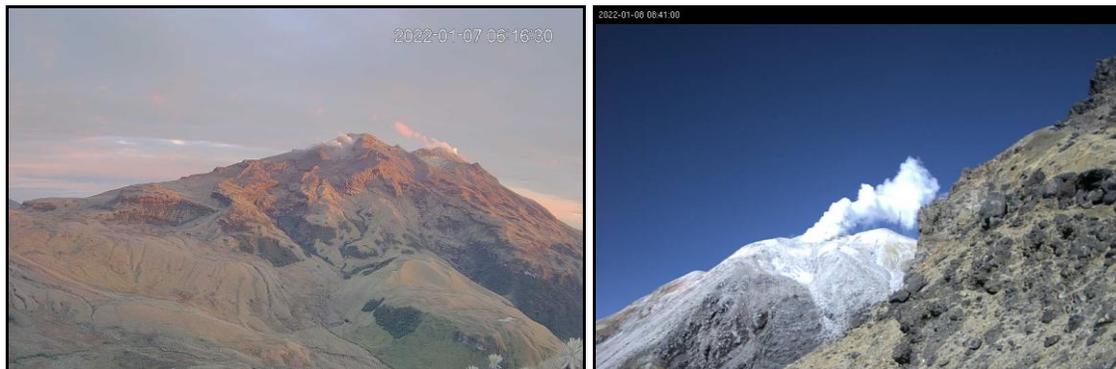


Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 7 de enero de 2022 a las 6:16 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja para el día 8 de enero de 2022 a las 6:41 a.m., (derecha)



Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 11 de enero de 2022 a las 2:24 p.m., (izquierda) y para el día 12 de enero de 2022 a las 6:21 a.m., (derecha)

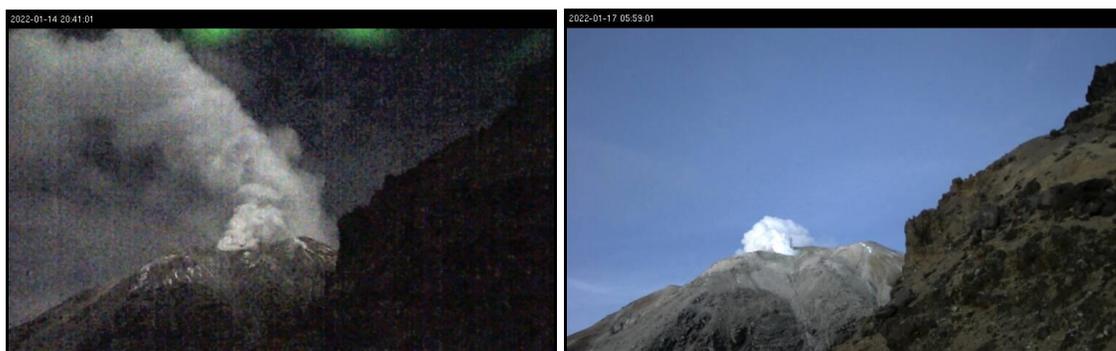


Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja para el día 14 de enero de 2022 a las 8:41 p.m., (izquierda) y para el día 17 de enero de 2022 a las 5:59 a.m., (derecha)



Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Boliche para el día 22 de enero de 2022 a las 5:18 p.m., (izquierda) y por Punta Vieja el día 24 de enero de 2022 a las 8:27 a.m., (derecha)



Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja para el día 25 de enero de 2022 a las 6:59 a.m., (izquierda) y para el día 26 de enero de 2022 a las 6:07 a.m., (derecha)



Figura 48. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche para el día 27 de enero de 2022 a las 6:30 a.m., (izquierda) y por Punta Vieja el día 28 de enero de 2022 a las 6:12 a.m., (derecha)

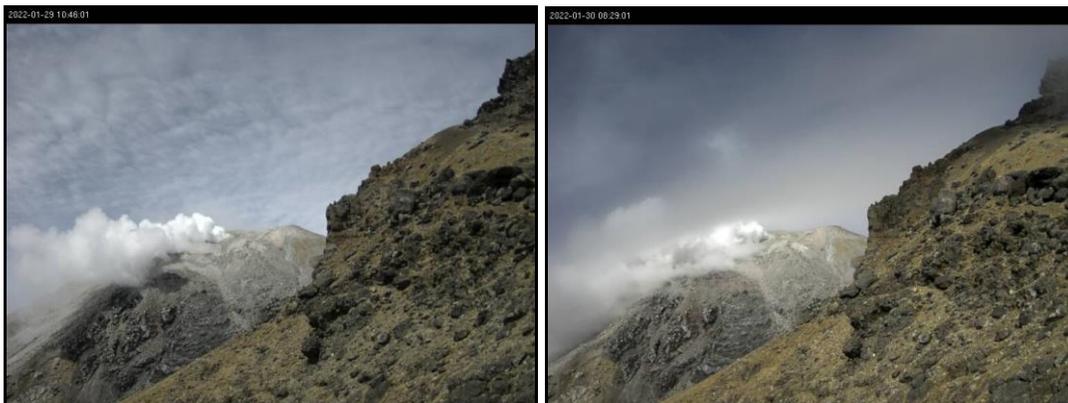


Figura 49. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja para el día 29 de enero de 2022 a las 10:46 a.m., (izquierda) y para el día 30 de enero de 2022 a las 8:29 a.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

- En enero del 2022, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), los sismos disminuyeron su ocurrencia y su energía, predominando la sismicidad asociada con fractura de material cortical, seguida por la sismicidad asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán. Los sismos son de baja energía con ML máxima de 2.5 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido.
- Mediante la aplicación “Explorador TROPOMI Latinoamérica - 15 días”, para el periodo evaluado se evidencia emisiones de SO₂ en el CVC entre 0.1 y 0.25 DU.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en enero 2022 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - ENERO DE 2022

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 m.s.n.m., se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 50).

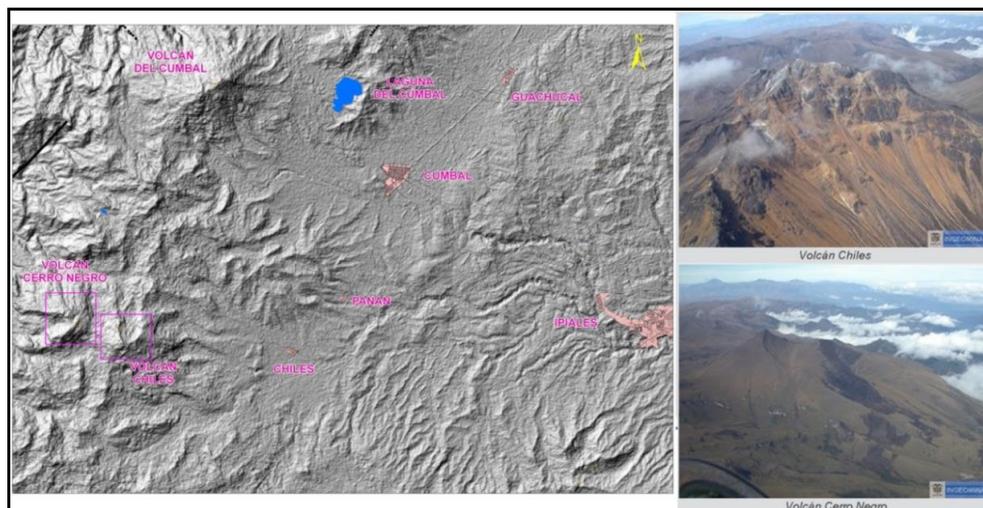


Figura 50. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 51, Tabla 18):

- 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 51, Tabla 19).

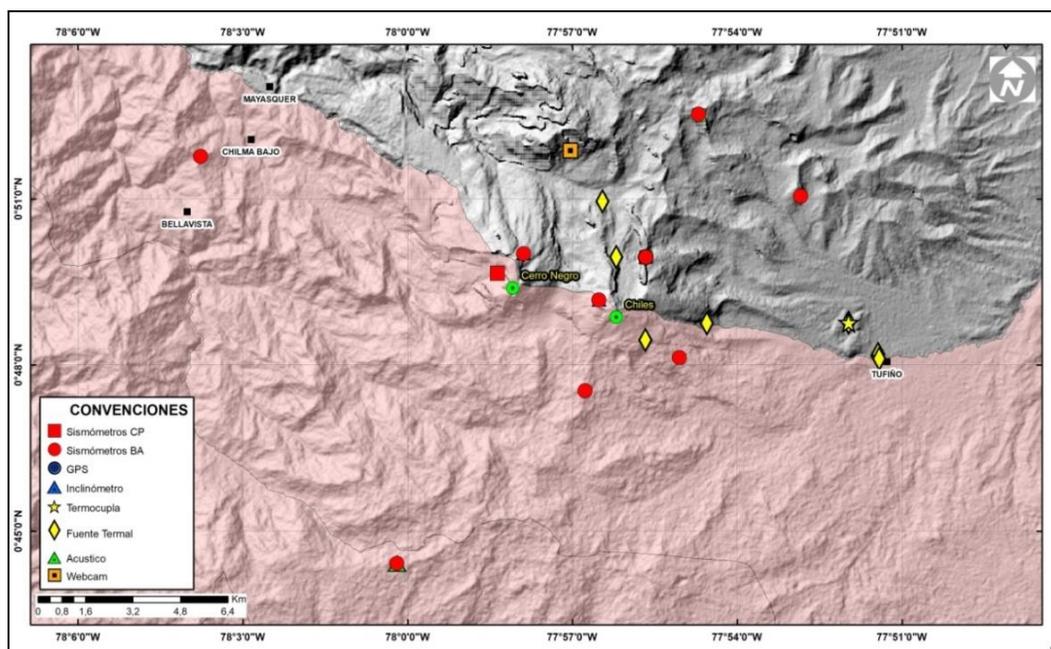


Figura 51. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2022

Tabla 18. 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 19. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro

Fuente Termal	Imagen	Latitud Norte (°)	Longitud Oeste (°)	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 75% (Figura 52).

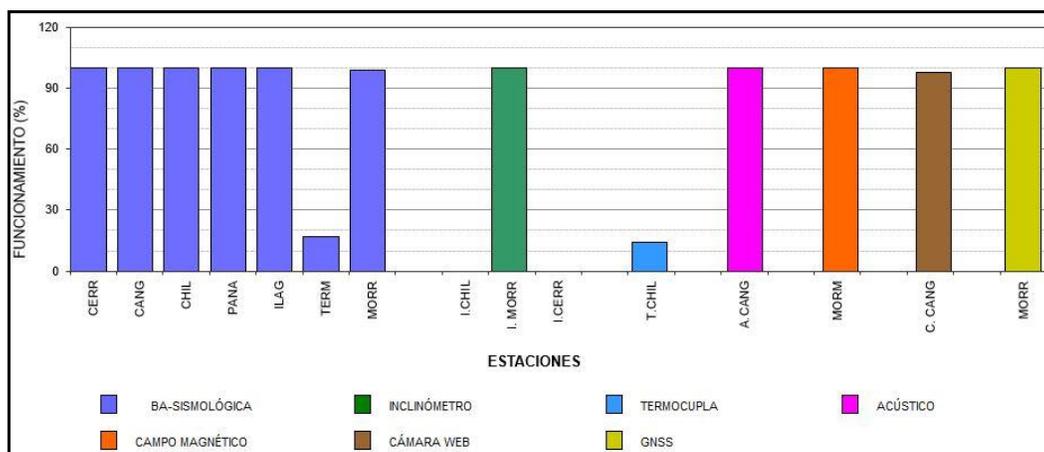


Figura 52. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2022

3.3 Sismología

En enero del 2022, la sismicidad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer se incrementó un 14%, pasando de 163 a 186 eventos, con respecto al mes de diciembre del 2021. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 182 eventos, que representan el 98% del total; también se registraron 4 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP), con el 2%. La sismicidad VT incrementó su ocurrencia 17%, pasando de 155 a 182 eventos, la sismicidad LP disminuyó 50%, pasando de 8 a 4 eventos. El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 28 de enero, con 20 sismos VT (Tabla 20, Figura 53).

Tabla 20. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre diciembre 2021 y enero 2022 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	155	8	0	0	163
Enero 2022	182	4	0	0	186

La energía sísmica disminuyó 85%, al pasar de 3.64×10^{13} ergios a 5.40×10^{12} ergios. La totalidad de la energía provino de los eventos VT, con 5.39×10^{12} erg, la energía de los eventos LP con 6.37×10^9 erg, queda inmersa en la energía de los VT. Los eventos VT disminuyeron su energía 57%, al pasar de 1.26×10^{13} ergios a 5.39×10^{12} ergios, la energía de los LP disminuyó 3539 veces su valor, al pasar de 2.38×10^{13} ergios a 6.73×10^9 ergios

(Tabla 21, Figura 54). El pico de energía se registró el día 20 de enero con 3.63×10^{12} ergios.

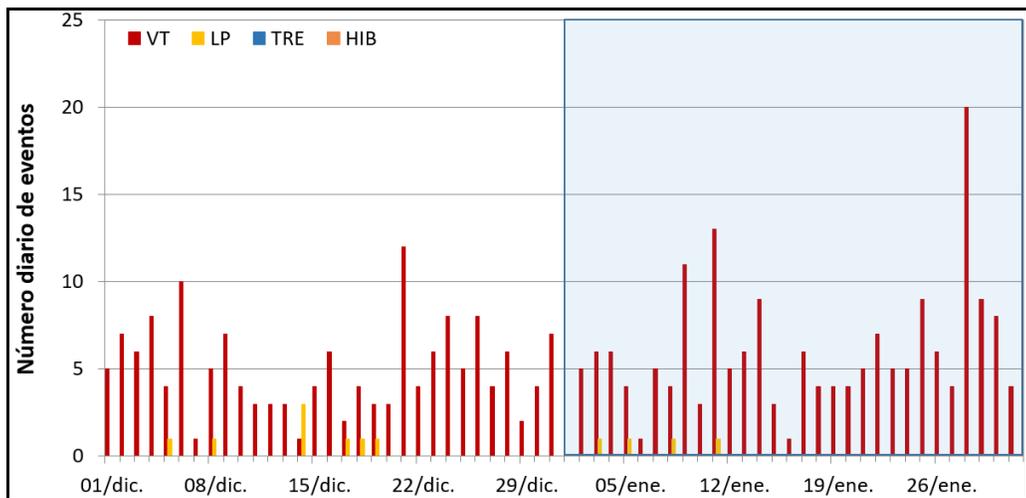


Figura 53. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022, el recuadro resalta el periodo evaluado

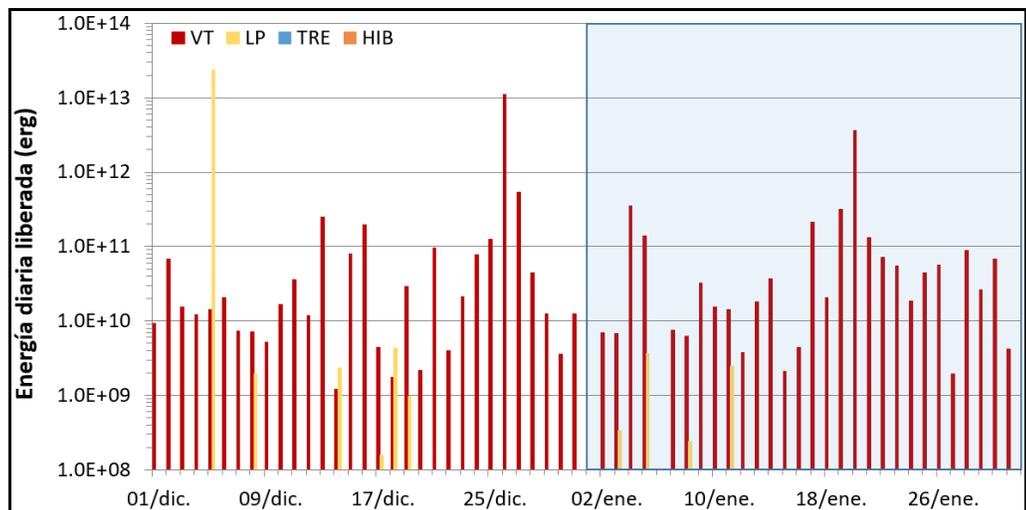


Figura 54. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 21. Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	1.26E+13	2.38E+13	0.00E+00	0.00E+00	3.64E+13
Enero 2022	5.39E+12	6.73E+09	0.00E+00	0.00E+00	5.40E+12

Se localizaron 72 sismos, la mayoría ubicados en el cuadrante suroccidental del volcán Chiles, en distancias entre 0.3 y 4.5 km, profundidades menores de 8 km con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y con ML máxima de 1.2 Richter; otros sismos se ubicaron de manera dispersa en la región de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en distancias entre 0.8 y 15 km, profundidades entre 1 y 12 km con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y con ML máxima de 1.0 en la escala de Richter (Figura 55).

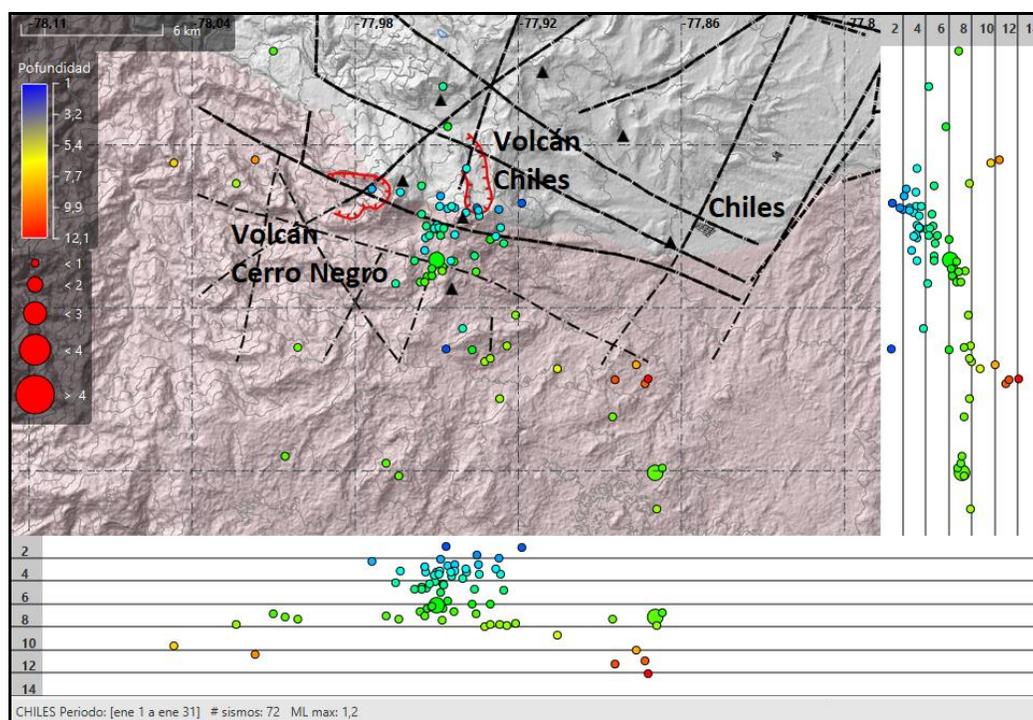


Figura 55. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, enero 2022

La mayoría de eventos son de baja energía, se resalta 3 sismos con ML de 1.0 y 1.2 Richter y en la Tabla 22 se consignan sus características de localización.

Tabla 22. Sismos VT con ML de 1.0 y 1.2, Chiles - Cerro Negro, enero 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
09/01/2022	03:02	0-43.13	77-51.97	7	1.0
20/01/2022	08:12	0-48.01	77-57.05	6	1.2
25/01/2022	16:54	0-57.21	78-02.99	11	1.0

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 cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalado en el volcán Chiles. Dos inclinómetros se encuentran por fuera por fallos electrónicos.

En la Figura 56, se muestra el comportamiento del inclinómetro el Morro, el cual es estable para los últimos seis meses.

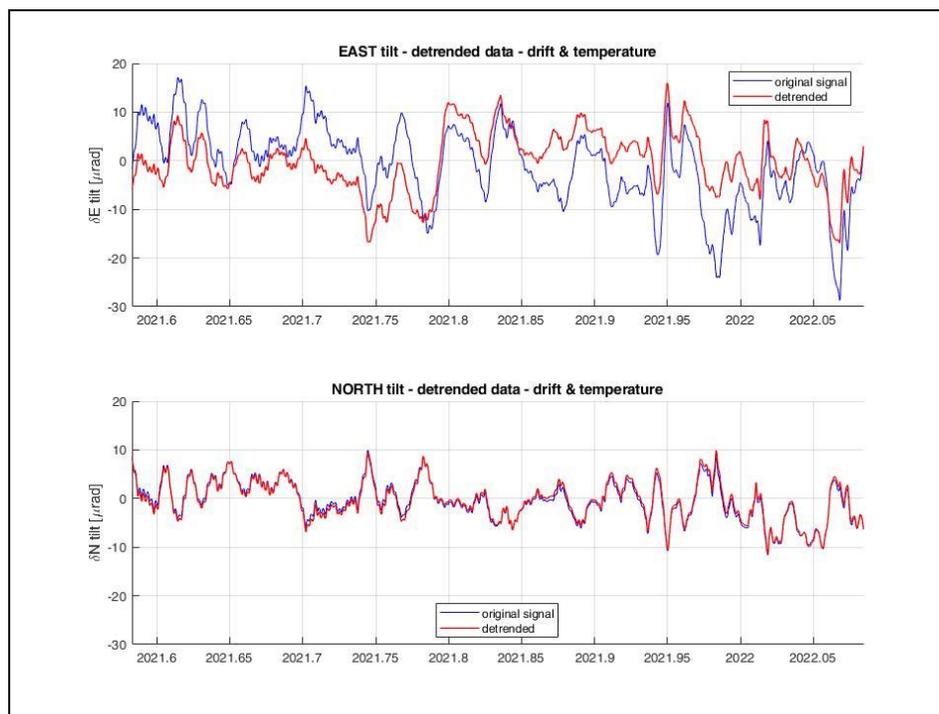


Figura 56. Comportamiento del inclinómetro El Morro para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior: componente Este, inferior: componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

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 10.71, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Posterior al comportamiento ascendente registrado por la dirección Norte del GNSS El Morro, se observa desde finales de agosto de 2021, una tendencia descendente acumulando cerca de 6 mm, tendencia similar se observa en la componente vertical (Figura 57).

Del lado ecuatoriano (IGEPN) para el monitoreo de estos cambios, en superficie se tienen los GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 58, se muestra la serie temporal de la estación CHLS evidenciando el comportamiento descendente en la dirección Norte, cambio presentado desde finales de agosto de 2021 y que es similar al del GNSS el Morro.

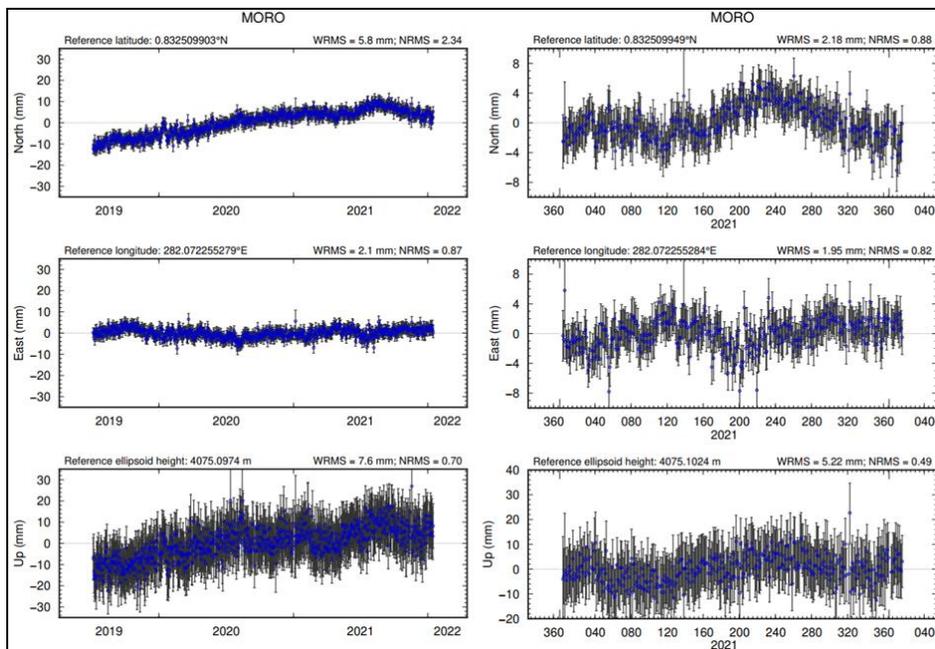


Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido 6 de julio de 2019 y 15 de enero de 2022 (izquierda) y 1 de enero de 2021 y 15 de enero de 2022 (derecha)

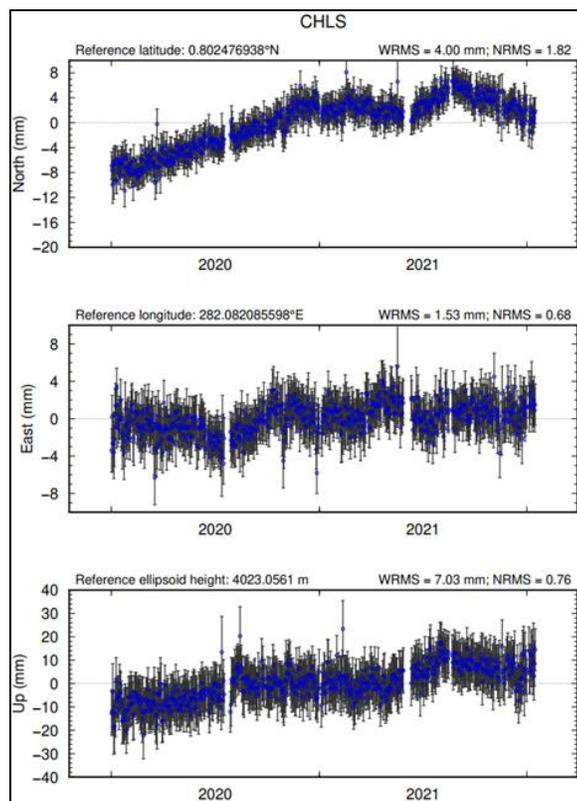


Figura 58. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS CHLS instalada sobre Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 15 de enero de 2022, estación que pertenece a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN

3.4.3 D_InSAR

En la Figura 59, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Chiles y Cerro Negro obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.

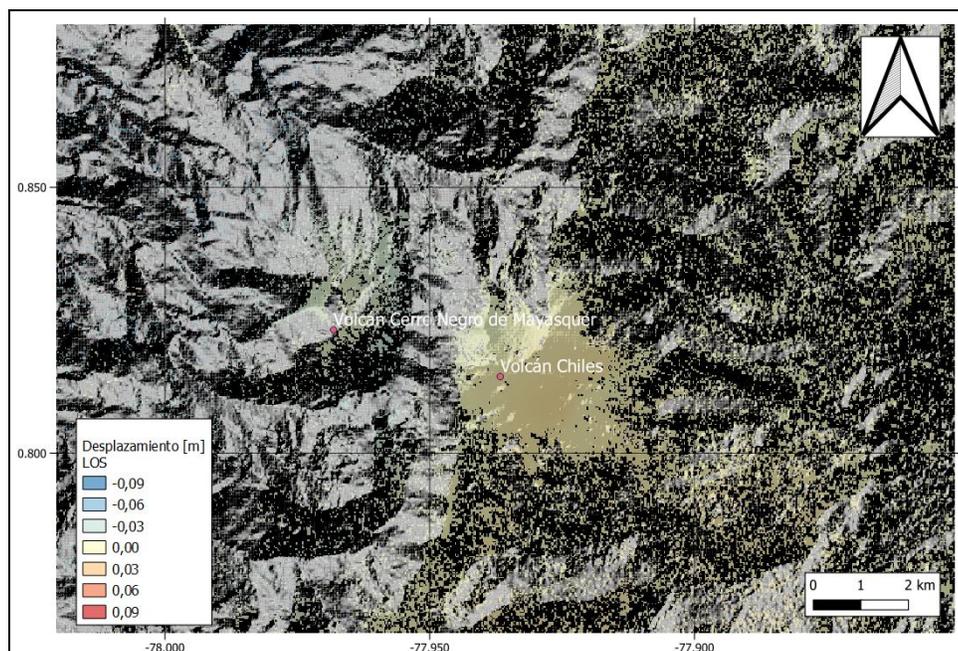


Figura 59. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro

3.5 Electromagnetismo

En enero de 2022, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro se realizó usando la información de la estación Morro (MOR) que cuenta con un sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate. Se ha tomado también la información de una estación de referencia llamado Kourou (KOU), ubicada en Guayana Francesa; que se usa de referencia para los datos medidos en la zona volcánica.

En el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022, el comportamiento de las series de tiempo de la estación MOR muestra una tendencia promedio estable; con un valor de campo magnético total (CMT F) de alrededor de 29.215 nT y de alrededor de 28.575 nT en la estación de referencia KOU (Figura 60).

En enero, el comportamiento de la serie de tiempo de la estación MOR fue afectado por variaciones importantes tanto en amplitud como en frecuencia. Estas variaciones se asociaron con el fenómeno ocurrido en el clima espacial y que se originan por las llamaradas o eyecciones de masa del núcleo del Sol (Coronal Mass Ejection - CME), que son grandes expulsiones de masa o plasma y campo magnético del núcleo del sol, que

se producen en los periodos de mayor actividad del sol, como se explicó en el capítulo del volcán Galeras.

Las tormentas geomagnéticas ocasionaron variaciones tanto en amplitud como en frecuencia, en las fechas cuando las CME llegan a la Tierra. En el sensor magnético de MOR y en los registros de la estación de referencia KOU se evidencian los efectos de estas tormentas, que se pueden verificar con los registros del índice Kp que mide la intensidad de estas tormentas geomagnéticas (Figura 60). Al igual que en las estaciones instaladas en Galeras y la estación Kourou se hace evidente la perturbación que estas tormentas de alto índice Kp ejercen sobre los registros, modificando el nivel base de las series de tiempo, así como también su amplitud y la frecuencia (Figuras 60 y 61).

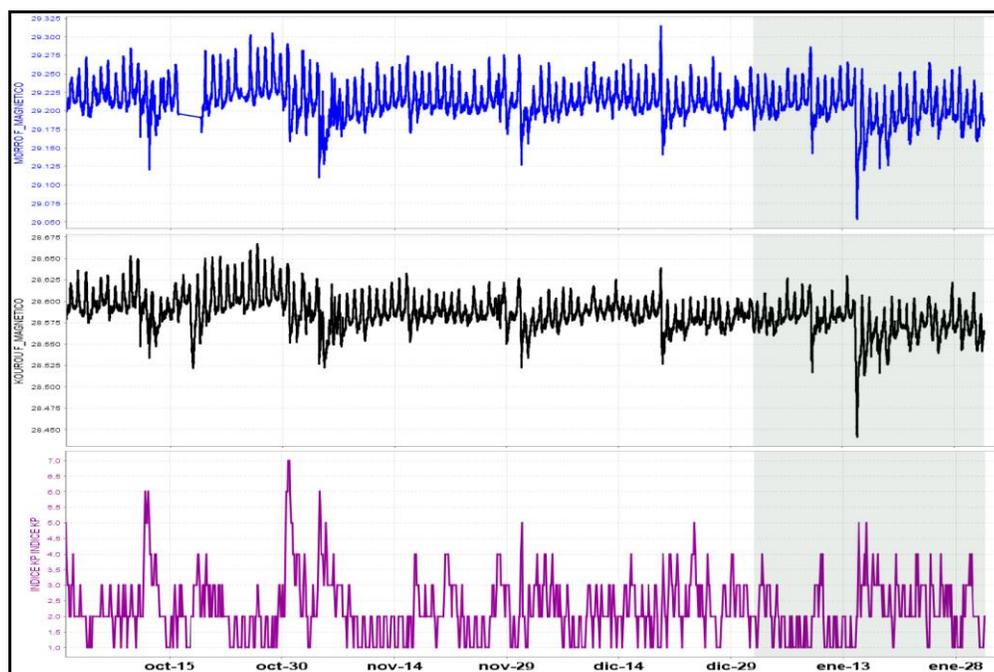


Figura 60. CMT-F en la estación de monitoreo magnético de Chiles – Cerro Negro: MOR (azul) comparada con el registro de la estación de referencia KOU (negra), y con el índice Kp (magenta); para los meses comprendidos entre octubre de 2021 y enero de 2022.

Las alertas de tormentas geomagnéticas las recibimos por medio del sistema de alertas 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). Por otra parte, la estación Kourou (KOU) se ha seleccionado como estación de referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global

del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia y porque KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cercana a la zona de los volcanes de Nariño.

En el mes de enero de 2021, los fenómenos más evidentes en los registros magnéticos fueron las variaciones periódicas con periodos de; un día (variaciones día/noche), 12 y 8 horas y, muy especialmente, los efectos de las perturbaciones por las tormentas geomagnéticas. En general las variaciones periódicas tuvieron amplitudes máximas de hasta 100 nT en la estación MOR y KOU en las fechas cuando no se presentaron tormentas geomagnéticas, mientras que, los días cuando se presentaron tormentas las variaciones tuvieron amplitudes de hasta 200 nT el 14 de enero en la estación MOR y de 150 nT en la estación de referencia KOU (Figura 61).

Tomando el promedio móvil de las series de tiempo, para disminuir los efectos de las variaciones seculares periódicas diarias, se evidencia que, en general, las variaciones máximas fueron de hasta 15 nT para MOR y de hasta 14 nT para KOU, para los días cuando las tormentas geomagnéticas tuvieron índices Kp menores de 4; mientras que, para aquellos días con fuerte actividad solar, la afectación de estos fenómenos sobre las series temporales generaron variaciones de hasta 60 nT para MOR y de hasta 65 nT para KOU, evidenciando que los efectos asociados con la actividad volcánica están por debajo de los 14 nT (Figura 61), lo que indica que desde esta área del monitoreo de la actividad volcánica se puede decir que hay estabilidad en el comportamiento del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro.

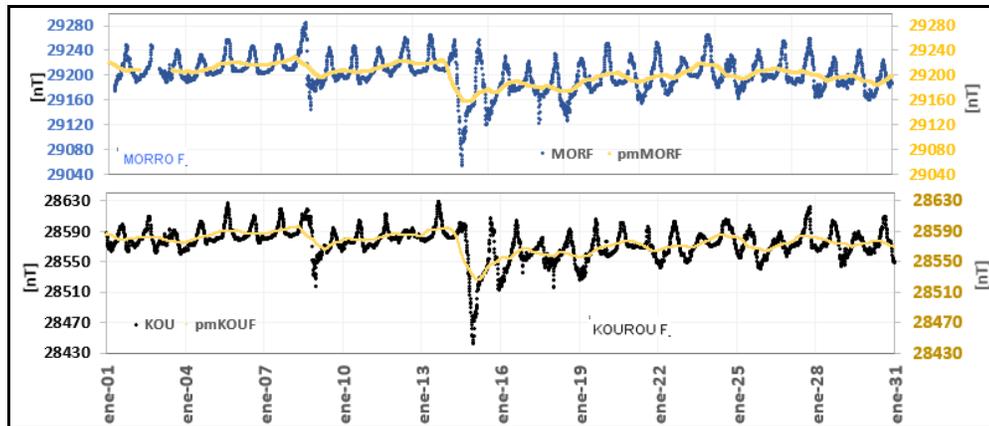


Figura 61. Variaciones del CMT-F, en la estación MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de enero de 2022. Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal (amarilla), superpuesta a cada una de las series de tiempo

3.6 Geoquímica

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

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

3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

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

3.7 Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.8 Conclusiones

- La sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en enero del 2022 mostró incremento en su ocurrencia y disminución en su energía con respecto a lo registrado en diciembre del 2021. Continúa el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), con magnitud local máxima de 1.2 en la escala de Richter.

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 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 multiparamétrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 23, Figura 63). Adicionalmente, se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 23), Figura 63).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instaladas para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 85% (Figura 64).

Tabla 23. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2022

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	Biaxial	4.1	NE	7,9	SW	3137

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles – Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana y Azufra – enero 2022

		Electrónico						
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

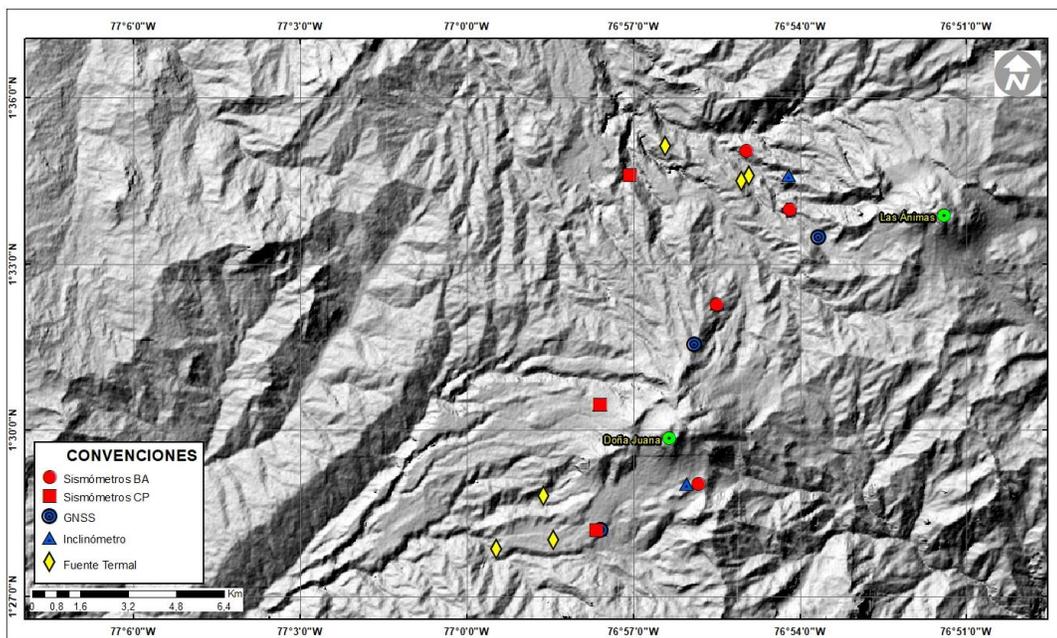


Figura 63. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2022

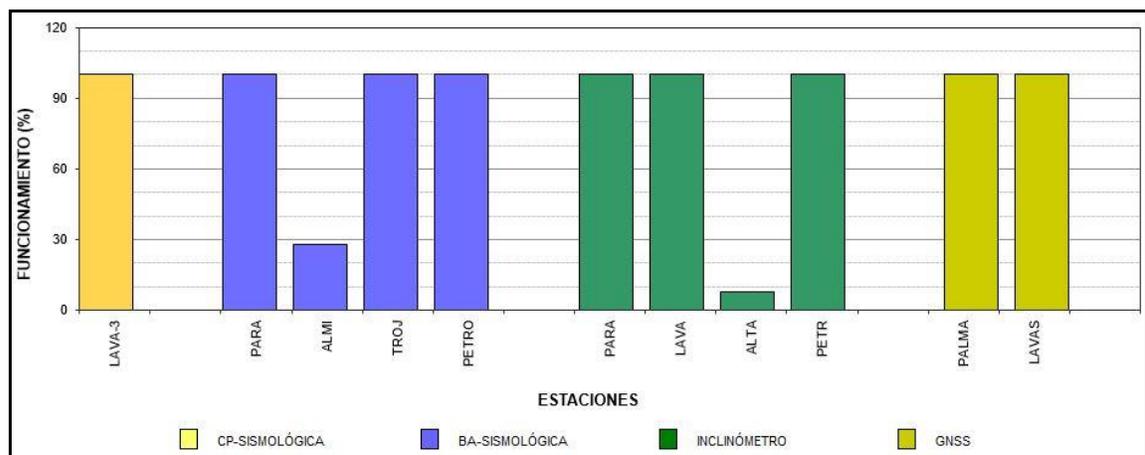


Figura 64. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2022

4.1.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en enero del 2022, se incrementó la ocurrencia sísmica ligeramente en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, con el registro de 11 eventos de tipo VT, asociados con fractura de roca (Tabla 24, Figura 65). La energía de los eventos VT disminuyó 74% con relación a diciembre 2021, pasando de 1.65×10^{13} ergios a 4.32×10^{12} ergios (Tabla 25, Figura 66).

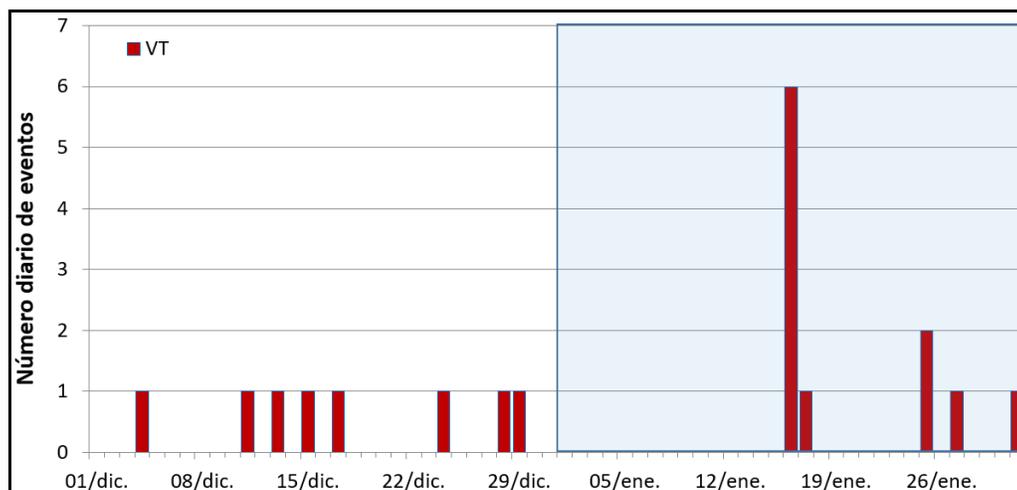


Figura 65. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante diciembre 2021 y enero 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado

Fue posible localizar 6 sismos VT de baja energía, ubicados en un grupo situado al SW de la cima de Las Ánimas, en distancias entre 3 y 5 km, con profundidades entre 1 y 16 km con respecto a su cima (4300 msnm) y con magnitud local máxima de 1.0 en la escala de Richter (Figura 67).

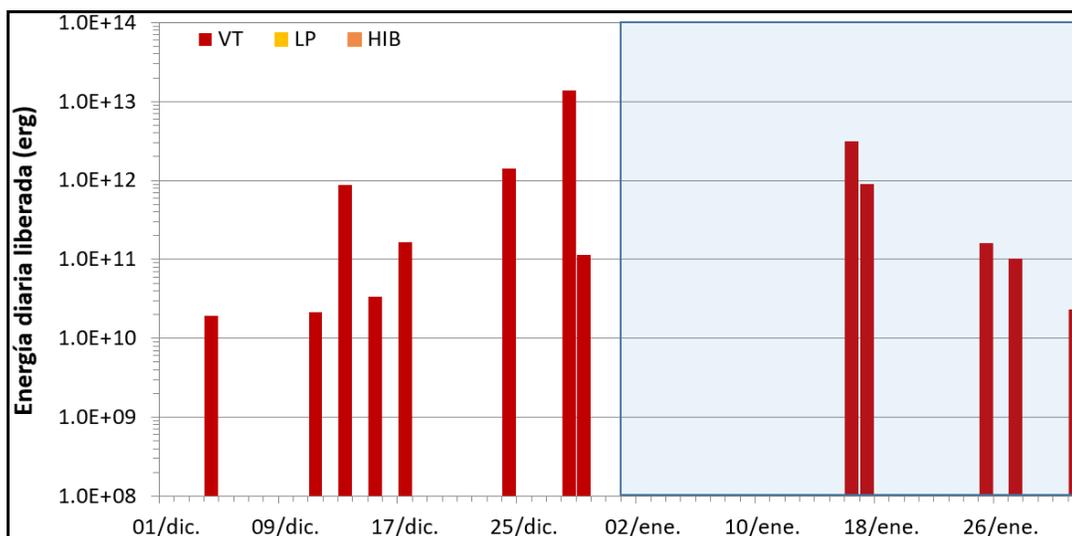


Figura 66. Energía diaria liberada de eventos VT, registrados durante diciembre 2021 y enero 2022, volcanes Doña Juana y Las Ánimas; el recuadro indica el periodo evaluado

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2021 y enero 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	8	0	0	0	8
Enero 2022	11	0	0	0	11

Tabla 25. Energía de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2021 y enero 2022 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	1.65E+13	0	0	0	1.65E+13
Enero 2022	4.32E+12	0	0	0	4.32E+12

La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan dos eventos con ML de 0.9 y 1.0 en la escala de Richter y en la Tabla 26 se consignan sus características de localización.

Tabla 26. Sismos con ML de 0.9 y 1.0 en Doña Juana y Las Ánimas, enero 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
16/01/2022	00:34:20	1-32.69	76-52.99	8	1.0
16/01/2022	00:34:46	1-32.52	76-52.86	7	0.9

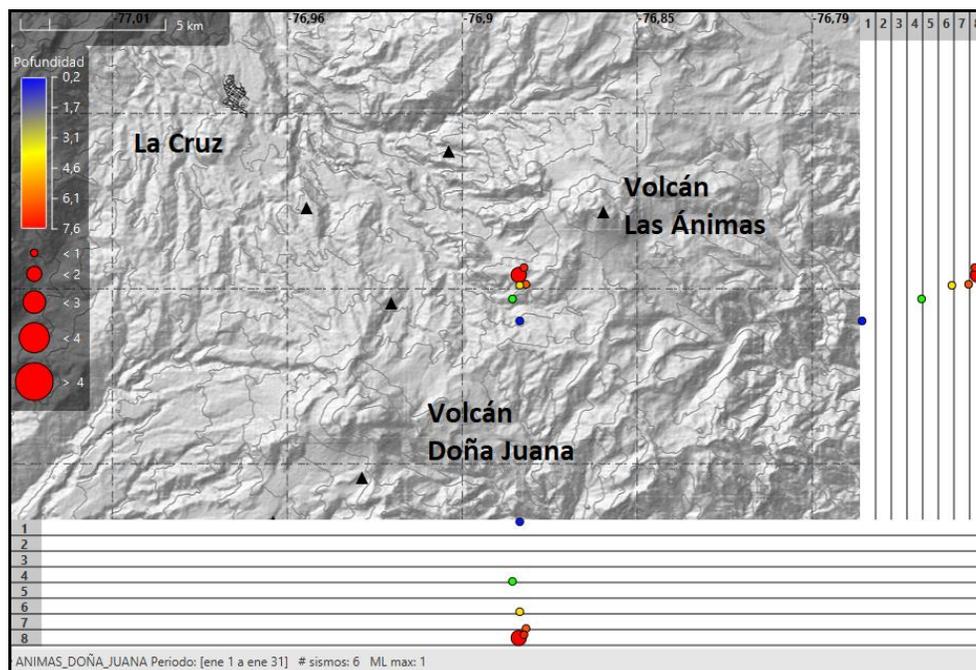


Figura 67. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2022

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

En la Figura 68, se muestra la serie temporal de la estación de inclinometría Petroglifo, en la componente Norte, aunque se registran cambios muy fuertes se alcanza a observar para los últimos meses una tendencia estable. La componente Este también tiene una tendencia estable con menores variaciones.

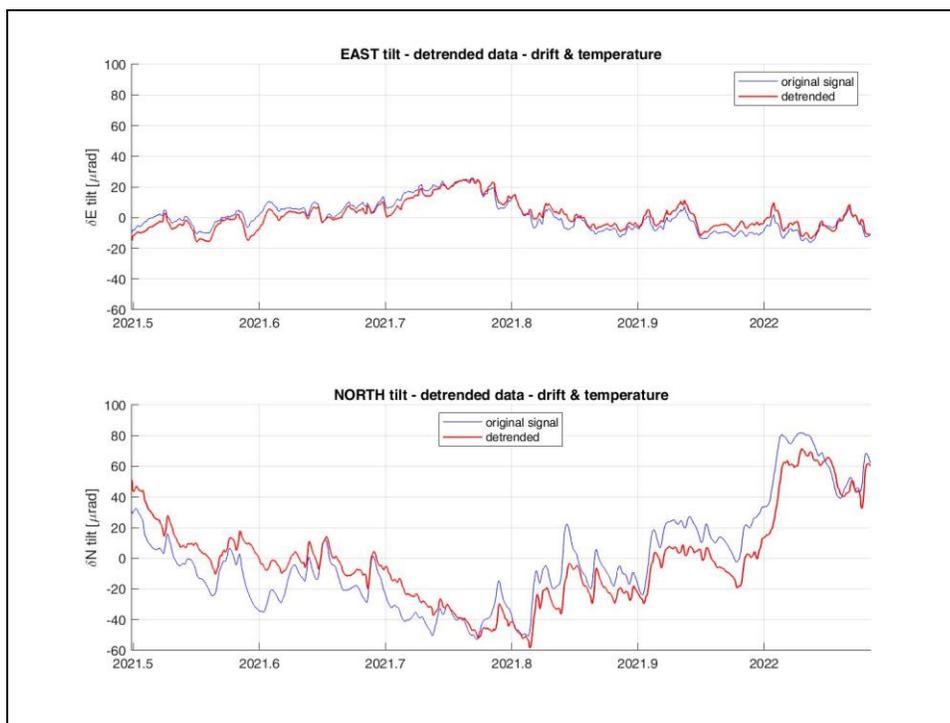


Figura 68. Comportamiento del inclinómetro Petroglifo para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

En cuanto al volcán Doña Juana las componentes de inclinación de los sensores instalados en Páramo y Lavas, para los últimos siete meses muestran estabilidad, a manera de ejemplo se indica en la Figura 69, el comportamiento del inclinómetro Páramo.

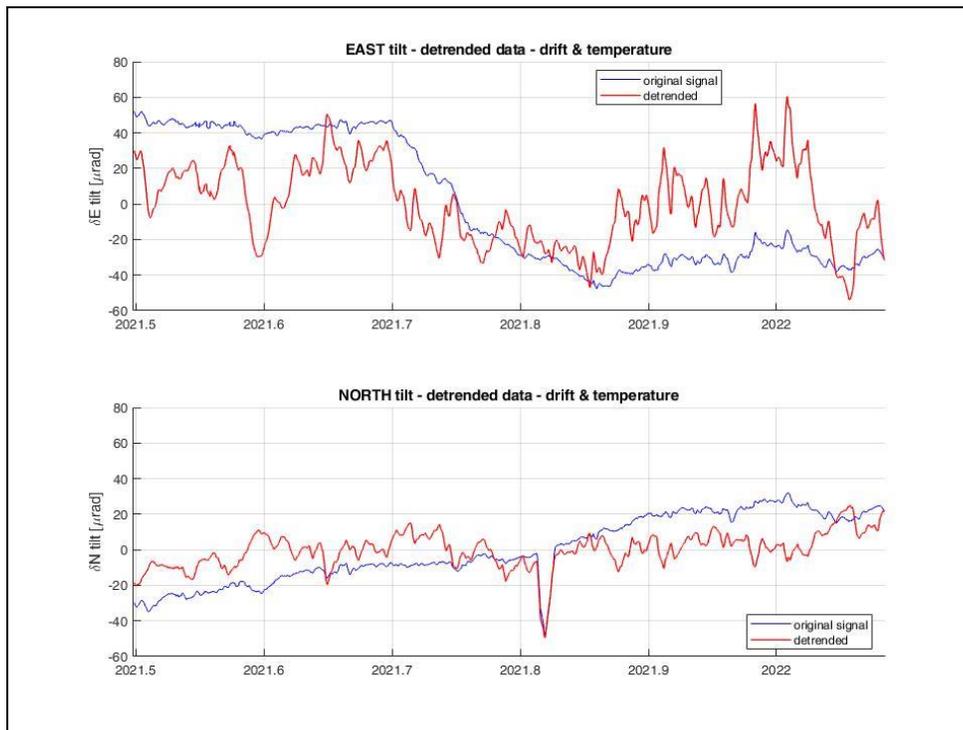


Figura 69. Comportamiento del inclinómetro Páramo para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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. En la Figura 70 se indica el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, observando estabilidad en los registros.

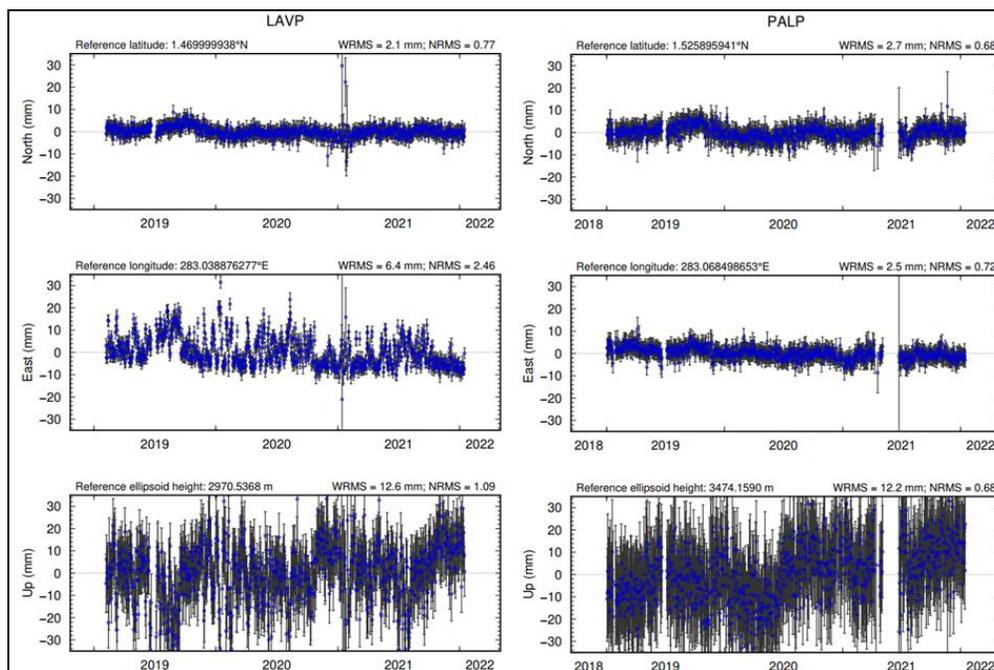


Figura 70. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y La Palma, instaladas sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022

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 71, se muestra su ubicación y en la Figura 72, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

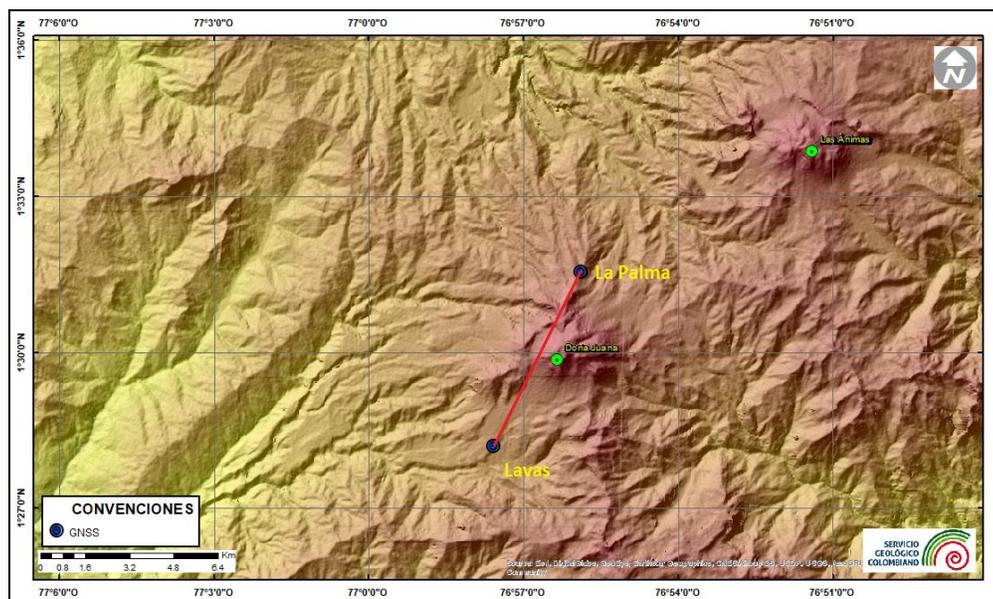


Figura 71. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

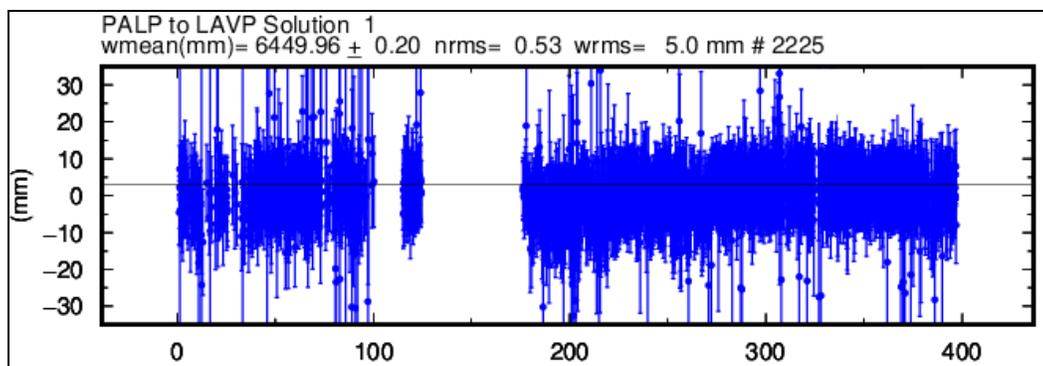


Figura 72. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de enero de 2022. En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

4.1.3.3 D_InSAR

En la Figura 73, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Doña Juana y Las Ánimas obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de orbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.

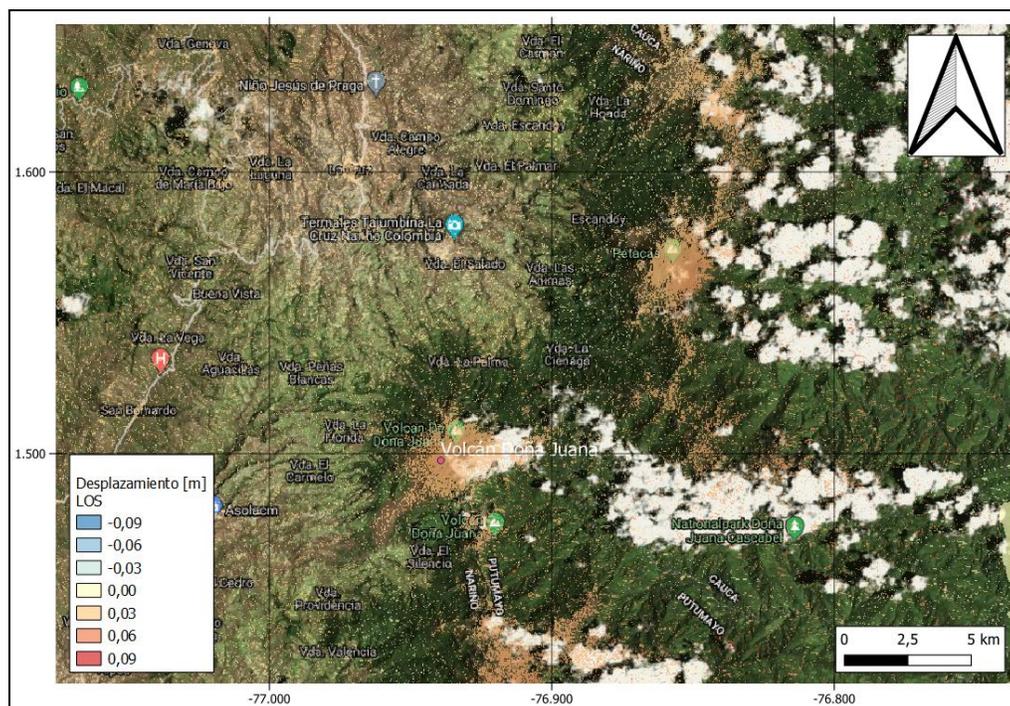


Figura 73. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del Complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas

4.1.4 Geoquímica

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

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

4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2022 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial de los volcanes Doña Juana y Ánimas.

4.1.6 Conclusiones

- En enero 2022 se registró ligero incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de los sismos, todos ellos asociados con fractura de roca y con magnitud local máxima de 1.0 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante enero del 2022 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2 Actividad del Volcán Azufral

4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 74 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana, Lobo y Mallama, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico; adicionalmente se tienen dos cámaras web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 27 se consignan algunas de sus características.

De igual forma, 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 Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Para el periodo evaluado se cuentan con cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Lobo, Laguna y Ventana (Figura 75).

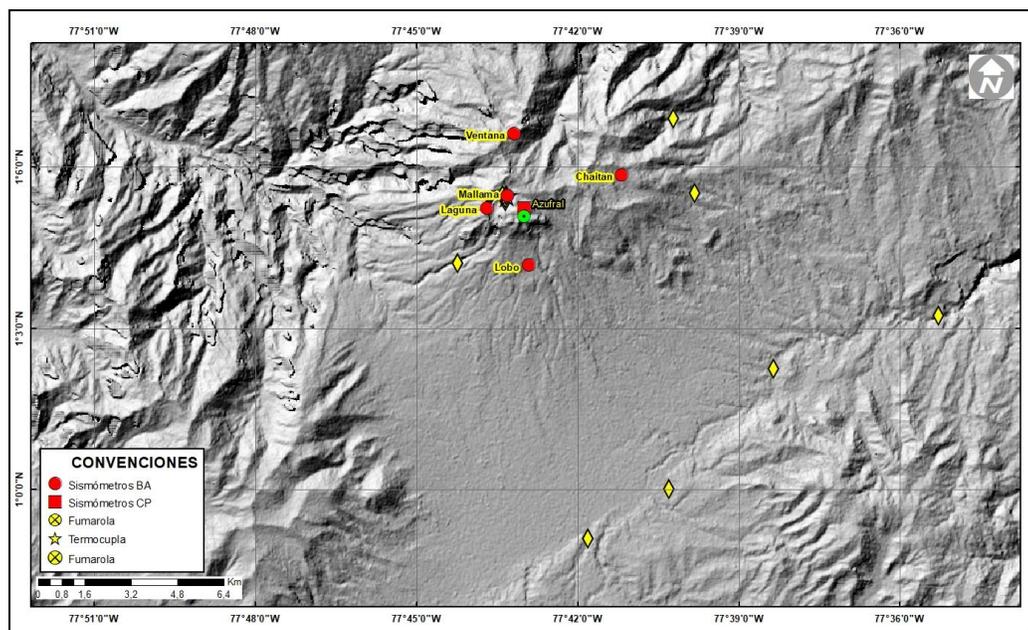


Figura 74. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de enero de 2022

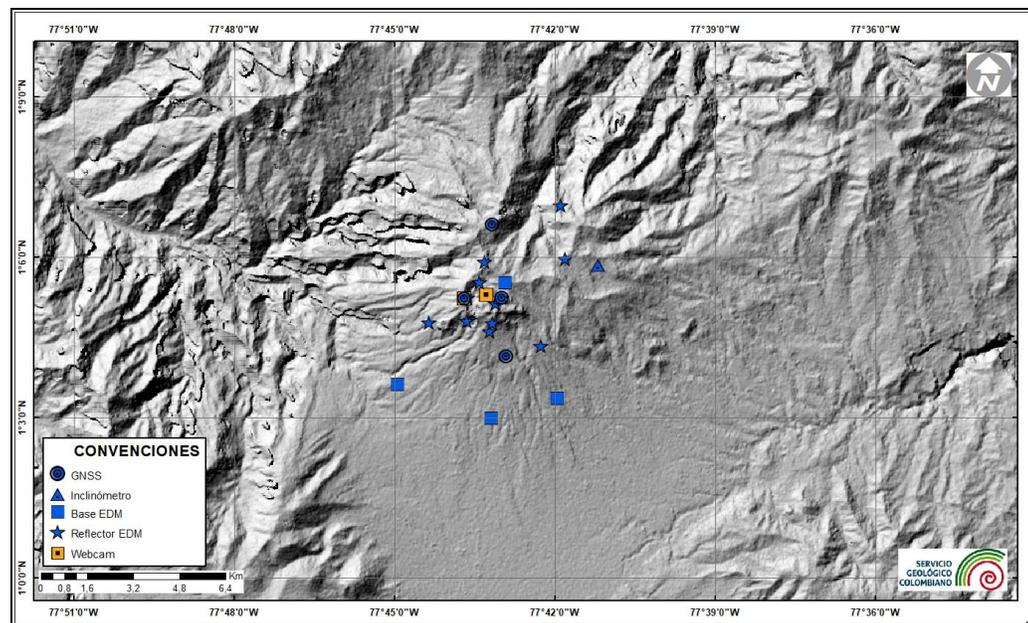


Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de enero de 2022

Tabla 27. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de enero de 2022

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
Mallama	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0.5	NW	3802
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	NW	3802
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 telemétrico del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 91 % para este mes (Figura 76).

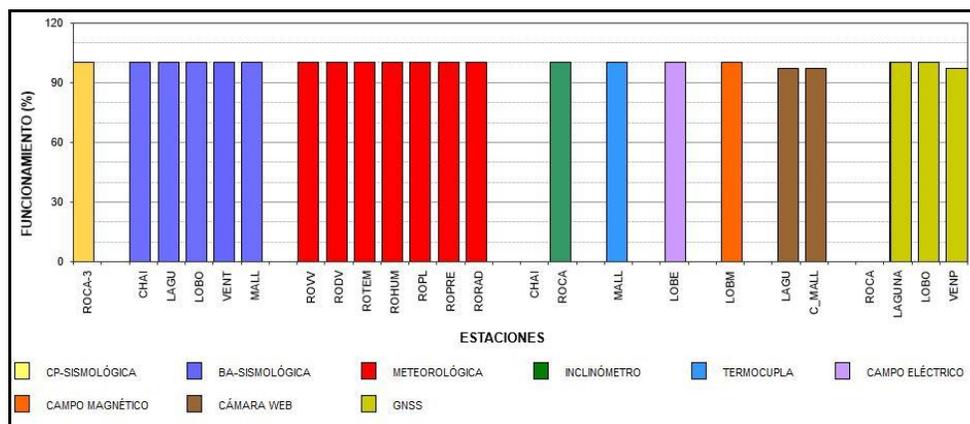


Figura 76. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante enero de 2022

4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia y energía, en enero 2022 la sismicidad en el volcán Azuftral se incrementó un 24%, pasando de 41 a 51 eventos, la mayoría asociados con fractura de roca VT (Figura 77, Tabla 28). El pico de ocurrencia sísmica se registró en los días 2 y 31 de enero con 7 eventos VT (Figura 77). La energía sísmica liberada incrementó 30 veces su valor, pasando de 3.31×10^{10} ergios a 9.85×10^{11} ergios, correspondiendo en su totalidad a los VT, la energía de los LP es muy baja y queda inmersa (Tabla 29, Figura 78). El pico energético se registró el 21 de enero con 5.76×10^{11} ergios.

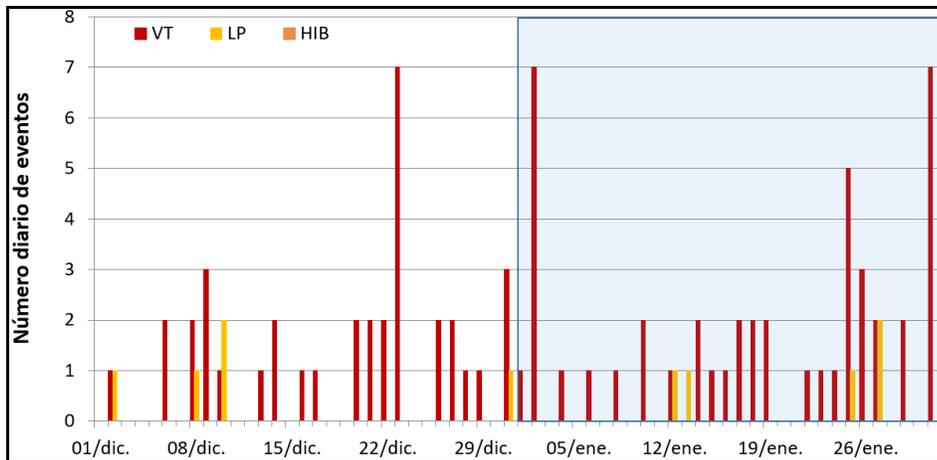


Figura 77. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azuftral, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado

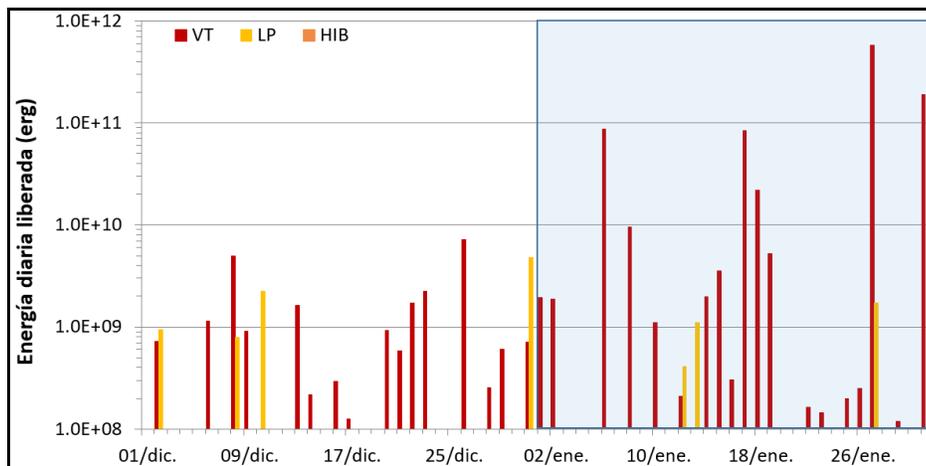


Figura 78. Energía diaria de sismos por tipo en Azuftral, diciembre 2021 y enero 2022. El recuadro resalta el periodo evaluado.

Se localizaron 26 sismos, la mayoría ubicados hacia el norte y noreste de la Laguna Verde, en distancias entre 0.5 y 2 km, profundidades menores de 6 km y ML máxima de 1.1 Richter; otros pocos sismos se ubicaron dispersos en la zona de influencia del volcán AzufraI, en distancias entre 4 y 11 km, con profundidades entre 5 y 15 km, con respecto a la cima (4200 msnm) y ML máxima de 2.5 Richter, sin reportes de sismo sentido (Figura 79). Los sismos localizados son de baja energía, se destaca 3 eventos VT con ML de 1.0, 1.1 y 2.5 Richter y en la Tabla 30 se muestran sus características de localización.

Tabla 28. Número de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	36	5	0	0	41
Enero 2022	46	5	0	0	51

Tabla 29. Energía de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, diciembre 2021 y enero 2022

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2021	2.44E+10	8.74E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.31E+10
Enero 2022	9.82E+11	3.26E+09	0.00E+00	0.00E+00	9.85E+11

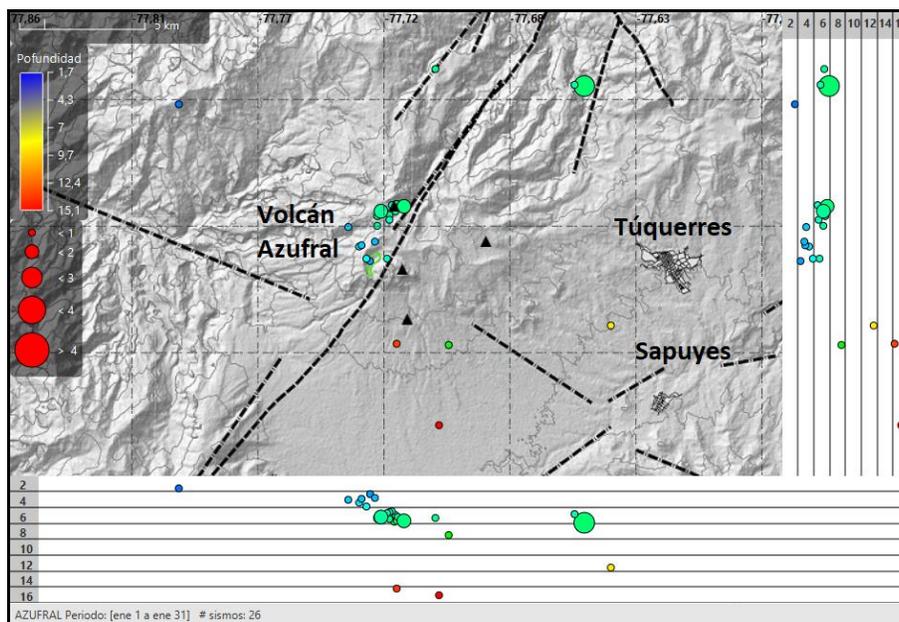


Figura 79. Localizaciones de sismos VT en AzufraI, enero 2022

Tabla 30. Sismos con ML entre 1.0 y 2.5, volcán Azufral, enero 2022

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
06/01/2022	17:26	1-8.67	77-39.36	7	2.5
31/01/2022	13:49	1-6.47	77-42.85	6	1.0
31/01/2022	14:23	1-6.38	77-43.33	5	1.1

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

La red de deformación del volcán Azufral cuenta con dos inclinómetros (uno de ellos está fuera de funcionamiento) y cuatro estaciones GNSS permanentes.

La componente Norte del inclinómetro La Roca, mantiene una tendencia ascendente desde septiembre de 2018, sin embargo, para los últimos meses la pendiente ha disminuido tendiendo a la estabilidad. La componente Este es estable (Figura 80).

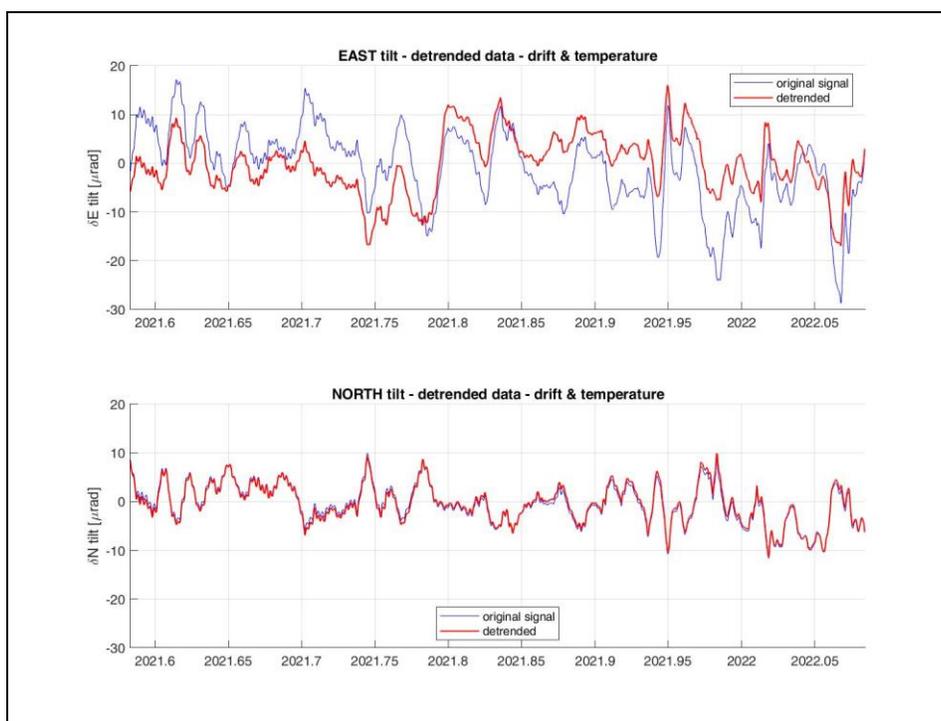


Figura 80. Comportamiento del inclinómetro La Roca para el periodo 1 de julio de 2021 y 31 de enero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se indica la señal original y en rojo los datos filtrados por temperatura

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló 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. En la Figura 81, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura de los GNSS Laguna y Ventana. En general, las componentes de desplazamiento de la red se mantienen estables, sin embargo, se resalta la ligera tendencia ascendente en la dirección Este del GNSS Laguna y Ventana, que acumula desde principios del 2019, unos de 18 mm y 6 mm, respectivamente.

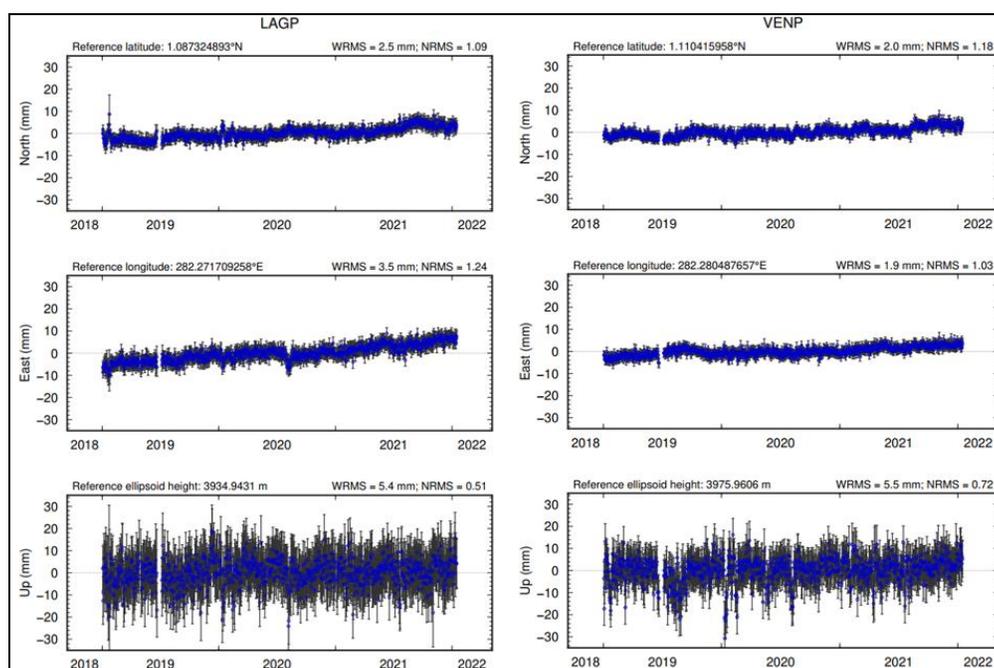


Figura 81. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Laguna y Ventana instaladas en Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 15 de enero de 2022, procesados con el software GAMIT/GLOBK

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 82, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 83, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas, en general se observa estabilidad en estas líneas.

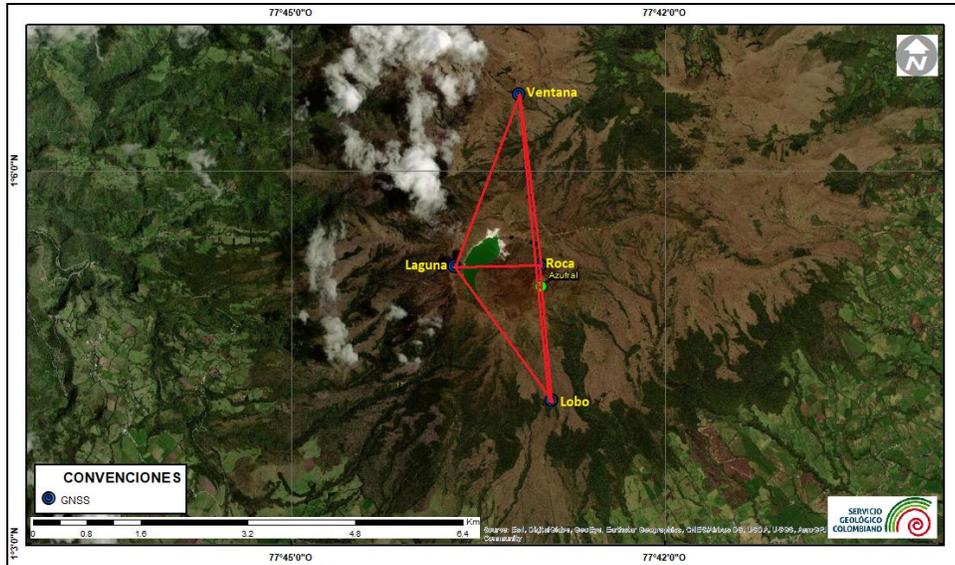


Figura 82. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufral, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

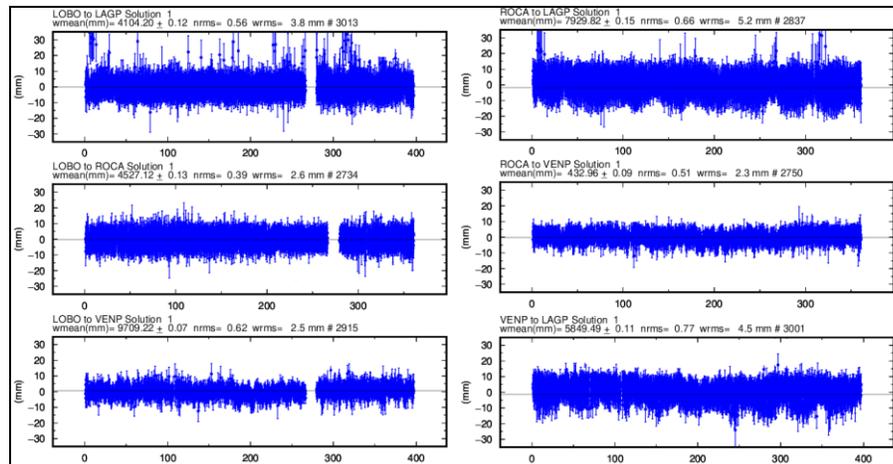


Figura 83. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de enero de 2022. En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

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

4.2.3.4 D_InSAR

En la Figura 84, se muestra el mapa de desplazamiento para la zona volcánica de Azufral obtenido con procesamiento interferométrico diferencial, utilizando el software ISCE y haciendo uso de un par de imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel -1 de la Agencia Espacial Europea (ESA) de órbita descendente. Haciendo uso de esta técnica, no se observa ningún patrón de deformación.

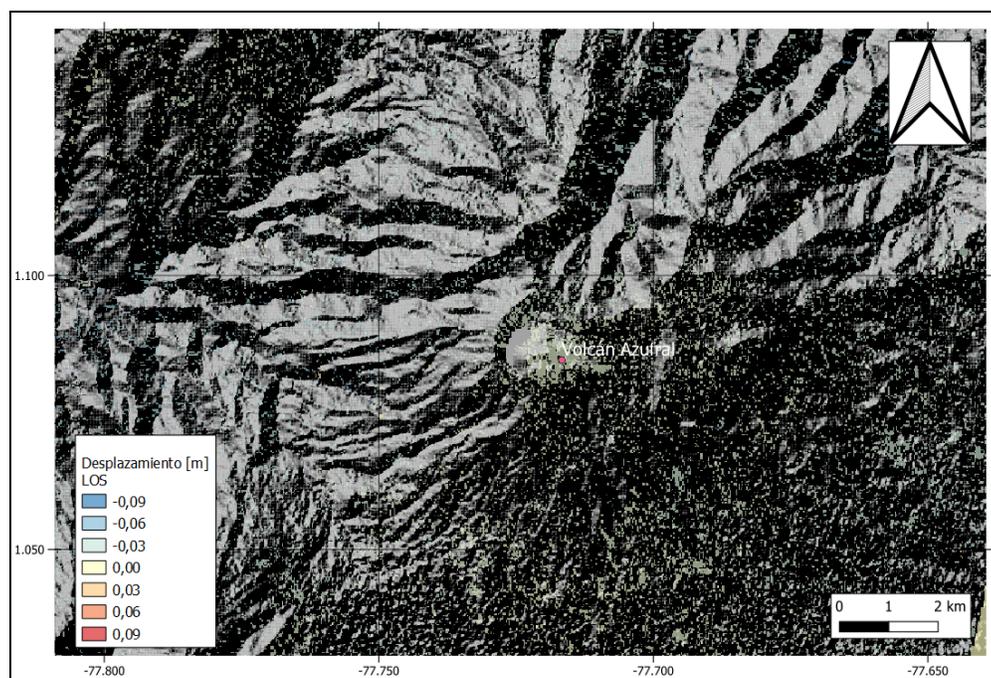


Figura 84. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 18 de enero de 2022 y el 30 de enero de 2022 del satélite Sentinel-1, órbita descendente. Área del volcán Azufral

4.2.4 Electromagnetismo

Para el mes de enero de 2022, el monitoreo eléctrico, en la zona de influencia del volcán Azufral, se realizó usando la información de la estación Lobo (LOB) que cuenta dos dipolos eléctricos para medir el campo horizontal del campo eléctrico en la zona.

En el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022, el comportamiento de las series de tiempo de la estación eléctrica de LOB muestra una tendencia que ha estado muy influenciada por la ocurrencia de lluvias en esta zona del volcán (Figura 85), con un valor promedio del campo eléctrico (CE) fue de alrededor de 150 mV (Figura 86).

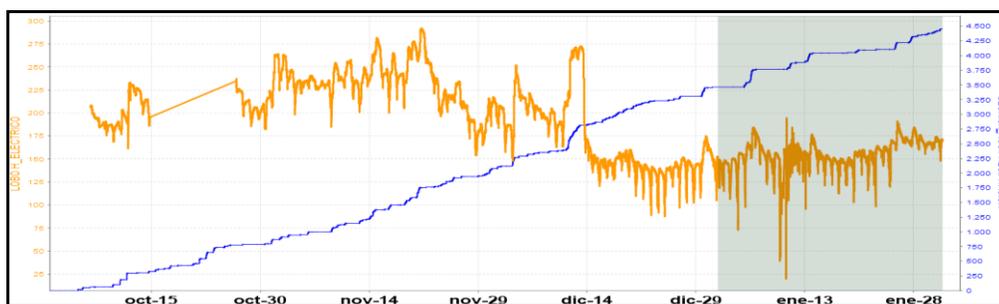


Figura 85. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), juntamente con el registro de lluvia, instalado en la parte alta del volcán Azufra

El registro de la variación del campo eléctrico horizontal (CEH) de la estación LOB para el periodo entre octubre de 2021 y enero de 2022 muestra una tendencia ascendente para la primera parte del periodo, posteriormente una tendencia estable a inicios del mes de diciembre y desde mediados de diciembre muestra una tendencia relativamente estable hasta finales de enero de 2022. Comparando el registro eléctrico de LOB con el fenómeno de la lluvia en la zona, se observa que en la medida que las lluvias incrementan los registros generan respuesta al aumento de fluido y transporte de iones libres en el subsuelo, mostrando pulsos como el que se observa para el día 11 de diciembre de 2021 o 10 de enero de 2022, asociados con el incremento de las lluvias en la zona donde se encuentra instalada la estación de LOB eléctrica (Figura 85).

Considerando el promedio móvil de los datos registrados en el mes de enero, para la estación LOB de CE, vemos que las variaciones máximas muestran valores de hasta 65 mV, aun cuando en épocas de lluvias bajas o moderadas, se obtuvieron valores diarios de variación de alrededor de 15 mV (Figura 86). Esto nos permitiría concluir que, a partir del área de Campo Eléctrico, se muestra estabilidad en los registros de actividad del volcán.

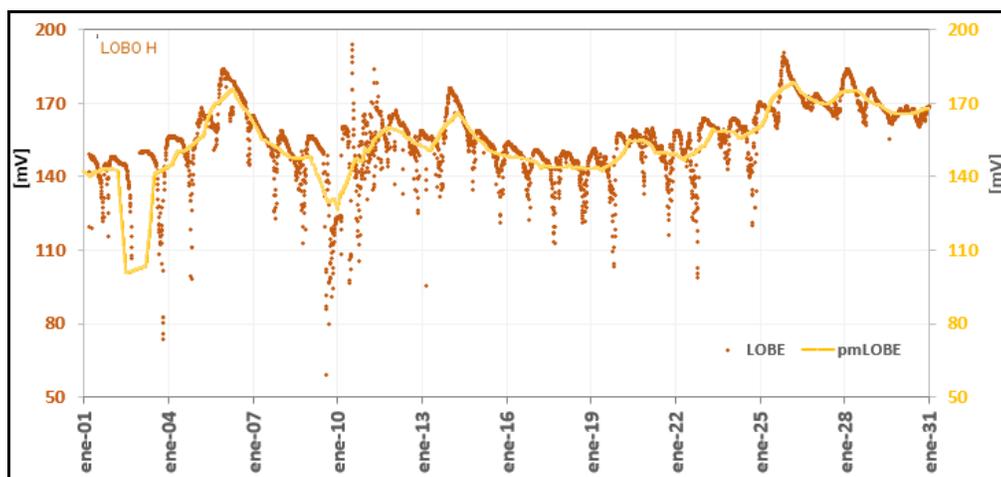


Figura 86. Variaciones del campo eléctrico horizontal (CEH), en la estación de LOB (naranja), para el mes de enero de 2022, con el promedio móvil, graficada en la serie amarilla superpuesta, ubicado en la zona de influencia del volcán AzufraI

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán AzufraI

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

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán AzufraI

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

4.2.5.3 Estación térmica domo Mallama

El 25 de agosto del año 2021, el grupo de electrónica realizó mantenimiento correctivo a la estación térmica Domo Mallama, la encontraron destruida debido a la corrosión y acidez que se presenta en el domo, debido al daño en esta termocupla, esta se reemplazó por un cable compensado cortocircuitar más o menos a unos 20 cm de donde está el gabinete, la temperatura que se ha registrado presenta valores entre 83.1 °C y 85.0 °C (Figura 87, Tabla 31), los cuales se encuentran dentro de la línea base de comportamiento.

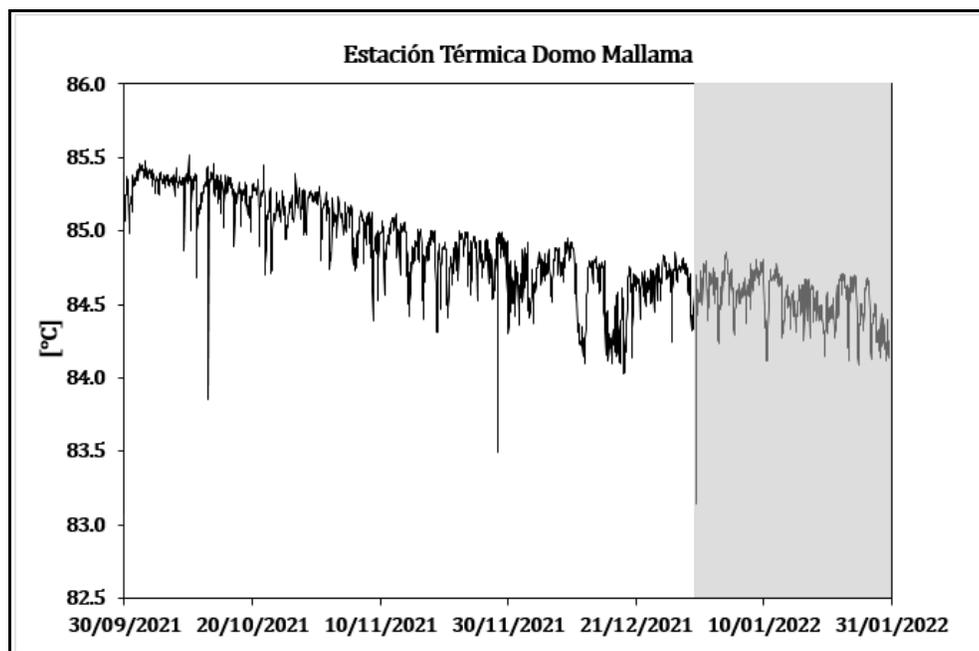


Figura 87. Temperatura Domo Mallama (La línea negra representa la tendencia de los datos, calculada mediante el método de la media móvil para un periodo de 24 horas)

Tabla 31. Valores de temperatura en ° C - Domo Mallama - Volcán Azuftral - enero de 2022

Valor	Enero 2022
Mínimo	84.1
Promedio	84.5
Máximo	84.9

4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el volcán Azuftral se obtienen datos de las variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica, radiación solar y lluvia acumulada, parámetros que pueden influenciar y por ende correlacionar con las variables estudiadas en cada una de las áreas de vigilancia volcánica.

En la Figura 88, se muestra la gráfica temporal de los datos registrados en la estación climatológica, con una tasa de muestreo de 10 min y en la Tabla 32, algunos valores de estadística básica para el mes evaluado. De manera general, las variables se encuentran dentro de la línea base del comportamiento.

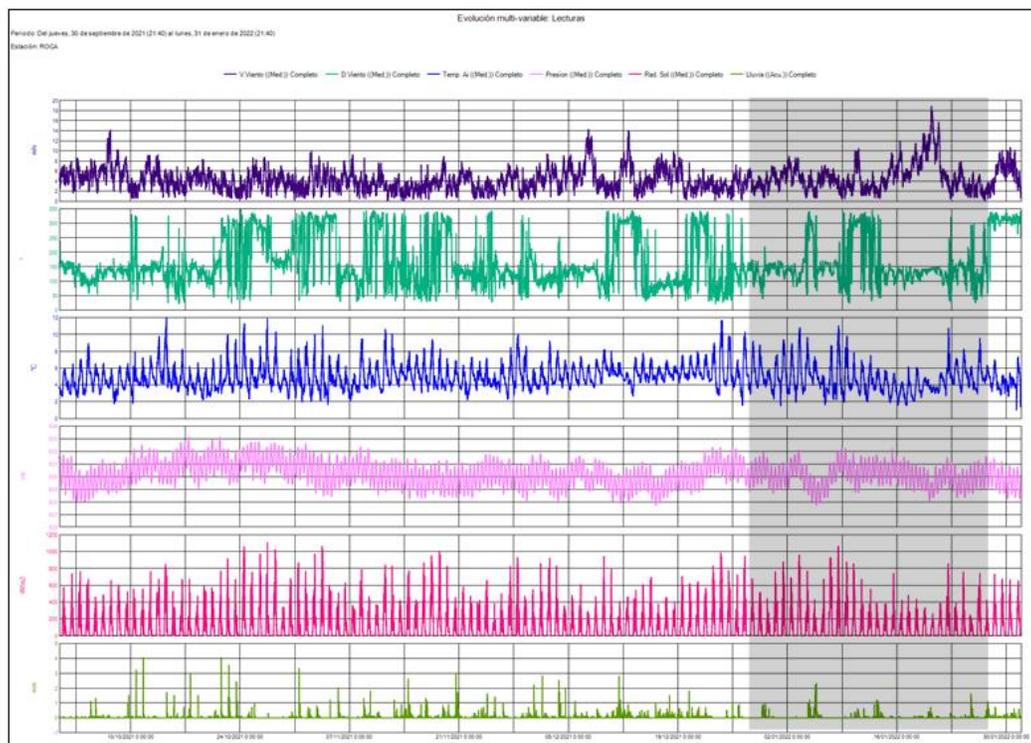


Figura 88. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán AzufraI. Septiembre de 2021 – enero de 2022 (región sombreada: enero)

Tabla 32. Datos parámetros estación climatológica La Roca – enero de 2022

	V. Viento (Med.) (m/s)	D. Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presión (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (mm)
Med.	5.1	176.1	4.6	630.0	104.6	0.0
Máx.	18.8	346.4	11.0	632.2	1063.6	2.3
Mín.	0.2	23.8	1.0	627.7	0.0	0.0
Acu.	--	--	--	--	--	749.1

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 principalmente del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para los días 5, 9, 10, 12, 14, 23, 24, 25, 27 y 28 del mes de enero de 2022.

Se sugiere a CORPONARIÑO quien es la autoridad ambiental 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 89 a 93 se ilustran imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufral.



Figura 89. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 5 de enero de 2022 a las 8:20 a.m., (izquierda) y el 9 de enero de 2022 a las 6:20 a.m., (derecha) capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 90. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 10 de enero de 2022 a las 10:10 a.m., (izquierda) y el 12 de enero de 2022 a las 6:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 91. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 14 de enero de 2022 a las 6:35 a.m., (izquierda) y el 23 de enero de 2022 a las 7:10 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 92. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 24 de enero de 2022 a las 6:30 p.m., (izquierda) y el 25 de enero de 2022 a las 7:40 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

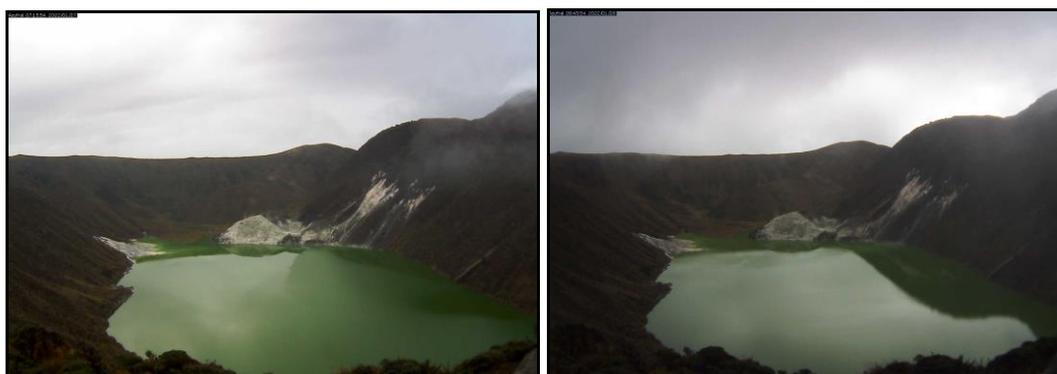


Figura 93. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 27 de enero de 2022 a las 7:15 p.m., (izquierda) y el 28 de enero de 2022 a las 8:45 a.m., (derecha), capturadas desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

- Dentro de niveles bajos, en enero del 2022 la sismicidad en la zona de influencia del volcán Azufral incrementó su ocurrencia y energía diarias, siendo en su mayoría asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 2.5 en la escala de Richter y sin reportes de sismo sentido.
- En los parámetros de temperatura del Domo Mallama y las variables meteorológicas, se evidencia estabilidad, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral en enero del 2022 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

5 MUESTREO GEOQUÍMICO DE AGUAS EN EL CAMPO MONOGENÉTICO GUAMUEZ- SIBUNDOY

El vulcanismo monogenético es el más común en la Tierra y genera estructuras de pequeño volumen (<1 Km³), formadas a partir de una sola erupción continua o varias discontinuas. En general, estas estructuras se encuentran formando grupos de campos volcánicos (De Silva. S, 2015; Kereszturi. G, 2012; Németh. K, 2015; Németh, 2010), con relación al campo volcánico monogenético Guamuéz- Sibundoy, Rivera en 2021 ha identificado 17 estructuras volcánicas (Figura 94) (Rivera, 2021).

En el campo monogenético Guamuéz- Sibundoy en el mes de diciembre de 2021, se realizó el muestreo de 8 manantiales ubicados en área de influencia de este campo, en la Figura 94, se presenta la ubicación geográfica de los manantiales muestreados, junto con las estructuras volcánicas identificadas por Rivera.

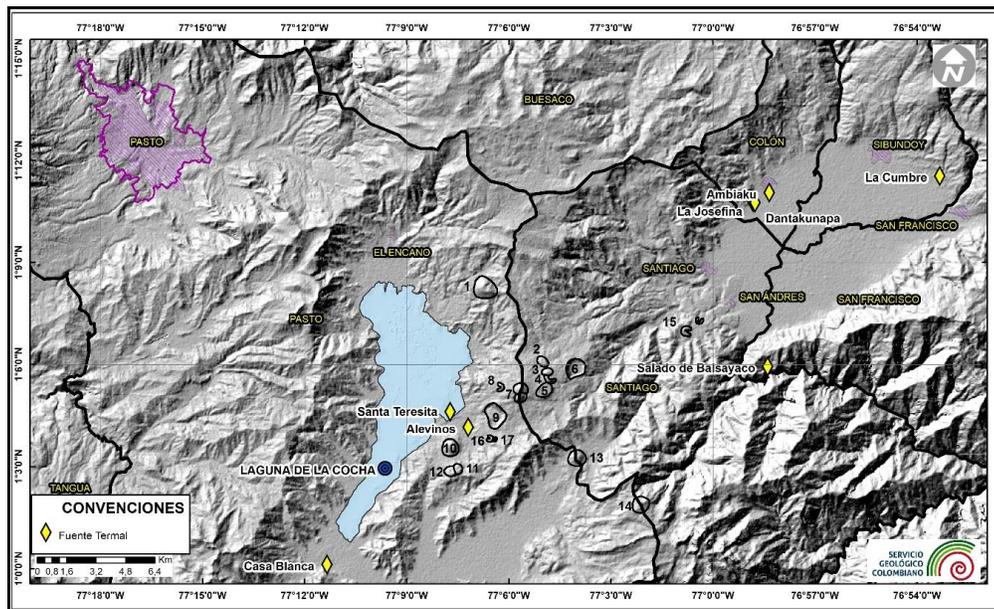


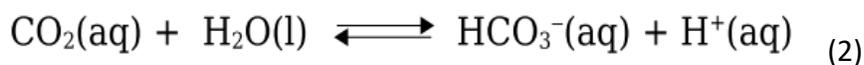
Figura 94. Ubicación geográfica de los manantiales muestreados en el campo volcánico monogenético Guamuéz- Sibundoy, con 17 estructuras volcánicas: 1) Campanero, 2) Victoria, 3) Manoy, 4) Mijoy, 5) Bijinchoy, 6) Fuisanoy, 7) Mujundinoy, 8) Corota, 9) Yaku, 10) Guayapungo, 11) Encano, 12) Guamuéz, 13) Estero, 14) Patascoy, 15) Muchivioy, 16) Laurel y 17) Santa Teresita - Modificado de Rivera, 2021

En el mes de enero de 2022 se recibieron los resultados de aniones de las muestras enviadas al laboratorio del SGC en la ciudad de Manizales, estos con excepción del manantial Ambiakú se muestran en diagramas circulares, en las Figuras 95 a la 100.

Las Figuras 95, 96 y 97, permiten identificar que el anión de mayor concentración en los manantiales Alevinos, La Josefina y Dantakunapa es el bicarbonato, siendo característico de aguas naturales cuya formación se da principalmente por el lavado de rocas calizas, mediante el siguiente equilibrio desplazado hacia la derecha.



Otra fuente de bicarbonato es el equilibrio entre el agua y el dióxido de carbono ya sea atmosférico o producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica (2), de igual manera que en las rocas calizas, este equilibrio se encontraría desplazado hacia la derecha (Universidad de Granada, n.d.).



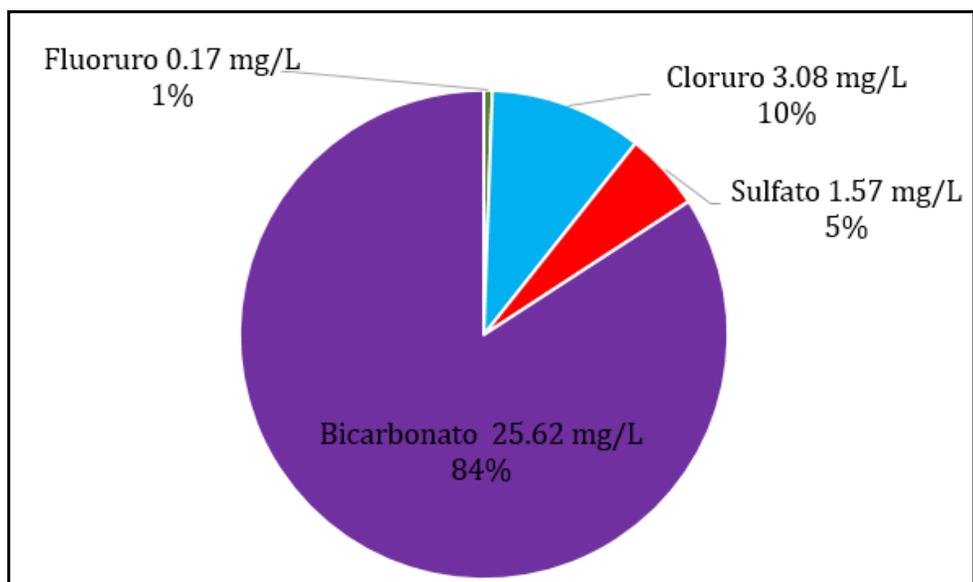


Figura 95. Distribución de la composición iónica del manantial Alevinos

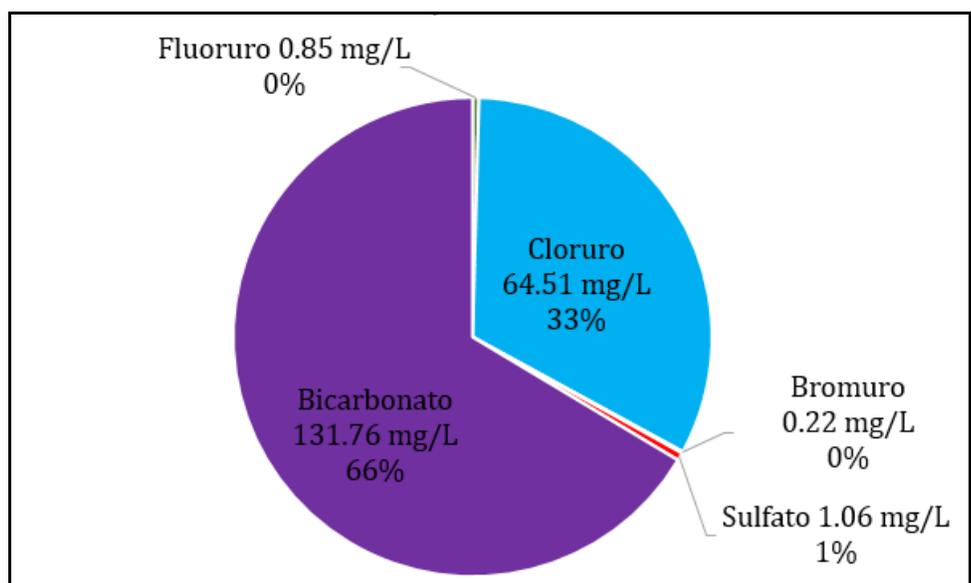


Figura 96. Distribución de la composición iónica del manantial La Josefina

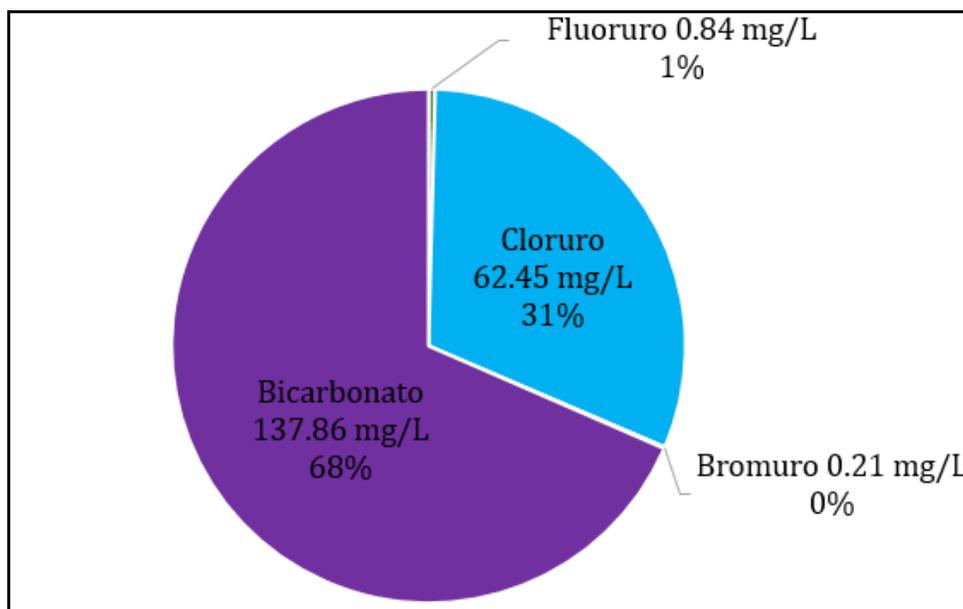


Figura 97. Distribución de la composición iónica del manantial DantaKunapa

En el manantial Santa Teresita los iones mayoritarios son el cloruro y el bicarbonato, con relación a este último, como se mencionó anteriormente, posiblemente son producto de los equilibrios formados entre el CO_2 y rocas carbonatadas con el bicarbonato (equilibrios 1 y 2). Y con respecto al cloruro el origen de este tipo de aguas puede ser muy profundo de aguas fósiles o de capas de sal en rocas sedimentarias (Mendoza & Vélez, 2019), la ocurrencia de grietas o fallas favorece su ascenso a la superficie (Fagundo et al., 2001).

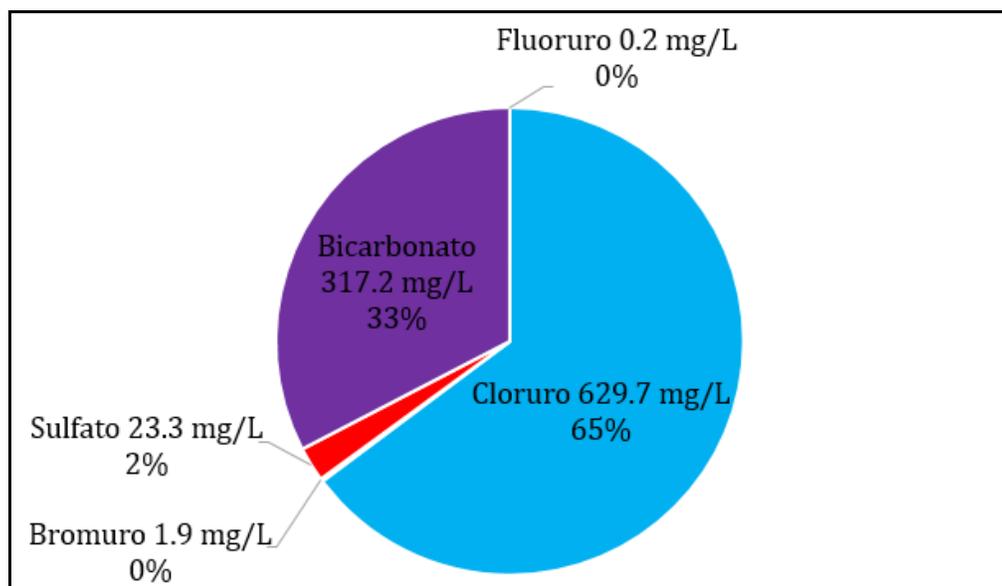


Figura 98. Distribución de la composición iónica del manantial Santa Teresita

En el manantial la Cumbre se evidencia que la mayor composición de los iones son los carbonatos, los cuales son una base relativamente fuerte, esta distribución es coherente con el pH de 10, medido en campo e indica que este tipo de aguas está expuesto a rocas calizas formando el equilibrio (1), desplazado hacia la izquierda, es decir a la formación de carbonatos.

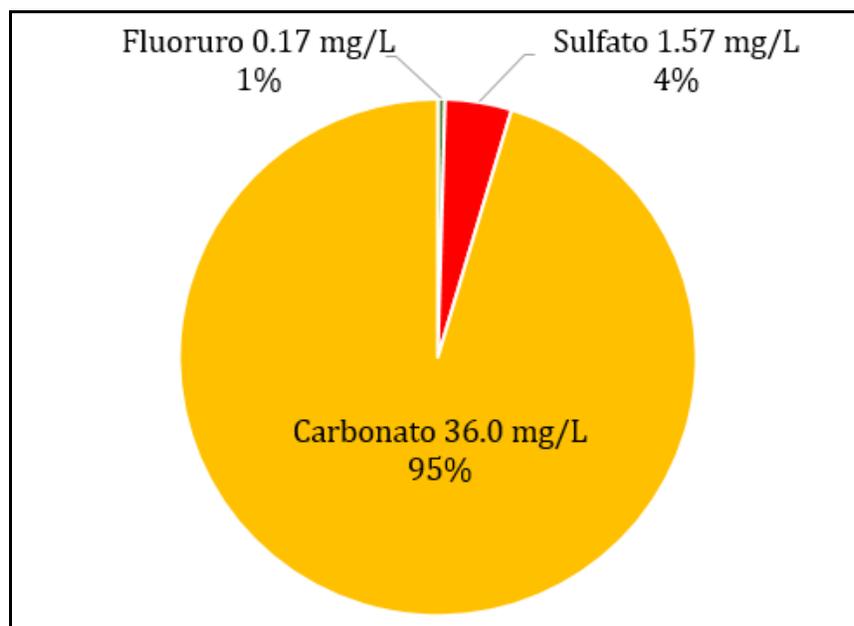


Figura 99. Distribución de la composición iónica del manantial La Cumbre

En el manantial Casa Blanca, el anión mayoritario es el sulfato, dado generalmente por la interacción de fluidos con rocas que contienen sulfuro nativo o a través de litologías que contienen secuencias sulfato-soportes, como por ejemplo las Evaporitas (Pacheco & Viera, 2015).

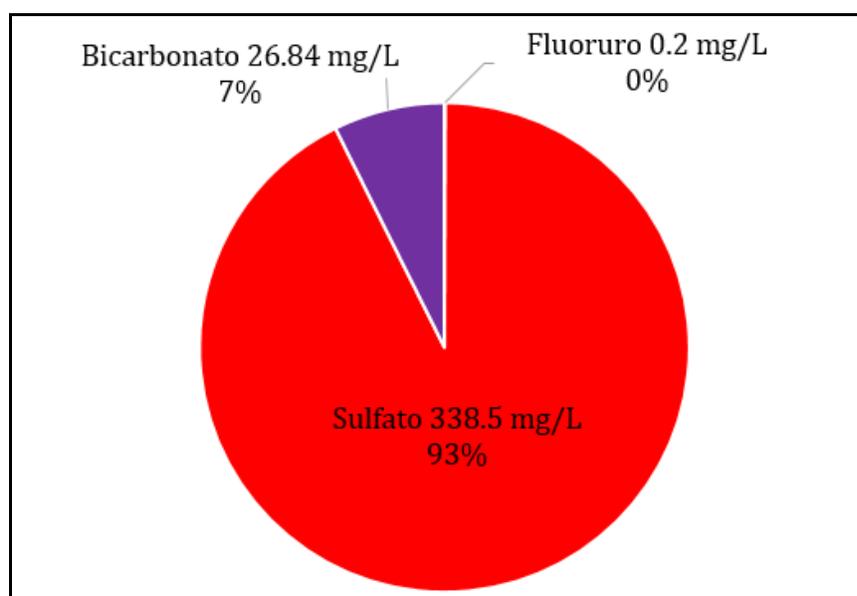


Figura 100. Distribución de la composición iónica del manantial Casa Blanca

Para el manantial Ambiaku se tiene datos de aniones para tres muestreos más, los cuales se muestran en la Figura 101, se presenta una pequeña variación posiblemente debido a que como se planteó en el informe de diciembre de 2021, según las fotografías de las que se dispone, las muestras no se tomaron en el mismo brote de agua.

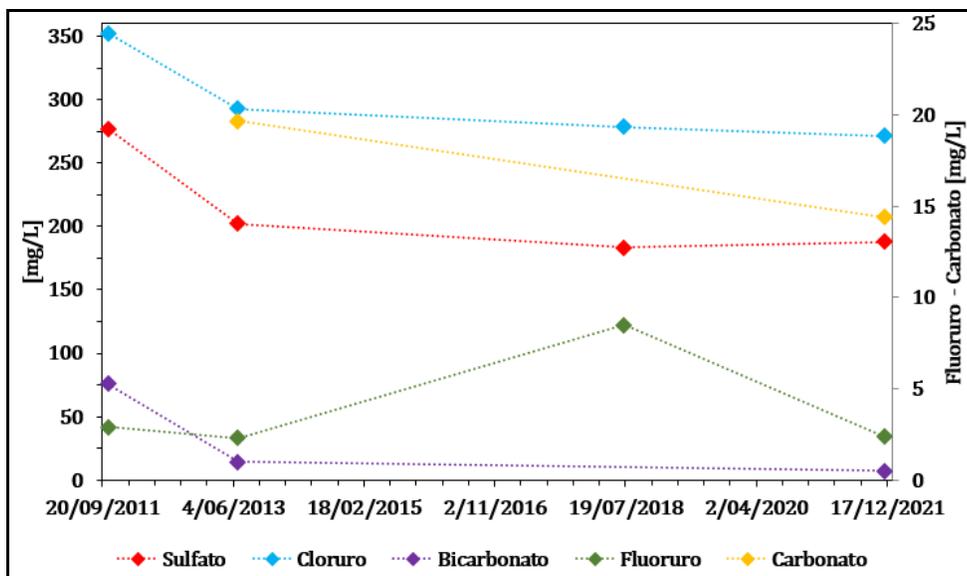


Figura 101. Distribución de la composición iónica del manantial Ambiaku

En la Figura 101 se evidencia que las mayores concentraciones de aniones son el sulfato y el cloruro, el posible origen de este tipo de aguas se planteó anteriormente en el apartado de los manantiales Casa Blanca y Santa Teresita, respectivamente.

5.1 Conclusiones

Con los resultados de aniones, se logró identificar los iones mayoritarios y se planteó un posible origen así:

En los manantiales Dantakunapa, La Josefina y Alevinos, se identificó al bicarbonato como ion mayoritario producto posiblemente de los equilibrios del agua con rocas calizas y dióxido de carbono.

En el manantial Santa Teresita el ion mayoritario es el cloruro cuyo origen posiblemente es producto de aguas fósiles o de capas de sal en rocas sedimentarias. El manantial La Cumbre posiblemente las aguas están expuestas a rocas calizas de donde obtienen la concentración de carbonatos que lo hacen ser el ion mayoritario.

En el manantial termal Ambiaku, a pesar de que sólo se tiene información de tres muestreos, se evidencia que hay estabilidad en las medidas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2022). Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del SGC-OVSP. Meses de diciembre del 2021 y enero del 2022. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

De Silva, S, L. J. (2015). Primary Volcanic Landforms. *The Encyclopedia of Volcanoes* , 273–297.

Fagundo, Cima, A., & Gonzáles, P. (2001). *Revisión bibliográfica sobre clasificación de las aguas minerales y mineromedicinales* [Informe técnico]. Centro Nacional de Termalismo “Victor Santamarina.”

Google Earth Engine. (2018). *Sentinel-5P Datasets in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google Developers*. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>

Kereszturi, G, N. K. (2012). Monogenetic Basaltic Volcanoes: Genetic Classification, Growth, Geomorphology and Degradation. *Olcanology - New Advances in Understanding Volcanic Systems*, 16–17.

Laverde, C. (2020). *Explorador TROPOMI Latinoamerica*. <https://claverde.users.earthengine.app/view/explorador-tropomi-latinoamerica#dataset=SO2;datatype=Near-real-time;center=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-77.87274494410033%2C0.9557638397447217%5D%7D;aoi=%7B%22type%22%3A%22Point%22%2C%22coordinates%22%3A%5B-75.3%2C4.9%5D%7D;cloud=100;leftdate=2022-01-08;rightdate=2022-01-24;min=0;max=0.24;swipe=false;chart=cont;zoom=10;>

Mendoza, J. E. D., & Vélez, T. (2019). Aguas termales asociadas a fallas geológicas en la costa ecuatoriana. *Revista Científica GeoLatitud*, 2(2), 14–21.

Németh, K, K. G. (2015). Monogenetic volcanism: personal views and discussion.

International Journal of Earth Sciences, 104, 2131–2146.

Németh, K. (2010). Monogenetic volcanic fields: Origin, sedimentary record, and relationship with polygenetic volcanism. *Geological Society of America*, 470.

Pacheco, M., & Viera, L. (2015). *Programa Regional de Entrenamiento Geotérmico (PREG) Metodología geoquímica aplicada a Fluidos Geotermiales* [Trabajo de grado]. [http://ri.ues.edu.sv/8958/1/Metodología geoquímica aplicada a fluidos geotermiales.pdf](http://ri.ues.edu.sv/8958/1/Metodología%20geoquímica%20aplicada%20a%20fluidos%20geotermiales.pdf)

Rivera, V. (2021). *Estudio morfométrico y geomorfológico del Campo volcánico monogenético Guamuez- Sibundoy, Colombia*. . Universidad de Caldas- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. .

Universidad de Granada. (n.d.). *TEMA 6. Química de las aguas naturales*. Retrieved January 10, 2022, from <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>

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

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Paginas/informes-tecnicos.aspx>